

1 9 6 3
Nr 2 (17)

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI
WARSZAWA — MIEDZESZYN

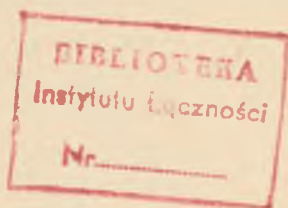
PRZEGLĄD
ZAGADNIEŃ
ŁĄCZNOŚCI

BIBLIOTEKA
Instytutu Łączności



MINISTERSTWO ŁĄCZNOŚCI

PRZEGLĄD ZAGADNIENI ŁĄCZNOŚCI



ROK 3

WARSZAWA 1963

2/17/

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI

Ośrodek Informacji Techniczno-Ekonomicznej

Kolegium Redakcyjne:

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

Członkowie:

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

Sekretarz Redakcji - Irena Kulko

Adres Redakcji:

Instytut Łączności
Ośrodek
Informacji Techniczno-Ekonomicznej
Warszawa-Miedzeszyn, ul. Szachowa 1

NA PRAWACH RĘKOPISU - DO UŻYTKU SŁUŻBOWEGO

Redaktor: J. Borkowska

Montaż tekstu: B. Drabik

Dział Wydawniczy OKW Instytutu Łączności
Format B5. Nakład 570. Druk ukończono
w lipcu 1963 r.

PRZEGLĄD
ZAGADNIEN ŁĄCZNOŚCI

Telefonometria

SPIS TRESCI

| | Str. |
|---|------|
| 1. R. Issakiewicz - Kierunki rozwojowe w dziedzinie telefonometrii | 1 |
| 2. D. Musk - Historia powstania i rozwoju oceny jakości transmisji w oparciu o pomiar wyrazistości /AEN/ - opracował W. Rutkowski | 8 |
| 3. Per V. Bruel, Erling Frederiksen, Gunnar Rasmussen - Sztuczne uszy - opracował W. Rutkowski | 20 |

KIERUNKI ROZWOJOWE W DZIEDZINIE TELEFONOMETRII

Jednym z działów miernictwa elektroakustycznego, który zajmuje się badaniem elektroakustycznych właściwości aparatów telefonicznych i łączy telefonicznych, jest telefonometria.

W początkowym okresie rozwoju łączności telefonicznej ocena jakości transmisji opierała się w głównej mierze na kryterium zapewnienia dostatecznej głośności odbieranych dźwięków. Wraz z postępem w dziedzinie budowy aparatów telefonicznych, jak i łączy telefonicznych, osiągnięto również postęp w dziedzinie telefonometrii. Zaistniała konieczność wprowadzenia jakościowej oceny transmisji. Przy jej ocenie zaczęto już uwzględniać cały łańcuch telefoniczny złożony z dwóch aparatów telefonicznych, które pełnią funkcje przetworników energii akustycznej na elektryczną i odwrotnie, oraz pełny zestaw łączy złożony z łączy międzynarodowych, międzymiastowych oraz abonenckich. Wprowadzono nowe pojęcie: wyrazistości oraz tłumienności odniesienia łącza lub jego elementów. W roku 1926 ustalono wzorzec Podstawowego Europejskiego Układu Odniesienia dla Transmisji Telefonicznych /Systeme Fondamental Europeen de Réference pour la Transmission Téléphonique/ zwany w skrócie SFERT. Zasadniczymi częściami składowymi tego układu były: układ nadawczy, tor połączeniowy wraz z regulowanym tłumikiem oraz układ odbiorczy. Wzorzec ten odznaczał się dużą

stabilnością oraz minimalnymi zniekształceniami nieliniowymi. Przez porównanie z nim można było skalować wzorzec II rzędu lub wzorce telefonometryczne robocze. Początkowo wzorzec SFERT był ulokowany w Paryżu, następnie zaś przeniesiony do Genewy, gdzie w roku 1961 z powodu przestarzałości elementów zostaje zdemontowany i zastąpiony układem wzorcowym NOSTER, pracującym na elementach układu ARAEN.

Złe parametry dawniejszych aparatów telefonicznych, jak: nierównomierność charakterystyki przenoszenia i mała skuteczność przetworników elektroakustycznych, w dużej mierze przyczyniały się do pogorszenia zrozumiałości transmisji, co utrudniało właściwą ocenę jakości transmisji metodą pomiaru tłumienności odniesienia względem wzorca SFERT. W wyniku więc dalszych prac nad udoskonaleniem metody pomiaru jakości transmisji opracowano nowe kryterium - tłumienności równoważnej wyrazistości /Affaiblissement Equivalent pour la Nettete w skrócie AEN/.

Wykonany został nowy układ wzorcowy odniesienia ARAEN /Appareil de Référence pour la détermination des Affaiblissements Equivalents pour la Netteté/. Wzorzec ten zbliżony jest konstrukcją i właściwościami do wzorca SFERT, ale układ jego jest znacznie ulepszony i nowocześniejszy. Przy pomocy ekipy pomiarowej przeprowadza się kolejno pomiary wyrazistości głosek przenoszonych przez wzorzec ARAEN oraz układ badany w funkcji tłumienności tłumika włączonego w obu układach. Wartość tłumienności równoważnej wyrazistości w neperach jest to

różnica odciętych między krzywymi wyrazistości w funkcji tłumienności obu układów przy wartościach rzędnych odpowiadających 80% wyrazistości. W następnym artykule znajdującym się w niniejszym zeszycie jest podany historyczny rozwój metody pomiaru wyrazistości /AEN/.

Oprócz metod oceny jakości transmisji opartych na pomiarach tłumienności odniesienia oraz tłumienności równoważnej wyrazistości zostały opracowane jeszcze metody oceny jakości transmisji oparte na opinii abonentów. W metodzie tej stosowanej w Anglii opiniodawcami są przeciętni abonenci. Ocena zaś przez nich jakości transmisji jest podzielona na 5 stopni: bardzo dobry, dobry, dostateczny, ledwie dostateczny i zły. Drugą dość powszechnie stosowaną jest metoda określania na jednostkę czasu ilości powtórzeń źle zrozumianych informacji. Amerykańskie Towarzystwo Telefonów i Telegrafów opracowało metodę opartą na ocenie siły głosu, tj. skuteczności akusto-akustycznej. Badanie według tej metody polega na porównaniu siły głosu mówiącego przed mikrofonem z siłą głosu odbieranego na wyjściu słuchawki. Metoda powyższa umożliwia zarówno ocenę całego łańcucha telefonicznego, jak i jego części składowych, a więc układu nadawczego lub odbiorczego.

W Związku Radzieckim została opracowana metoda oceny jakości transmisji oparta na ustalaniu wyrazistości dźwięków bez konieczności prowadzenia właściwych pomiarów wyrazistości. W metodzie tej badany zakres częstotliwości jest podzielony na szereg pasm o jednakowej wyrazistości. Do mikrofonu części nadawczej są kierowane dźwięki, za-

wierające częstotliwości równe częstotliwościom średnim poszczególnych pasm równej wyrazistości. Pojęcie wyrazistości pasma opiera się na założeniu wnoszenia swego wkładu przez każde wąskie pasmo częstotliwości słyszalnych do całkowitej wyrazistości pasm, niezależnie od innych pasm, w przypadku nieobecności szumów. Całkowity wkład wszystkich pasm równa się sumie wkładów poszczególnych pasm. W układzie tym jako źródło dźwięku stosuje się sztuczne usta pobudzane generatorem akustycznym. Operator słuchający za pomocą odbiorczego aparatu telefonicznego częstotliwości średnich poszczególnych pasm równej wyrazistości reguluje tłumienność tłumika aż do progu słyszalności odbieranego dźwięku. Różnica tłumienności tłumika regulującego prąd sygnału doprowadzanego do sztucznych ust i tłumienności, włączonej podczas pomiaru za pomocą aparatu telefonicznego, jest wartością szukaną poziomu wrażliwości.

Ze względu na uzyskanie dobrych parametrów elektroakustycznych w produkowanych obecnie aparatach telefonicznych można zauważyć w Laboratorium CCITT w Genewie stale malejące zapotrzebowanie na pomiary wartości tłumienności równoważnej wyrazistości. W chwili obecnej pomiary tłumienności odniesienia dla aparatów telefonicznych z przetwornikami elektroakustycznymi o wyrównanej charakterystyce przenoszenia w funkcji częstotliwości, jak i dużej skuteczności, w zupełności wystarczają do określenia ich jakości. Dlatego też ze względu na demontaż starego układu wzorca SFERT przystosowano układ wzorca ARAEM do pomiaru tłumienności odniesienia, nazywając ten nowy system układem HOSFER.

Wadą wszystkich subiektywnych metod pomiarowych, wymagających porównywania układu badanego z wzorcowym, jest to, że pomiary muszą być przeprowadzane w warunkach laboratoryjnych ze względu na precyzję wykonania, jak i stabilność pracy urządzeń pomiarowych. Pomiary subiektywne są bardzo pracochłonne, wymagające dużej ilości czasu i specjalnie wyszkolonego personelu wchodzącego w skład ekipy pomiarowej. Z tego też względu metody te można stosować tylko przy badaniu nowych typów aparatów lub prowadzeniu badań nad korelacją wyników między pomiarami subiektywnymi a obiektywnymi. Olbrzymi rozwój telefonii w świecie oraz wzrost wymagań odnośnie jakości transmisji przyczynił się do zwiększenia intensywności prac badawczych w dziedzinie telefonometrii. Głównym kierunkiem tych prac jest obiektywizacja metod pomiarowych. Subiektywne metody pomiarowe nie są w stanie zaspokoić rosnących obecnie potrzeb odnośnie sprawdzania olbrzymiej ilości produkowanych aparatów telefonicznych. Dlatego też cały wysiłek jest teraz skoncentrowany w kierunku opracowania ujednoliconej metody obiektywnego pomiaru parametrów elektroakustycznych aparatów telefonicznych. Zasadniczymi elementami aparatury pomiarowej stosowanej przy obiektywnych pomiarach telefonometrycznych są sztuczne usta i sztuczne ucho. Obecnie szereg krajów prowadzi prace w kierunku uzyskania modeli sztucznych uszu i ust zbliżonych swymi właściwościami akustycznymi do naturalnych w celu stworzenia dla badanych elementów elektroakustycznych aparatów telefonicznych, jak wkładki słuchawkowe i mikrofonowe, warunków analogicz-

nych jak w normalnej pracy. Wszystkie prace związane z obiektywnymi metodami pomiarów telefonometrycznych są kierowane przez międzynarodową organizację CCITT w ramach jej XII Grupy Studiów. W nowym budynku UIT w Genewie zostało obecnie ulokowane Laboratorium Telefonometryczne CCITT. Laboratorium to, oprócz prowadzenia w ramach usług międzynarodowych skalowania wzorców pochodnych względem wzorca ARAEN lub NOSFER, jest zaopatrzone w odpowiedni sprzęt pomiarowy, pomieszczenia pomiarowe w postaci dużej komory bezdechowej doskonale wykonanej i wyposażonej, może także się zajmować pracami badawczymi nad porównywaniem między sobą dotychczasowych metod oraz urządzeń do obiektywnych pomiarów telefonometrycznych opracowanych przez poszczególne kraje będące członkami CCITT. Najintensywniejsze badania są obecnie prowadzone w zakresie wyboru układów o optymalnych parametrach, a w szczególności nad problemami związanymi ze sztucznymi ustami i uszami. W celu przyspieszenia prac związanych z normalizacją sztucznego ucha została nawiązana ścisła współpraca między XII Grupą Studiów CCITT i Międzynarodowym Komitetem Elektrotechniki.

W artykule pt. "Sztuczne uszy" umieszczonym w niniejszym zeszycie czytelnik ma możliwość zapoznać się z trudnościami, jakie są do pokonania na drodze ujednoczenia obiektywnych metod pomiarowych oraz z tendencjami rozwojowymi w dziedzinie projektowania układów sztucznego ucha.

W Polsce są prowadzone prace z tej dziedziny, głównie w Instytucie Łączności w Warszawie, których tematyka

sprowadza się do następujących kierunków związanych z:

a/ układami do obiektywnych pomiarów tłumienności odniesienia na odbiór i nadawanie oraz parametrów elektroakustycznych aparatów telefonicznych. Układy te zostaną zastosowane w zakładach produkcyjnych, jak i w ośrodkach zaopatrzeniowo-remontowych;

b/ przenośnymi przyrządami do pomiarów tłumienności odniesienia abonenckich aparatów telefonicznych oraz tłumienności łącza abonenckiego.

W chwili obecnej są prowadzone w Instytucie Łączności prace końcowe nad wykonaniem pierwszej serii przenośnych przyrządów. Przyrządy te składają się z generatora tonu zmiennego opartego na urządzeniu magnetofonowym, sztucznych ust, sztucznego ucha oraz miernika tłumienności odniesienia. Rozwiązanie układów elektrycznych jest oparte całkowicie na tranzystorach.

W oparciu o obiektywne pomiary telefonometryczne krajowy przemysł teletechniczny zamierza obecnie wprowadzić kontrolę wszystkich produkowanych aparatów telefonicznych. Zastosowanie obiektywnych metod pomiarowych zapewni nam podwyższenie jakości produkowanych aparatów telefonicznych i uchroni przed włączaniem źle działających aparatów telefonicznych do sieci telekomunikacyjnej.

HISTORIA POWSTANIA I ROZWOJU OCENY JAKOŚCI TRANSMISJI W OPARCIU O POMIAR WYRAZISTOŚCI /AEN/^{1/}

Na podstawie nieopublikowanego referatu D. Musk'a, zastępcy kierownika Laboratorium CCITT w Genewie, pt. "Historical account of the development of transmission performance ratings based on AEN".

Jedną z pierwszych wzmianek, dotyczących rozwoju oceny jakości transmisji w oparciu o pomiar AEN^{2/}, znajdujemy w 6 pytaniu XII Komisji Studiów CCIF z okresu 1947-48 /patrz tom I Żółtej Księgi CCIF/. Pytanie to wynikało z poprzedniego pytania, dotyczącego tłumienności użytkowej określonej na podstawie obserwacji częstości powtórzeń^{3/}. W dodatku 1 do pytania nr 6 znajduje się pierwotna definicja AEN, a w dodatku 3 do tegoż pytania znajduje się program badań /7 seria doświadczeń/, które miały być przeprowadzone przez Laboratorium CCIF przy użyciu SFERT jako układu odniesienia zmodyfikowanego przez wprowadzenie filtru pasmowego 300-3400 Hz. Z powodu różnych przyczyn wynik pomiarów tej serii doświad-

^{1/} Na podstawie oryginału opracował W. Rutkowski.

^{2/} Pełna nazwa skrótu AEN brzmi: "Affaiblissement équivalent pour la netteté" i oznacza tłumienność równoważną wyrazistości.

^{3/} Częstość powtórzeń jest to ilość powtórzeń informacji na 100 sekund, w czasie trwania dłuższej rozmowy telefonicznej, spowodowanych niezrozumieniem lub niedosłyszaniem poszczególnych wyrazów czy zdań przez słuchającego abonenta.

czeń /patrz Protokół badań nr 182-1, 2 i 3/ był mało użyteczny i pracę rozpoczęto na nowo po przeniesieniu się Laboratorium CCIF do Genewy w roku 1949.

W celu prowadzenia pomiarów AEN Laboratorium zostało wyposażone w bardziej nowoczesne urządzenie, mianowicie ARAEN, z taką dokumentacją, że mogło być ono łatwo powielone przez Laboratoria badawcze innych krajów. Przy użyciu tego nowego układu wzorcowego przeprowadzono w Laboratorium CCIF 8 serię doświadczeń z pięcioma rodzajami aparatów telefonicznych, które w tym czasie zostały wprowadzone jako nowe modele w sieciach krajowych Chile, Francji, Norwegii, Szwecji i W. Brytanii. Program badań tej serii doświadczeń podany jest na stronie 21 dokumentu nr 1 IV Komisji Studiów CCIF z okresu 1950/51. W dodatku do pytania nr 14 na stronie 381 tomu I-bis Żółtej Księgi CCIF jest podany opis metody dopasowywania krzywej statystycznej, która to metoda została zastosowana do wyników pomiarów. Pełny opis badań podano w dokumencie nr 10 IV Komisji Studiów CCIF z okresu 1950/51.

Po przeanalizowaniu wyników badań 8 serii doświadczeń Grupa Robocza "Laboratorium" doszła do wniosku, że: "wydaje się możliwe ustalenie warunków co do jakości transmisji za pomocą oceny jakości transmisji opartej na tłumienności równoważnej wyrazistości /AEN/.Laboratorium CCIF powinno przeprowadzić 9 serię doświadczeń przy użyciu ARAEN w celu ustalenia, czy jest możliwe bezpośrednie ustalenie oceny jakości transmisji na nadawanie i na odbiór pięciu abonenckich aparatów tele-

fonicznych" /patrz strona 33 dokumentu nr 13 IV Komisji Studiów CCIF z okresu 1950/51/.

Program badań 9 serii doświadczeń znajduje się na stronie 75 tego samego dokumentu. Te same 5 aparatów telefonicznych były użyte do doświadczeń w serii 9, co i poprzednio w serii 8. Protokół badań, zawierający wyniki 9 serii doświadczeń, ogłoszono jako dokument nr 18 IV Komisji Studiów CCIF z okresu 1950/51, a komentarze IV Komisji Studiów do tych wyników podano w dodatku 3 do odpowiedzi na pytanie nr 3 na stronie 10 dokumentu nr 26 IV Komisji Studiów CCIF z okresu 1950/51. Ogólnie rzecz biorąc wyniki te potwierdziły oczekiwania Grupy Roboczej "Laboratorium" i we Florencji IV Komisja Studiów zatwierdziła propozycję Grupy Roboczej co do możliwości wykonania takiej oceny jakości transmisji /patrz strona 20 dokumentu nr 26 IV Komisji Studiów CCIF z okresu 1950/51/. W tym samym czasie, mając za cel ostateczny przygotowanie całkowitego przejścia z oceny jakości transmisji, opartej na tłumienności odniesienia, na ocenę jakości transmisji, opartej o AEN, IV Komisja Studiów zwróciła się o przeprowadzenie następnej serii doświadczeń na dalszych aparatach telefonicznych nowego typu.

Celem tej serii, 10 serii doświadczeń, było określenie oceny jakości transmisji możliwie największej ilości typów aparatów telefonicznych, stosowanych w tym czasie w sieciach krajowych, dla uzyskania szerokiego zakresu wartości, które by służyły za podstawę do ustalenia nowych wymagań co do jakości transmisji. Program ba-

dań zawierał zastosowanie typowej techniki eksperymentalnej oraz metody analizy statystycznej, za pomocą której można by ocenić ważność pomiarów poszczególnych aparatów telefonicznych. Sposób postępowania opisano dokładnie na stronie 68-105 tomu IV Zielonej Księgi CCIF. Wyniki pomiarów AEN dużej ilości abonenckich aparatów telefonicznych są zawarte w protokole badań 10 serii doświadczeń /patrz dokument nr 5 IV Komisji Studiów CCIF z okresu 1952/54/. Wyniki te były analizowane na zebraniu IV Komisji Studiów w Genewie w październiku 1953 r. i doprowadziły do sformułowania prowizorycznych wymagań co do jakości transmisji w oparciu o AEN. Jednocześnie w celu późniejszego ustalenia ostatecznych wymagań zgłoszono do przestudiowania nowe zagadnienie, które pozwoliłoby na zebranie informacji o wielkości AEN w sieciach krajowych /patrz dokument nr 33 IV Komisji Studiów CCIF z okresu 1952/54/.

Tymczasowe wymagania co do tłumienności AEN były następujące:

| | Wymagania co do tłumienności AEN | |
|--|----------------------------------|----------------------------|
| | w krajowej sieci na nadawanie | w krajowej sieci na odbiór |
| Dla wszystkich połączeń międzynarodowych | 27 dB /3,12 N/ | 24 dB /2,77 N/ |
| Dla np. 90% połączeń międzynarodowych | 24 dB /2,77 N/ | 20 dB /2,31 N/ |

Słuszność powyższych tymczasowych wymagań została skontrolowana przez członków IV Komisji Studiów w czasie pokazu w laboratorium CCIF. Pokaz ten, opisany w dokumencie nr 35 IV Komisji Studiów CCIF z okresu 1952/54, składał się z pięciu pozorowanych połączeń międzynarodowych przy użyciu różnych krajowych aparatów telefonicznych starego i nowego typu /patrz tablica na str. 13/. Każdy z obwodów został tak zestawiony, że maksymalna tłumienność AEN wynosiła 27 dB na nadawanie i 24 dB na odbiór plus 7 dB w łączu międzynarodowym, razem 58dB. Członkowie IV Komisji Studiów przeprowadzili następnie rozmowy na tych obwodach przy różnych poziomach szumów otoczenia, a potem każdy osobno zanotował swoje opinie o każdym połączeniu. Opinie te są zestawione w prawej części tablicy na str.13. Każdy wpis reprezentuje wspólną opinię około 5 słuchaczy.

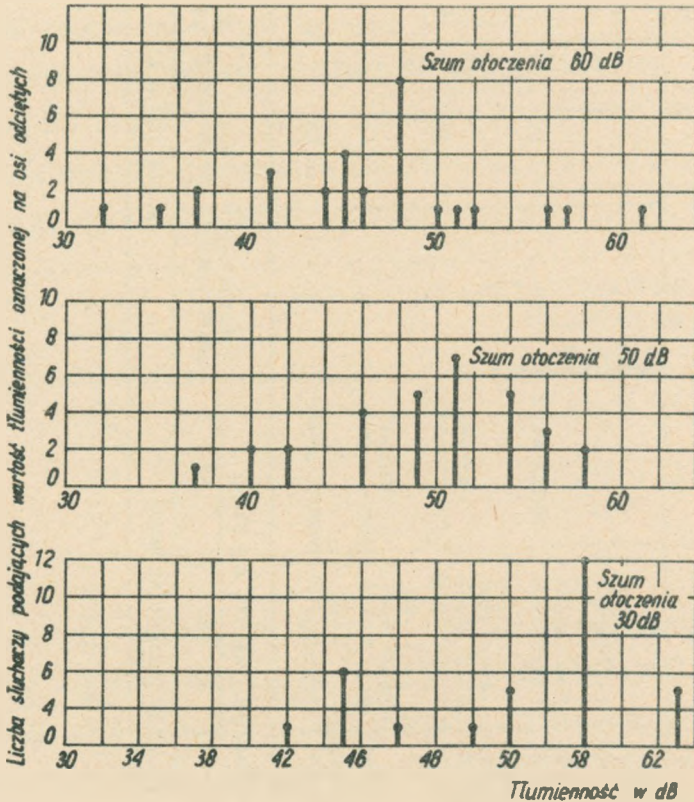
Można zauważyć na tablicy /str.13/, że opinie szły raczej po linii ściślejszej zależności od wartości tłumienności odniesienia niż od tłumienności wyrazistości /AEN/. Widać jasno, że chociaż wspomniane 5 połączeń miały tę samą wartość AEN, ich rzeczywista jakość transmisji oceniana subiektywnie różniła się znacznie. Ta sprawa była badana przez Zarząd Poczty W. Brytanii i sprawozdanie z przeprowadzonych doświadczeń i wyprowadzonych wniosków podano w dokumencie nr 48 IV Komisji Studiów z okresu 1952/54.

Dla upewnienia się, podobny pokaz przeprowadzono podczas zebrania IV Komisji Studiów CCIF w Genewie we wrześniu 1954 roku. Wobec dużej liczby uczestników /około 30/

| Aparaty telefoniczne | D e c y b e l e | Szum otoczenia w dB | | | Opinie o jakości połączenia | | |
|----------------------|-----------------|-------------------------|------------------|------------------------|-----------------------------|--|---|
| | | liczebność wyrazistości | liczebność linii | liczebność odniesienia | 60 | 50 | 30 |
| W. Brytania | W. Brytania | 58 | 27 | 38 | dosyć trudne | wystarozające | bardzo dobre |
| Norwegia | Francja | 58 | 19 | 36 | trudne - na granicy | wymaga pewnego wysiłku | dobre |
| Szwajcaria | Szwecja | 58 | 47 | 53 | prawie niemożliwe | zrozumiałe tylko przy pewnym wysiłku | dobrze, wymaga lekkiego wysiłku |
| Szwajcaria | Szwajcaria | 58 | 51 | 56 | niemożliwe | zrozumiałe tylko przy bardzo dużym wysiłku | zrozumiałe przy małym wysiłku, ale bardzo słabo słyszalne |

T a b l i c a

uważano, że praktyczniejsze będzie potraktowanie układu wzorca ARAEN jako połączenia międzynarodowego, a każdy z uczestników miałby tylko dobrać tłumienność za pomocą wtrąconego tłumika, aby osiągnąć stan, w którym według opinii słuchacza rozmowa na takim obwodzie jest ledwo dopuszczalna. Ten sposób postępowania był zastosowany dla tych samych poziomów szumów otoczenia co w pokazie poprzednim. Wartości tłumienności, znalezione przez każdego ze słuchaczy, podano na rysunku. Wartości



Tłumienność na granicy zrozumiałości

średnie dla różnych warunków szumów otoczenia były następujące:

| Poziom szumów otoczenia w dB | Maksymalna tłumienność po- zwalająca na rozmowę w dB |
|---------------------------------|--|
| 60 | 46,0 |
| 50 | 49,7 |
| 30 | 54,7 |

Zakładając, że tłumienność odniesienia tego połączenia była równa sumie wtrąconej tłumienności i tłumienności odniesienia całego układu ARAEN z filtrem pasmowym 300-3400 Hz /około +7 dB/, uczestnicy doświadczeń znaleźli w ten sposób dopuszczalne wartości tłumienności odniesienia. Wynosiły one:

| Poziom szumów otoczenia w dB | Całkowita tłumienność od- niesienia w dB |
|---------------------------------|--|
| 60 | 53,0 |
| 50 | 56,7 |
| 30 | 61,7 |

Należy zauważyć, że w pierwszym doświadczeniu przy poziomie szumów otoczenia 60 dB i tłumienności odniesienia 53 dB rozmowa w tym połączeniu była uważana jako prawie niemożliwa. Podobnie przy poziomie szumów otoczenia 50 dB i tłumienności odniesienia 56 dB opinia była "zrozumienie możliwe tylko przy bardzo dużym wysiłku". Opinia dla przypadku szumów otoczenia 30 dB i tłumien-

ności odniesienia 56 dB nie wydaje się być niezgodna ze średnią wartością 61,7 dB, znalezioną przez uczestników drugiego doświadczenia.

Na tym zebraniu IV Komisja Studiów zaproponowała tymczasowe zalecenie, oparte na AEN, które miałyby być stosowane wspólnie z istniejącym już zaleceniem, opartym na tłumienności odniesienia. W tymczasowym zaleceniu, zatwierdzonym następnie przez XVII Zebranie Plenarne /patrz tom I Zielonej Księgi CCIF strona 396 i dalsze/ znajduje się następujący ustęp:

"Jest bardzo pożądane, aby w 90% połączeń międzynarodowych nominalna tłumienność równoważna wyrazistości całego połączenia od abonenta do abonenta nie przekraczała 5,65 N /49 dB/. Ta wartość graniczna może być prowizorycznie podzielona w sposób następujący: dla 90% połączeń międzynarodowych nominalna wartość AEN krajowego układu nadawczego nie powinna przekraczać 2,77 N /24 dB/, a nominalna wartość AEN krajowego układu odbiorczego nie powinna przekraczać 2,07 N /18 dB/. Zakłada się przy tym, że nominalna wartość AEN obwodu międzynarodowego nie przekracza 0,8 N /7 dB/."

Jednocześnie sformułowano nowe pytanie, zapraszając Zarządy Pocztove do przekazywania wyników ich doświadczeń z nowymi zaleceniami.

Odpowiedzi Zarządów Pocztowych na to nowe pytanie były przebadane na zebraniu IV Komisji Studiów w Genewie w marcu 1956 r., w wyniku czego przygotowano następującą odpowiedź przedstawioną do zatwierdzenia na Zebraniu Plenarnym:

"Z odpowiedzi otrzymanych na to pytanie wynika, że z wyjątkiem szczególnych przypadków, jak np. z powodu wyjątkowych warunków geograficznych, nie było żadnych poważniejszych trudności w zastosowaniu w różnych sieciach krajowych tymczasowych zaleceń na warunki jakości transmisji, przyjętych przez XVII Zebranie Plenarne, i jakie mają spełniać krajowe sieci na nadawanie oraz na odbiór. Zalecenia CCIF składają się z dwóch części:

- 1/ z dawnej, opierającej się na tłumienności odniesienia,
- 2/ z nowszej, opierającej się na AEN w sposób ściśle określony.

Ponieważ w dalszym ciągu znajdują się w łączności międzynarodowej stare typy aparatów telefonicznych, posiadających wyraźne rezonanse w układzie nadawczym lub odbiorczym a nie posiadających dostatecznie skutecznych układów antylokalnych, wydaje się konieczne utrzymanie drugiej części zaleceń opartych o AEN. IV Komisja Studiów jest zdania, że ostatecznym celem powinno być rozwinięcie obiektywnej metody oceny jakości transmisji aparatów telefonicznych i mając to na względzie proponuje, aby Zalecenia CCIF, podane w tomie III Zielonej Księgi pod tytułem: "d/ Dopuszczalne wartości całkowitej nominalnej tłumienności AEN pomiędzy dwoma abonentami, wartości nominalnego AEN krajowego układu nadawczego i wartości nominalnego AEN krajowego układu odbiorczego" i zaczynające się od słów: "Jest bardzo pożądanym, aby 90% połączeń międzynarodowych..." zostało

poprzedzone wyrażeniem: "Zanim nowoczesne aparaty telefoniczne znajdą się w powszechnym użyciu w służbie łączności międzynarodowej i zanim zostanie przyjęta obiektywna metoda sprawdzania jakości aparatów telefonicznych..".

„Definicja i metoda pomiaru AEN spotkała się z głosami krytycznymi, ale zmiana definicji lub metody pomiaru nie wydaje się rzeczą właściwą, gdyż bardziej pożądanym byłoby skoncentrowanie wysiłków na przeprowadzeniu porównań pomiędzy różnymi metodami obiektywnego pomiaru jakości transmisji aparatów telefonicznych w celu jak najspiesznieszego znormalizowania jakiegóż obiektywnej metody pomiarowej”.

Dopuszczalne wartości w transmisji telefonicznej oparte na tłumienności odniesienia nie zostały zmienione,

Część działalności XII Komisji Studiów w Genewie w maju 1960 roku polegała na rewizji ogłoszonych dokumentów CCITT dotyczących jakości transmisji w związku z opracowywaniem tomu V Czerwonej Księgi CCITT. W czasie składania do druku tomu V ostatecznie zrewidowane teksty i poprawki do dotychczas istniejących ustępów można odnaleźć w dokumencie nr 67 XII Komisji Studiów CCITT. Należy w szczególności zwrócić uwagę na odpowiedź na pytanie nr 9, dotyczącą dopuszczalnych wartości tłumienności stosowanych w połączeniach międzymiastowych i w sieciach lokalnych /strona 11/ oraz na zalecenie P21 /strona 53/. Należy także zwrócić uwagę, że zalecenia co do dopuszczalnych wartości AEN wspomiane powyżej, zostały zastąpione przez zalecenie P12 /dokument nr 67 XII Komisji Studiów, strona 47/, które już nie ustala tych granic. Należy zwrócić uwagę na następujące ustępy:

"Zarządy Pocztowe pragnące przeprowadzić gruntowne badania jakości transmisji swoich krajowych układów nadawczych i odbiorczych mogą kierować się metodą AEN, opisaną poniżej..." /strona 47/ oraz : "Dla informacji podaje się, że Zarządy Pocztowe stosujące metodę AEN uważają za bardzo pożądane, aby dla 90% połączeń międzynarodowych..." /str. 49 /.

WNIOSKI KONCOWE

We wczesnym stadium rozwoju techniki AEN, gdy używano do doświadczeń aparatów telefonicznych, typów obecnie uważanych za przestarzałe, wydawało się, że są wszelkie podstawy ku temu, aby wierzyć, że można będzie opracować nowy sposób oceny jakości transmisji o pewnych zaletach w stosunku do oceny według tłumienności odniesienia.

Metoda AEN była dosyć skuteczna w tym, że dążyła do dyskryminowania aparatów telefonicznych o dużym efekcie lokalnym i niezbyt dobrej charakterystyce. W czasie jednak dalszych badań nad metodą AEN rozwój techniki produkcyjnej doprowadził do wielkiego postępu w jakości aparatów telefonicznych. Jak to okazało się w czasie pierwszego doświadczenia z dopuszczalnymi wartościami AEN, zastosowanie techniki AEN do nowoczesnych aparatów telefonicznych ze skutecznym układem antylokalnym i płaską charakterystyką częstotliwościową dopuszcza do wyjątkowo niskich poziomów odbieranej mowy.

Doświadczenia z badaniem opinii i oceny subiektywnej jakości połączeń wykazały, że głośność odbieranej mowy

ma przeważający wpływ na opinię użytkowników telefonów, nawet jeśli okazuje się, że głośność ta jest znacznie większa niż to jest ściśle konieczne dla zrozumienia sygnałów. Zachowanie się połączenia telefonicznego pod względem głośności jest wystarczająco oszacowane przez pomiary oparte o tłumienność odniesienia.

Tak więc przy coraz szerszym zastosowaniu nowoczesnych aparatów telefonicznych potrzeba bardziej krytycznej oceny jakości transmisji stale maleje.

Można sądzić, że metoda AEN może być bardzo użyteczna przy szczegółowym badaniu zachowania się poszczególnych aparatów telefonicznych, jednak nie należy już więcej oczekiwać, że ocena tłumienności odniesienia będzie zastąpiona przez ocenę AEN przy planowaniu i projektowaniu współczesnych sieci krajowych.

SZTUCZNE USZY^{1/}

534.61

Na podstawie artykułu Per V. Bruel, Erling Frederiksen i Gunnar Rasmussen "Artificial Ears for the Calibration of Earphones of the External Type" Bruel and Kjaer Technical Review, No.4, 1961 i No.1, 1962.

1. WSTĘP

Na zebraniu 29 Komisji Technicznej do spraw Elektroakustyki Międzynarodowego Komitetu Elektrotechniki, które odbyło się w 1960 r. w Rapallo, postanowiono, aby no-

^{1/} Na podstawie oryginału opracował W. Rutkowski.

wa Grupa Robocza nr 11 przedsięwzięła próbę ustalenia wzorców sztucznego głosu, sztucznych ust i sztucznych uszu.

Zespół roboczy, pracujący nad aparatami dla słabo słyszających, tzw. głuchosłuchami, opracował już warunki techniczne na sztuczne ucho o objętości 2 cm^3 do badania słuchawek dousznych, ale w dalszym ciągu potrzebny był międzynarodowy model sztucznego ucha do badania słuchawek zewnętrznych, przykładanych z zewnątrz do ucha ludzkiego.

W czasie zebrania w Liege 8.XI.1960 roku ustalono program prac i uzgodniono, że tymczasem nie będą podejmowane próby opracowania takiego sztucznego ucha, które by było przeznaczone głównie do badania zwykłych słuchawek telefonicznych. Opracowanie takiego modelu nastroczałoby bardzo wiele trudności, gdyż prawie każde państwo ma swoją własną metodę badania telefonów, a poza tym ze sprawą sztucznych uszu do badania aparatów telefonicznych są powiązane sprawy ekonomiczne. Uzgodniono zatem, że Grupa Robocza nr 11 proponuje warunki techniczne na międzynarodowe sztuczne ucho dla celów audiometrycznych. Należy jednak spodziewać się, że nowe sztuczne ucho zostanie z czasem wprowadzone do badania zwykłych aparatów telefonicznych, ponieważ zupełnie dobrze do tego celu się nadaje.

Ponieważ bezwzględnie konieczna jest powtarzalność wyników, uzgodniono, że do konstrukcji sztucznego ucha użyte będą tylko twarde materiały niemagnetyczne i że będzie się unikać takich materiałów, które z punktu wi-

dzenia akustycznego są trudne do określenia, jak np. skóra, guma, przędza, wełna itp.

Ponadto uznano, że byłoby bardzo korzystne, gdyby nowy międzynarodowy model ucha był jakąś nieznaczną modyfikacją już istniejącego i dosyć rozpowszechnionego sztucznego ucha, albo żeby przynajmniej posiadał charakterystykę niezbyt odbiegającą od wielu dotychczas istniejących konstrukcji.

Okazało się zatem konieczne bardzo dokładne przebadanie różnych, powszechnie używanych sztucznych uszu i komór sprzęgających. Ich porównanie powinno być przeprowadzone za pomocą tej samej metody i przy użyciu tych samych słuchawek jako źródeł dźwięku. Należy używać słuchawek o dużej i małej impedancji akustycznej. Uzgodniono także, że przy przeprowadzaniu pomiarów porównawczych dla różnych modeli sztucznych uszu będzie użyty ten sam wzmacniacz i ten sam mikrofon pomiarowy.

Porównywane będą następujące sztuczne uszy i komory sprzęgające:

1/ brytyjski model sztucznego ucha NPL zmodyfikowany w celu zastosowania mikrofonu pojemnościowego zamiast mikrofonu-sondy;

2/ francuski model sztucznego ucha CNET z przejściem na materiały twarde;

3/ szwajcarski model sztucznego ucha PTT z przejściem na materiały twarde;

4/ amerykański model komory sprzęgającej 6 cm³ NBS bez zmian;

5/ amerykański model komory sprzęgającej 6 cm³ ASA według normy Z24.9 bez zmian.

Firma Bruel i Kjaer zgodziła się wykonać te modele i przeprowadzić ich pomiary, a także zaproponować konstrukcje, które mogłyby stanowić podstawę do ustanowienia międzynarodowego modelu sztucznego ucha .

2. WARUNKI TECHNICZNE NA SZTUCZNE UCHO

W swojej książce "Miernictwo akustyczne" Beranek podał [11], że idealne sztuczne ucho powinno spełniać następujące wymagania:

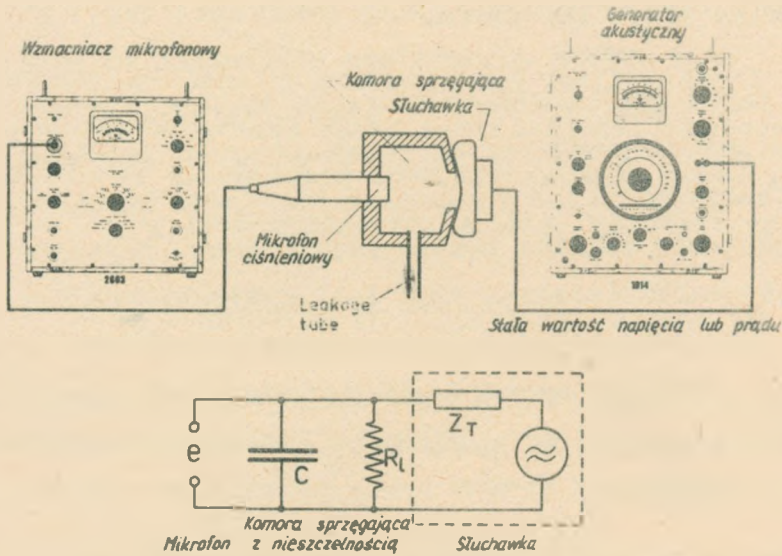
1/ przedstawiać dla badanej słuchawki taką samą impedancję akustyczną jak średnie normalne ucho ludzkie dla mającego tu zastosowanie zakresu częstotliwości,

2/ należyce pozorować efekt nieszczelności pomiędzy słuchawką i uchem ludzkim,

3/ pozwolić na przeprowadzenie pomiarów ciśnienia akustycznego za pomocą odpowiedniego mikrofonu w takim punkcie sztucznego ucha, w którym zachodzi zgodność z ciśnieniem akustycznym wytworzonym w uchu ludzkim dla mającego tu zastosowanie zakresu częstotliwości,

4/ powinno ono być stabilne.

Rysunek 1 przedstawia uproszczony układ sztucznego ucha, który zasadniczo stanowi komorę zastępującą przestrzeń pomiędzy słuchawką i bębenkiem usznym. Z komory tej prowadzi rurka zastępująca nieszczelność i podat-



Rys. 1. Uproszczony układ pomiarowy do badania słuchawek oraz układ elektryczny równoważny

ność ucha względem słuchawki. Ciśnienie w komorze jest mierzone mikrofonem pojemnościowym połączonym z odpowiednim wzmacniaczem. Słuchawkę kładzie się na sztuczne ucho i, aby uzyskać ściśle określoną charakterystykę częstotliwościową, zasila się ją stałą wartością napięcia lub prądu. W układzie równoważnym objętość komory jest przedstawiona przez pojemność C , a nie szczelność przez oporność R_L . Słuchawka jest przedstawiona jako źródło stałego napięcia o wewnętrznej impedancji akustycznej Z_T . Ciśnienie akustyczne przedstawia wtedy napięcie e na kondensatorze C .

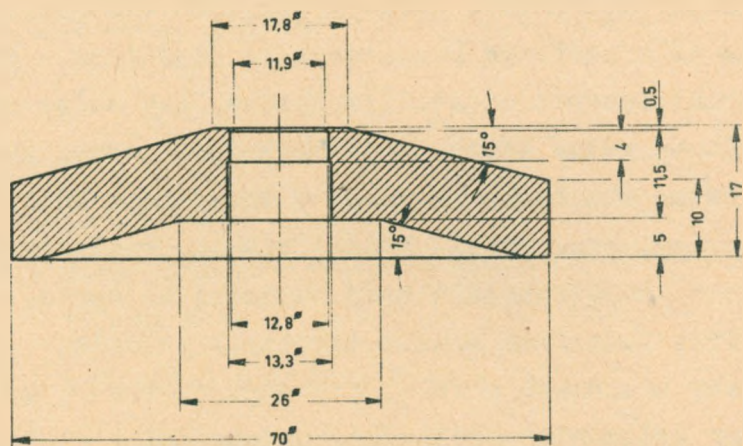
Z układu powyższego widać, że przy zastosowaniu słuchawki o bardzo małej impedancji akustycznej zmiany ob-

jętości komory sprzęgającej i zmiany nie szczelności będą miały stosunkowo nieduży wpływ na ciśnienie występujące na mikrofonie pomiarowym, a więc i na otrzymaną charakterystykę częstotliwościową. Aby zatem skutecznie porównać różne konstrukcje sztucznych uszu, należy zastosować słuchawkę wzorcową o dużej impedancji akustycznej, przy użyciu której różnice pomiędzy poszczególnymi konstrukcjami będą bardziej widoczne.

Przy badaniach audiometrycznych bardziej pożądana byłaby słuchawka o małej impedancji, aby zmniejszyć wpływ zmian nie szczelności, podatności i wielkości przestrzeni zamkniętej przez muszlę słuchawki.

3. WZORCOWA SŁUCHAWKA O DUŻEJ IMPEDANCJI AKUSTYCZNEJ

Pierwszym zadaniem było wykonanie słuchawki o ściśle określonym kształcie, o dużej impedancji akustycznej i o równej charakterystyce częstotliwościowej dla szerokiego pasma częstotliwości. Muszla słuchawki, na rys. 2, wykonana zgodnie ze wskazówkami podanymi w [1], posiada płaską sztywną powierzchnię zapewniającą dobry docisk do ucha zewnętrznego bez jego ugniatania. Konstrukcja muszli jest prosta- łatwa do powielenia i pasuje zarówno do uszu ludzkich, jak i sztucznych, a także do różnych krajowych wzorcowych komór sprzęgających. Jako źródła dźwięku użyto mikrofon pojemnościowy o możliwie małej średnicy /0,5 cala/ ze względu na zakres wysokich częstotliwości. Impedancja akustyczna mikrofonu nadawczego powinna być możliwie duża, aby nie wpływała na impedancję ucha.



Rys. 2. Muszla słuchawki wzorcowej

Zaleca się stosowanie na muszlę materiału twardego, ale lekkiego, np. nylon. Odpowiednie uchwyty wraz z zespołem sprężyn zapewniają właściwy nacisk, potrzebny np. przy badaniu słuchawki telefonicznej.

Prawie wszystkie spotykane sztuczne uszy posiadają wzniesienie charakterystyki rzędu 25-35 dB w górnej części pasma akustycznego. Spowodowane ono jest rezonansem własnym komory i nie można tego uniknąć. Należy natomiast dążyć do tego, aby słuchawka wzorcowa i generator akustyczny posiadały jak najmniejsze zniekształcenia nieliniowe, gdyż inaczej na charakterystyce częstotliwościowej mogą pojawić się zygzaki przy częstotliwości równej $1/2$ i $1/3$ częstotliwości rezonansu własnego, spowodowane 2 i 3 harmoniczną sygnału.

Siłę działającą pomiędzy membraną i elektrodą tylną mikrofonu nadawczego słuchawki wzorcowej określa równanie:

$$\text{siła} = \frac{S}{8\pi d^2 \cdot 300^2} / E_0^2 + \frac{e_1^2}{2} + 2E_0 \cdot e_1 \cdot \sin \omega t - \\ - \frac{e_1^2}{2} \cos 2\omega t / \text{dyn}$$

gdzie

S - efektywna powierzchnia membrany i elektrody tylnej w cm^2 ;

d - odległość pomiędzy nimi w cm ;

E_0 - napięcie polaryzacyjne w woltach;

e_1 - napięcie szczytowe sygnału w woltach.

Możemy stąd obliczyć, że zniekształcenie 2. harmonicznej wynosi:

$$\frac{e_1}{2 E_0} \cdot 100\% = 35,3 \cdot \frac{e_{sk}}{E_0} \%$$

gdzie

e_{sk} - jest wartością skuteczną napięcia szczytowego e_1 .

Jeśli dopuścimy zniekształcenie 1%, a $E_0 = 200 \text{ V}$, dopuszczalny sygnał wynosi $5,6 \text{ V}_{sk}$. Ponieważ generator akustyczny może wprowadzić dodatkowo 0,5% zniekształcenia, sygnał e_1 nie powinien przekroczyć 4 V_{sk} . Siła poruszająca membranę wyniesie według wzoru powyższego

$$\frac{S}{8\pi d^2 \cdot 300^2} \cdot 2 \cdot 200 \cdot 4 \cdot 2 = \frac{S}{8\pi d^2 \cdot 300^2} \cdot 2260 \text{ dyn}$$

W dodatku /rozdz. 7' jest podany sposób uzyskania większych wartości siły poruszającej membranę.

4. IMPEDANCJA UCHA

W ciągu ostatnich 30 lat szereg pracowni badawczych przeprowadził szczegółowe pomiary impedancji, jaką ucho ludzkie przedstawia dla muszli słuchawki. Należy wyróżnić tu 3 zakresy częstotliwości: niskich /do 700 Hz/, średnich /700-2000 Hz/ i wysokich /ponad 2000 Hz/.

Najwięcej kłopotów jest z zakresem niskich częstotliwości, gdyż tu napotyka się dosyć duże różnice w wynikach pomiarów u różnych badaczy. Niektóre wzorce, np. amerykańskie są wynikiem rezygnacji z rozwiązania tego trudnego problemu i zakładają szczelną komorę ciśnieniową o stałej objętości. Jeżeli jednak jest poszukiwane ucho sztuczne rzeczywiście odwzorowujące ucho ludzkie, należałoby wprowadzić jeszcze jakąś dodatkową impedancję akustyczną poza pojemnością komory 6 cm^3 . W literaturze ocenia się ją na $120-150 \Omega$ przy małych częstotliwościach [2,3,4,5], zależnie od zastosowanej techniki pomiaru.

Jedni badacze wymagali, aby badany słuchacz dopasowywał sobie słuchawkę na maksimum wrażenia głośności odbieranego tonu [2], a inni wymagali, aby słuchawka była dopasowana tak, jak przy słuchaniu bardzo słabego sygnału [5].

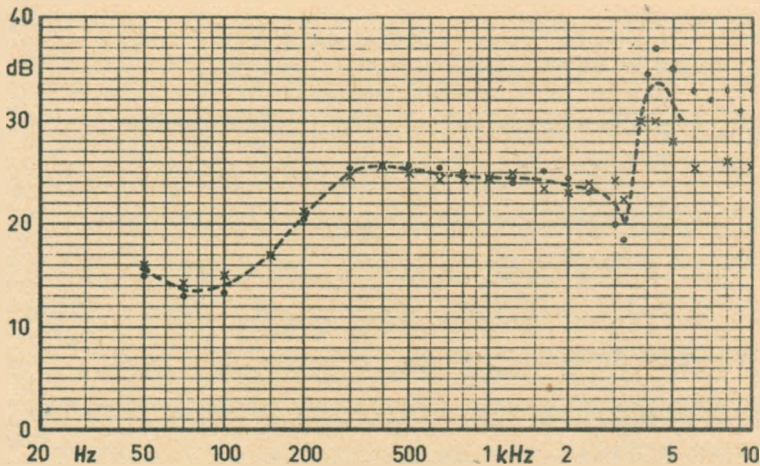
Prowadzone były pomiary [6] i [7] w celu ustalenia wpływu siły nacisku słuchawki na ucho na kształt charakterystyki. Przy większym nacisku charakterystyka przebiega wyżej, zwłaszcza przy niskich częstotliwościach, ale na ogół różnice te nie są tak wielkie, jak oczekiwano. Po-

miary impedancji przeprowadzone przez różnych badaczy dla zakresu niskich częstotliwości przy użyciu komór szczelnych dawały wyjątkowo zgodne wyniki.

Ponieważ warunki pomiarów i użyte słuchawki nie wszędzie były ściśle określone, postanowiono przeprowadzić własne doświadczenia ze słuchawką wzorcową, rys.2.

W środkowym otworze muszli jest umieszczony 1/2-calowy mikrofon pojemnościowy, spełniający rolę źródła dźwięku, ponadto wywiercone są dwa wąskie otwory, jeden dla wprowadzenia sondy mierzącej ciśnienia na wejściu do ucha, a drugi dla wprowadzenia do przestrzeni pod muszlą słuchawki pewnego nadciśnienia rzędu kilku milimetrów słupa wody dla uzyskania lepszej szczelności. Muszla jest uszczelniona ponadto grubą warstwą wazeliny na styku z uchem. Pomiar trwa około 18 sekund. Aby usunąć wpływ szumów otoczenia i ruchów głowy badanego słuchacza, sygnał z sondy przechodzi poprzez filtry analizatora zsynchronizowanego z generatorem akustycznym. Pomiar wykonano na obu uszach u 10 słuchaczy. Typowa średnia charakterystyka dla obu uszu jednego z nich jest przedstawiona na rys. 3. Jest ona dosyć zgodna z wynikami innych badaczy stosujących mikrofony nadawcze o dużej impedancji. Charakterystyczne wgłębienie charakterystyki przy 70 Hz jest spowodowane rezonansem własnym ucha zewnętrznego.

Objętość przestrzeni zamkniętej pod słuchawką zależy od kształtu jej muszli. W literaturze, jako normalne, podaje się wartości 5-6 cm³, choć możliwe są rozrzuty od 3,6 cm³ przy muszli ściśle dopasowanej i częściowo wy-



Rys. 3. Typowa średnia charakterystyka obu uszu badanego słuchacza

pełniającej małżowinę uszną aż do $7,2 \text{ cm}^3$ przy muszli słuchawki wyjątkowo głębokiej. Wzorzec amerykański ASA przewiduje takie dopasowanie słuchawki do kształtu muszli, aby utrzymać zawsze objętość 6 cm^3 . Ważna jest także sprawa konstrukcji ucha, co się szczególnie przejawia przy częstotliwościach wysokich.

W wielu opracowaniach pomija się milczeniem nieprawidłowości napotymane w zakresie częstotliwości powyżej 2 kHz, w kilku jednak pracach podkreśla się, że reaktancja równoważna objętości komory zmienia się w sposób gwałtowny pomiędzy 2 i 3 kHz. Można by to porównać do zmiany objętości z $4,5 \text{ cm}^3$ na $2,5 \text{ cm}^3$, co w układzie zastępczym, podanym na rys. 14, odpowiada zmianie wywołanej przez bezwładność masy w szereg z reaktancją objętości kanału usznego i równoważnej objętości bębenka. Re-

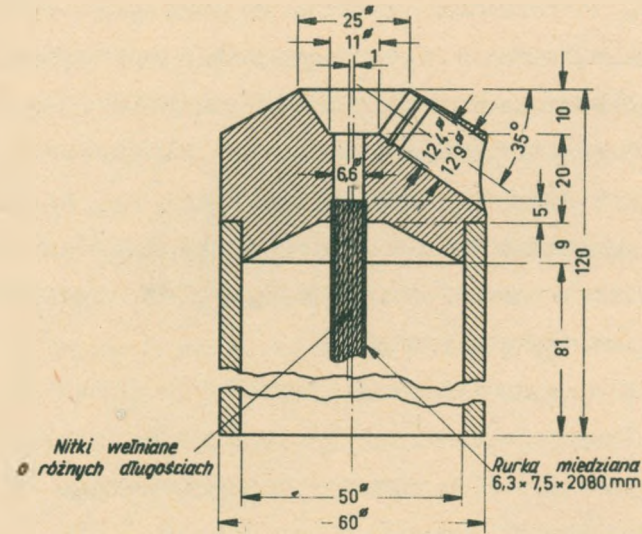
zonans szeregowy tego układu powoduje nagły spadek charakterystyki, a rezonans równoległy powoduje następujące po nim wzniesienie charakterystyki częstotliwościowej. Nachylenie charakterystyki przy niskich częstotliwościach zależy od wartości oporności akustycznej. Zmiany impedancji w tym zakresie opisano w [2], a także opisano sztuczne ucho wraz z akustycznym układem wyrównawczym. Podobnie w szwajcarskim modelu PTT zastosowano taki układ z tych samych powodów.

W zakresie częstotliwości ponad 5 kHz informacje są skąpe [9]. Przy pomiarach w tym zakresie objętość komory powinna być mała i o odpowiednim kształcie, co będzie w dalszej części artykułu rozważane.

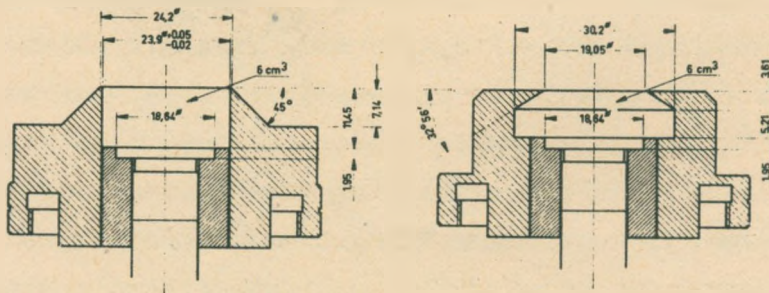
5. DOTYCHCZASOWE ROZWIĄZANIA SZTUCZNYCH USZU

Na rysunku 4 pokazano brytyjskie sztuczne ucho model NPL zmodyfikowane tak, aby można było pomieścić w nim 1/2-calowy mikrofon pojemnościowy. W modelu oryginalnym pomiar ciśnienia był wykonywany za pomocą mikrofonu-sondy, gdyż w tym czasie nie znano małych mikrofonów pojemnościowych. Obecnie, gdy te małe mikrofony są osiągalne, a stosowanie mikrofonu-sondy przy wysokich częstotliwościach napotyka trudności, zdecydowano się zastąpić je małym mikrofonem pojemnościowym. Objętość komory wynosi około $2,5 \text{ cm}^3$, nieszczelność pozorowana jest przez długą wąską rurkę o równoważnej oporności akustycznej 120Ω .

Na rysunku 5 podano oba amerykańskie modele komór sprzęgających.



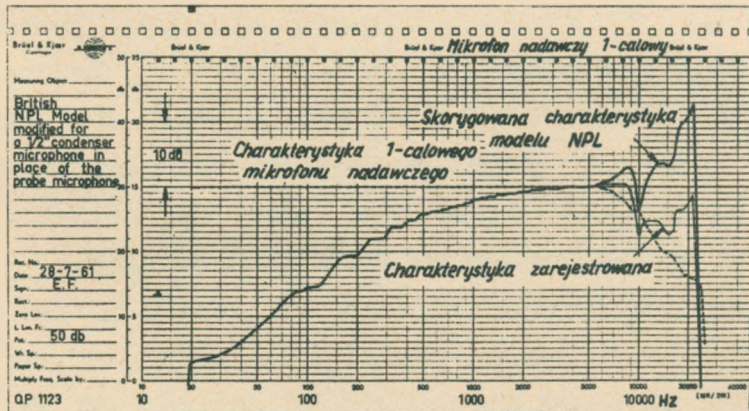
Rys. 4. Zmodyfikowane sztuczne ucho brytyjskie model NPL



Rys. 5. Amerykańskie komory sprzęgające
a/ model NBS typ 9-A b/ model ASA typ 1

Sztuczne uszy francuskie, model CNET, i szwajcarskie, model PTT /opisane w aneksach do tomu IV Zielonej Księgi CCITT/, zostały wykonane z nieznaczną modyfikacją w celu wyeliminowania użytych tam materiałów, jak skóra, płótno i filc. W modelu szwajcarskim zastosowano płótno jako materiał tłumiący pomiędzy dwiema jego komorami oraz na wierzchu sztucznego ucha. W modelu francuskim zastosowano uszczelki filcowe oraz skórzane pokrycie części zewnętrznej, co ma pozorować podatność skóry ludzkiej. Zgodnie z założeniami wstępnymi materiały te należało zastąpić materiałami twardymi akustycznie. Poza tym jednak rozwiązania te mają cenne właściwości, bardzo użyteczne przy ustalaniu sztucznego modelu ucha międzynarodowego.

Na rysunku 6 pokazano charakterystykę zmodyfikowanego sztucznego ucha brytyjskiego przy zastosowaniu 1-ca-



Rys. 6. Charakterystyka częstotliwościowa sztucznego ucha brytyjskiego z rys. 4

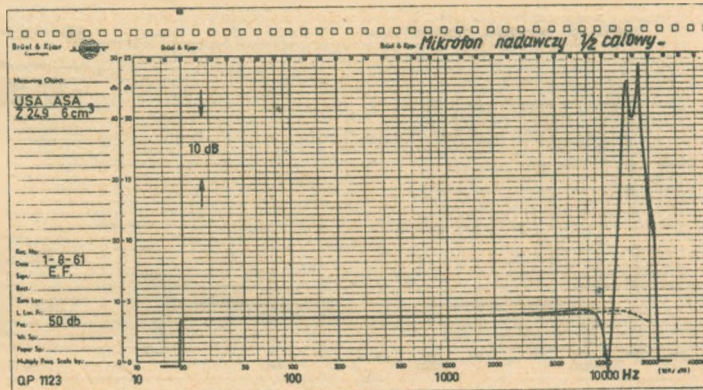
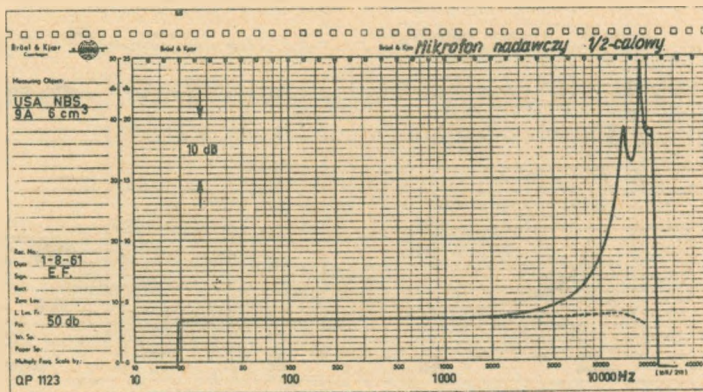
lowego pojemnościowego mikrofonu nadawczego w słuchawce wzorcowej. Dające się zauważyć lekkie falowanie na charakterystyce w zakresie małych częstotliwości jest wynikiem żmudnego dobierania odpowiedniego tłumienia w rurce pozorującej nieszczelność. Przy rurce bez żadnego materiału tłumiącego na charakterystyce częstotliwościowej sztucznego ucha, począwszy od 1500 do 2000 Hz w dół, pojawiają się oscylacje o narastającej amplitudzie aż do bardzo dużych wartości rzędu ± 10 dB przy 100 Hz. Przez zatkanie końca rurki korkiem z wiórków żelaznych o odpowiednio dobranej szczelności można było uzyskać zmniejszenie tych oscylacji do ± 1 dB, ale najlepsze wyniki osiągnięto przez wprowadzenie do wnętrza rurki nitek wełnianych o odpowiednio dobieranej długości. Co innego, że wtedy nie spełniono warunku stosowania tylko akustycznie twardych materiałów.

Sztuczne ucho francuskie było mierzone w zakresie poniżej 5 kHz, przy użyciu w słuchawce wzorcowej 1-calowego mikrofonu nadawczego, a 1/2-calowego - w zakresie powyżej 5 kHz. Ponieważ nieszczelności są nieduże, charakterystyka ucha jest płaska w dosyć szerokim zakresie częstotliwości 150-4000 Hz; poniżej jest stały spadek 6 dB/oktawę, a powyżej pojawiają się różne rezonanse.

Sztuczne ucho szwajcarskie nie ma nieszczelności zewnętrznych, a tylko bardzo wąskie połączenie pomiędzy dwiema komorami ucha. Dla częstotliwości poniżej 300 Hz ucho pracuje jak jedna duża komora zamknięta. W zakresie 500-2000 Hz charakterystyka podnosi się z powodu sprzężenia pomiędzy dwiema komorami. Dla wysokich częstotli-

wości dzięki tylko pierwszej komora o objętości $1,5 \text{ cm}^3$, której pierwszy rezonans zachodzi przy około 20 kHz.

Rysunek 7 przedstawia charakterystyki obu amerykańskich komór sprzęgających. O ile model NBS posiada charakterystykę narastającą już od 3-4 kHz do pierwszego rezonansu przy około 14 kHz, to w modelu ASA charakte-

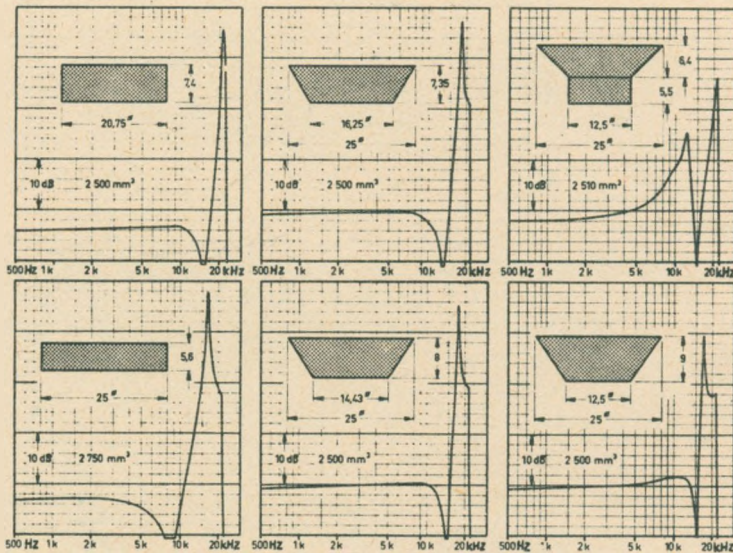


Rys. 7. Charakterystyki częstotliwościowe modeli amerykańskich

a/ NBS typ 9 A

b/ ASA typ 1

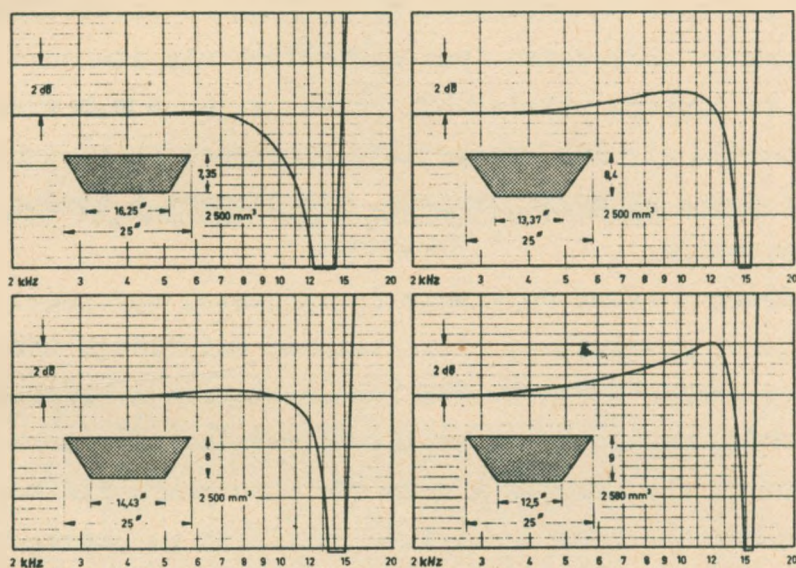
rystyka jest prawie płaska do 8 kHz, dalej opada w óół do antyrezonansu i dopiero potem rośnie do pierwszego rezonansu przy 14 kHz. Wiadomo, że pierwszy wzdłużny rodzaj drgań powoduje wzrost ciśnienia na membranie mikrofonu, a pierwszy poprzeczny rodzaj drgań wywołuje spadek tego ciśnienia. Gdy częstotliwości własne obu rodzajów drgań są sobie równe, następuje znoszenie się ich wpływu w szerokim zakresie charakterystyki, co ma właśnie miejsce w modelu ASA; charakterystyki mikrofonu pomiarowego i nadawczego powinny być przy tym symetryczne.



Rys.8. Charakterystyki częstotliwościowe różnych wariantów komory sprzęgającej o objętości $2,5 \text{ cm}^3$. Charakterystyki częstotliwościowe modeli amerykańskich a/ NBS typ 9A, b/ASA typ 1

Obliczenie właściwych wymiarów komory sprzęgającej dla osiągnięcia tego efektu w przypadku kształtu stożkowego

komory jest trudne, dlatego też przeprowadzono odpowiednie eksperymenty z różnymi kształtami o stałej objętości $2,5 \text{ cm}^3$; wyniki tych prób zebrano na rys. 8. Użyte były 1/2-calowe mikrofony nadawczy i pomiarowy oraz pisak /hypsograf/ z potencjometrem o zakresie do 50 dB. W celu precyzyjnego ustalenia optymalnego kształtu komory przeprowadzono pomiary kilku najlepszych wariantów pisakiem z potencjometrem o zakresie do 10 dB /rys. 9/.



Rys. 9. Charakterystyki częstotliwościowe najkorzystniejszych wariantów komory sprzęgającej, zarejestrowane na pisaku /hypsografie/ o zakresie do 10 dB

Najlepszy okazał się stożek o wymiarach $25 \times 13,4 \times 8,4 \text{ mm}$. Jest to kształt bardzo bliski modelowi brytyjskiemu NPL, a także bliski modelowi francuskiemu CNET i może być uważany za uproszczony kształt ludzkiego ucha zewnętrzne-

go, dlatego też wzięto go za podstawę do dalszych badań.

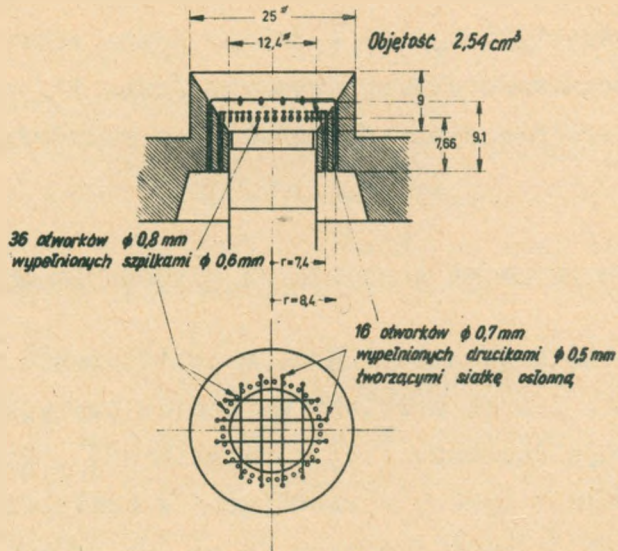
Przeprowadzono jeszcze próby z modelem brytyjskim NPL, zastępując tłumienność jednej grubej rurki czterema cienkimi. Dwie z tych rurek są na końcu zamknięte, a dwie otwarte, co jest oczywiście łatwe do wykonania. W efekcie otrzymano bardziej gładki przebieg charakterystyki bez kłopotliwego dobierania tłumienia w rurce. Kształt charakterystyki pozostał bez większych zmian, ale opadanie charakterystyki na niskich częstotliwościach we wszystkich tych wariantach nie zachodzi zgodnie ze zwykłym układem RC, co wskazuje na to, że rurki nie zachowują się jak rzeczywiste oporności akustyczne, ale mają pewną składową urojoną, niepożądaną i trudną do odtworzenia.

Jedną z metod uzyskania rzeczywistej oporności akustycznej pozorującej nieszczelność sztucznego ucha jest wprowadzenie dużej ilości bardzo wąskich i krótkich otworków, wypełnionych szpilek metalowymi o takich wymiarach, aby całkowita oporność akustyczna miała pożądaną wartość 120Ω /rys. 10/. Układ ten ma szereg zalet:

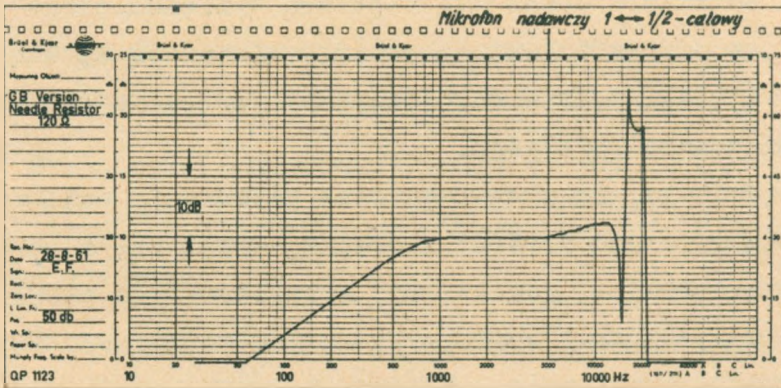
1/ ponieważ objętość tych otworków jest bardzo mała, nie ma szkodliwych rezonansów,

2/ łatwo jest dopasować grubość szpilek do wymiarów otworków, można je np. pokrywać elektrolitycznie warstwą metalu o pożądanej grubości,

3/ oporność akustyczną łatwo zmierzyć statycznie przez pomiar przepływu powietrza przy danej różnicy ci-



Rys. 10. Wariant brytyjskiego sztucznego ucha z otworkami



Rys. 11. Charakterystyka częstotliwościowa wariantu sztucznego ucha z rys.10

śnienie lub też dynamicznie przez określenie punktu spadku charakterystyki o 3 dB w dolnym końcu zakresu. Otrzymuje się regularną charakterystykę /rys. 11/ wskazującą na rzeczywistą oporność 120Ω bez składowej urojonej.

6. PROPONOWANA KONSTRUKCJA SZTUCZNEGO UCHA

Wydaje się zupełnie słuszne ukształtowanie sztucznego ucha tak, jak to zrobiono we wzorcu brytyjskim [3] i jak proponują Chavasse [10] i Nebelik [2]. Proponują oni konstrukcję komory sprzęgającej w kształcie stożka o otworze wejściowym średnicy 25 mm, na który nakłada się słuchawkę badaną. Czynna część membrany mikrofonu pomiarowego powinna znajdować się przy wejściu do kanału usznego. Całkowita objętość sztucznego ucha ma być $4,5\text{ cm}^3$ i wtedy przy zakrzywionym kształcie muszli słuchawki zamknięta przez nią objętość wyniesie około $5-6\text{ cm}^3$, a przy słuchawce płaskiej, wgłębiającej się w ucho, objętość będzie mniejsza, tak jak to ma miejsce w przypadku ucha ludzkiego.

Stwierdzono, że przeprowadzone poprzednio badania w zakresie wyższych częstotliwości zgadzają się z badaniami prowadzonymi do konstrukcji szwajcarskiego sztucznego ucha i z badaniami Nebelika [2]. Podzielili oni objętość komory sztucznego ucha na dwie części połączone ze sobą szparą lub rurką. Rozwiązanie tego typu jest konieczne, jeśli sztuczne ucho choć w przybliżeniu ma zastępować przy pomiarach ucho ludzkie przy częstotliwo-

ściach ponad 2 kHz. Stwierdzono, tak jak to poprzednio ustalili inni badacze, że impedancja ucha ludzkiego zmienia się wyraźnie pomiędzy 2 i 3 kHz.

Przy częstotliwościach powyżej 6 kHz należy także wziąć pod uwagę rozkład ciśnienia akustycznego w komorze sztucznego ucha, gdyż położenie czynnej części membrany mikrofonu pomiarowego może zmienić charakterystykę o kilka dB, patrz [9]. Pomiary rozkładu czułości w różnych punktach membrany mikrofonów pojemnościowych firmy Brüel i Kjaer typu 4131 i 4132 przeprowadzone były poprzednio [12]. Obecnie przeprowadzono te pomiary dla 1/2-calowego mikrofonu typu 3134 i stwierdzono, że aż do 20 kHz rozkład czułości jest zupełnie równomierny. Podobnie zachowują się inne wkładki tego typu.

Ostatecznie, biorąc pod uwagę wyniki prac innych badaczy i badania własne, proponuje się następujące rozwiązanie:

1/ sztuczne ucho wykonane z materiału niemagnetycznego, np. z mosiądzu z komorą o wymiarach jak na rys. 12;

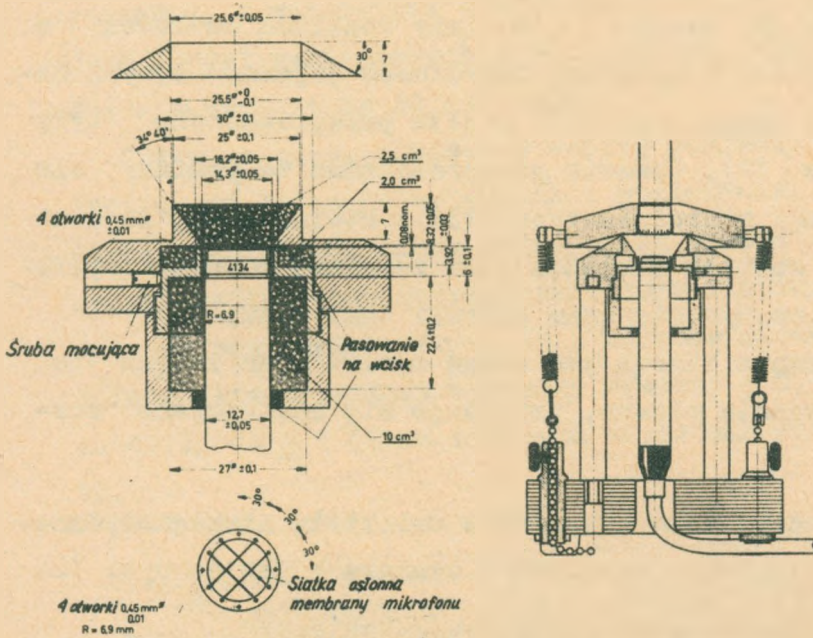
2/ średnica otworu zewnętrznego 25 mm;

3/ mikrofon pomiarowy umieszczony centrycznie 8,4 mm poniżej otworu;

4/ czynna powierzchnia membrany mikrofonu jest kołowa, o średnicy 7,2 mm /tak jak wejście do kanału usznego/;

5/ wewnętrzna komora o objętości 2 cm^3 jest połączona z komorą zewnętrzną poprzez szczelinę regulowaną przez wkręcanie części gwintowanej i następnie mocowanej śrubą;

6/ nachylenie charakterystyki określa się z pomiaru przy użyciu źródła dźwięku o dużej impedancji, a zależy ono od czterech otworków o średnicy 0,45 mm, jak to opisali I. Barducci i F. Bianchi [7].



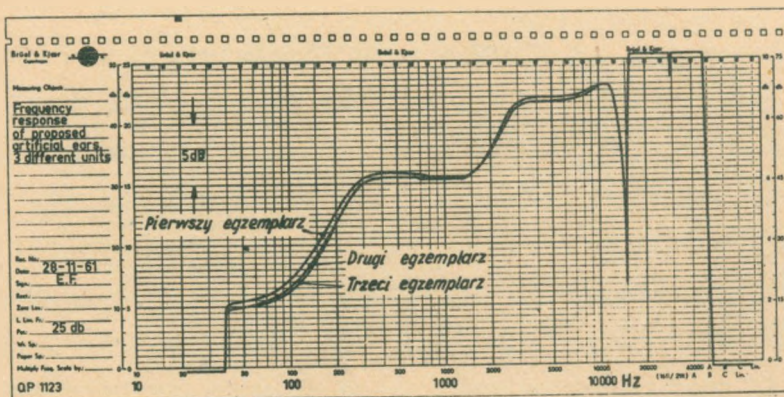
Rys. 12. Proponowane międzynarodowe sztuczne ucho:
a/ komora sprzęgająca, b/ układ pomiarowy ze sztucznym uchem

Impedancja sztucznego ucha przy bardzo małych częstotliwościach zależy od komory 10 cm³ zamykającej całe sztuczne ucho, tak jak to ma miejsce, gdy muszla słuchawki szczelnie przylega do ucha ludzkiego. Ze wzglę-

dów praktycznych ważne jest, aby układ stanowił zamkniętą całość dla uniknięcia wpływu zewnętrznych zakłóceń, w których składowe niskiej częstotliwości są zwykle najpoważniejsze.

Nachylenie charakterystyki przy 150 Hz, mierzone przy użyciu słuchawki o dużej impedancji, nie pokrywa się z nachyleniem, jakie otrzymuje się przy rzeczywistej oporności, a mianowicie 6 dB/oktawę. Na podstawie różnych źródeł wymienionych w bibliografii otrzymuje się średnio nachylenie 10 dB/oktawę.

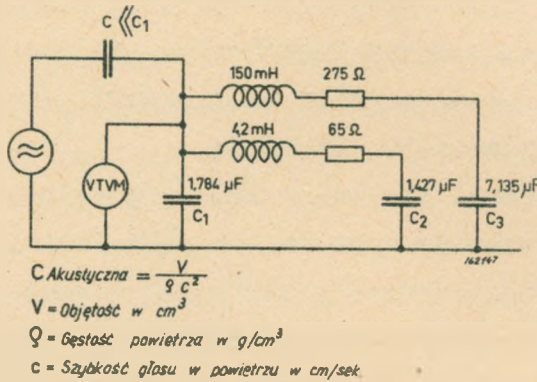
Sztuczne ucho, zbudowane według powyższych danych, jest dosyć łatwe do wykonania i powielania. Charakterystyki częstotliwościowe małej serii trzech sztuk, wykonanych według tego wzoru, nakreślone zostały na tym samym arkuszu papieru /rys. 13/. Różnice między poszczególnymi egzemplarzami wynosiły średnio $\pm 0,5$ dB, a dochodziły do ± 1 dB na stromych częściach charakterystyki.



Rys. 13. Charakterystyka częstotliwościowa serii sztucznych uszu wykonanych wg rys. 12

Wkładki mikrofonowe mogą być cechowane metodą wzajemności lub za pomocą pistofonu^{1/} z dokładnością $\pm 0,2$ dB.

Równoważny układ elektryczny proponowanego sztucznego ucha pokazano na rys. 14. Objętości komory 10 cm^3 od-



Rys. 14. Równoważny układ elektryczny proponowanego sztucznego ucha. Generator w szeregu z pojemnością C przedstawia mikrofon nadawczy, a VTVM przedstawia wbudowany do ucha mikrofon pomiarowy

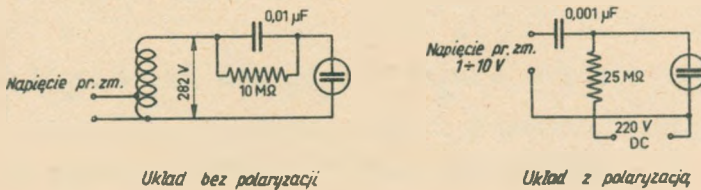
powiada pojemność C_3 , komorze 2 cm^3 odpowiada C_2 , a komorze $2,5 \text{ cm}^3$, w której mierzony jest poziom ciśnienia akustycznego, odpowiada C_1 . Bardzo mała pojemność $C = 0,005 \text{ pF}$ odpowiada również małej objętości wkładki mikrofonowej $0,007 \text{ cm}^3$. Charakterystyka częstotliwościowa tego układu równoważnego przebiega tak samo, jak charakterystyka sztucznego ucha /rys. 13/. Układ powyższy może znaleźć zastosowanie jako układ korekcyjny kompres-

^{1/} akustyczny pobudnik tłokowy /mechaniczne źródło dźwięku/-przyp. opracow.

ra w oscylatorze dudnieniowym w celu uzyskania stałego poziomu ciśnienia pod muszlą słuchawki przy próbach z uszami ludzkimi, jak to np. proponuje [13].

7. DODATEK. WZORCOWA SŁUCHAWKA ELEKTROSTATYCZNA BEZ POLARYZACJI

Typowy układ zasilania mikrofonu pojemnościowego z polaryzacją napięciem stałym, pracującego jako nadajnik dźwięku, pokazany jest na rys. 15 po stronie prawej. Możliwe jest także zasilanie bez polaryzacji, jak na rys. 15 po stronie lewej.



Rys. 15. Układ zasilania pojemnościowego mikrofonu nadawczego

na jednak uzyskać znacznie większe ciśnienie w układzie bez polaryzacji, doprowadzając tylko napięcie zmienne z generatora akustycznego, jak na rys. 15 po stronie lewej, z tym że otrzymuje się ciśnienie o częstotliwości dwukrotnie większej niż częstotliwość napięcia przyłożonego.

Jeżeli napięcie polaryzacyjne dla danego typu wkładki wynosi np. 200 V, to można na nią przyłożyć napięcie zmienne o wartości 200 V_{sk}, czyli 282 V wartości

szczytowej. Jeśli sygnał o częstotliwości f_1 posiada ponadto zniekształcenia /2 lub 3 harmonicznej/ o częstotliwości f_2 , to napięcie przyłożone

$$e = e_1 \sin \omega_1 t + e_2 \sin \omega_2 t$$

i wtedy siła działająca na membranę wynosi:

$$F = \frac{S}{8\pi d^2 300^2} /e_1 \sin \omega_1 t + e_2 \sin \omega_2 t/{}^2 =$$

$$= \frac{S}{8\pi d^2 300^2} \left[\frac{e_1^2}{2} - \frac{e_1^2}{2} \cos 2\omega_1 t + \frac{e_2^2}{2} - \frac{e_2^2}{2} \cos \omega_2 t + \right.$$

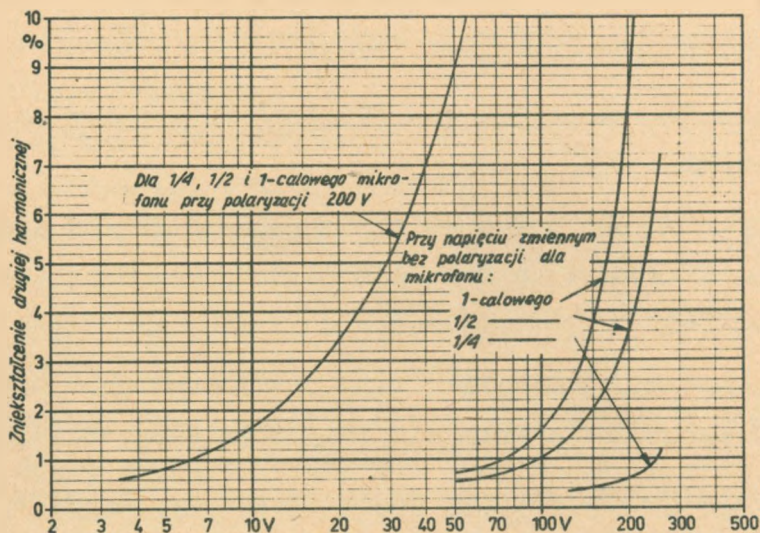
$$\left. + e_1 e_2 \cos / \omega_1 - \omega_2 / t - e_1 e_2 \cos / \omega_1 + \omega_2 / t. \right] \text{ dyn.}$$

Siła poruszająca membranę z częstotliwością $2f_1$ wyniesie zatem w powyższym przypadku:

$$\frac{S}{8\pi d^2 300^2} \cdot \frac{282^2}{2} = \frac{S}{8\pi d^2 300^2} \cdot 39762 \text{ dyn,}$$

co jest o 22 dB więcej niż w podanym poprzednio na str. 27 obliczeniu dla przypadku mikrofonu z polaryzacją.

Przy dużych amplitudach, gdy ruch membrany jest duży w stosunku do odległości pomiędzy membraną i elektrodą tylną, powstają zniekształcenia, co ogranicza maksymalne przykładane napięcie. Odpowiednie zależności podane są na rys. 16. Jeśli np. dopuszczalne są zniekształcenia 1% dla wkładki 1/2-calowej, maksymalne napięcie



Rys. 16. Zniekształcenia 2 harmonicznej w funkcji amplitudy sygnału

zmiennie wynosi 100 V_{sk}. Wtedy siła poruszająca membranę dla częstotliwości 2f₁ wynosi:

$$\frac{S}{8\pi d^2 300^2} \cdot 10000 \text{ dyn,}$$

co jest 13 dB więcej niż dla przypadku mikrofonu z polaryzacją.

WYKAZ LITERATURY

1. F.E. WILLIAMS. Acoustical Impedance Measurements on Real Ears. Post Office Research Station, Progress Report, 1 czerw. 1961.

- 2 . I. NABELEK. Proc. of third ICA. Congress 1959, s. 26 i 28.
- 3 . British Standard 2042. 1953.
- 4 . Bell Telephone MFG Co. Physical Laboratory Antwerp Report 2 T N, 7068V.
- 5 . W.F. CLEMENCY. Acoustical Impedance of the Human Ear as seen from a Telephone Receiver Cap. Case 20727-3.
- 6 . D. MAHLON. BURKHARD i E.L.R. CORLISS. The response of earphone in ears and couplers. JASA, t.26, s.680.
- 7 . I. BARDUCCI. Effects de la valeur de la force d'application sur la réponse des écouteurs d'audiométrie. Praca przedstawiona Grupie Roboczej nr 29/ /11 IEC, czerw. 1961.
- 8 . I. BARDUCCI i F. BIANCHI. Contribution aux méthodes d'Etalonnage des Ecouteurs de Haute Qualité. Proc. of the third ICA. Congress 1959.
- 9 . S.C. DAISGAARD. Some Calculations and Measurements of the Sound Distribution in 2 cm³ Coupler Cavities. Proc. of the third ICA. Congress 1959.
- 10 . P. CHAVASSE. /Centre National d'Etudes des Telecommunications. Paris/. Systeme de Contrôle Objectif de l'Efficacité des Appareils d'Abonnés. Proc. of the third ICA. Congress 1959.
- 11 . L. BERANEK. Acoustic Measurements, s. 740, rys. 16-24.

- 12 . P.V. BRUEL i G. RASMUSSEN. Bruel and Kjaer Technical Review, nr 2, kwiec. 1959.
13. R. FEIDTKELLER i E. ZWICKER. Das Ohr als Nachrichtenempfänger, s. 7.

