

1 9 6 2

Nr 5 (8)

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI

WARSZAWA — MIEDZESZYN

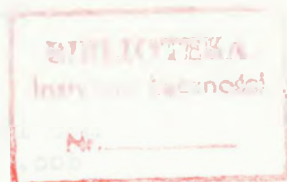
PRZEGLĄD  
ZAGADNIEŃ  
ŁĄCZNOŚCI

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI  
WARSZAWA



MINISTERSTWO ŁĄCZNOŚCI

---



# PRZEGLĄD ZAGADNIEŃ ŁĄCZNOŚCI

ROK 2

WARSZAWA 1962

NR 5/8

---

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI

Ośrodek Informacji Techniczno-Ekonomicznej

Kolegium Redakcyjne:

Przewodniczący - mgr inż. Zenon Szpigler

Członkowie:

mgr inż. Władysław Cetner, inż. Edmund Janowski,  
doc. Stefan Jasiński, mgr Kazimierz Motowski,  
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

Dział Wydawniczy OKW Instytutu Łączności  
Format B5. Nakład 600. Druk ukończono  
we wrześniu. 1962 r

PRZEGLĄD  
ZAGADNIENI ŁĄCZNOŚCI

Parametry toru radiofonicznego

SPIS TREŚCI

	Str.
1. Nowe kryterium oceny zniekształceń - Opracował W. Rutkowski.	1
2. Jakościowe wskaźniki toru radiofonicz- nego - Opracował R. Issakiewicz	40

621.317.353.1  
534.32

## NOWE KRYTERIUM OCENY ZNIEKSZTAŁCEN<sup>1)</sup>

E.R. Wigam. New distortion criterion. Electronic Technology nr 4/1961, str. 128-137, nr 5/1961, str. 163-174.

### C Z Ę Ś Ć I

#### 1. REAKCJA SŁUCHACZY NA ZNIEKSZTAŁCENIA NIELINIOWE

##### 1.1. Wstęp

Zwykle sądzi się, że sprawa zniekształceń jest ważna jedynie dla techników związanych z odtwarzaniem dźwięków wysokiej jakości, a zapomina się o tym, że ma ona bezpośredni wpływ na konstrukcję urządzeń. Na przykład moc użyteczna jakiegokolwiek urządzenia akustycznego jest kompromisem pomiędzy maksymalną mocą i maksymalnym zniekształceniem. Konstruktor musi wiedzieć, jakie mogą być dopuszczalne zniekształcenia, gdyż najbardziej ekonomiczne rozwiązanie będzie takie, w którym ta granica będzie osiągnięta przy pełnym obciążeniu. Straty, spowodowane niewykorzystaniem tych możliwości, są bardzo poważne w przypadkach, gdy koszt urządzenia jest duży i rosną szybko ze wzrostem mocy użytecznej. Typowym tego przykładem jest modulator wielkiej mocy nadajnika radio-

---

<sup>1/</sup> Na podstawie oryginału opracował W. Rutkowski.

wego w systemie modulacji amplitudy, stosowany nie tylko w pasmie fal średnich radiowych, ale także w telewizji jako nadajnik dźwięku.

Cel, do którego należy dążyć, jest jasny i zniekształcenia wytwarzane przy pełnym obciążeniu są łatwe do obliczenia, nie znamy jednak właściwej metody zamiany zniekształcenia obiektywnego, wyrażonego w procentach, na zniekształcenia subiektywne, nazywane tu "wrażeniem nieprzyjemności", wyrażone w odpowiednich jednostkach miary. Konstruktorzy zdają sobie sprawę z tego, że typowe pomiary zniekształceń nie pozwalają przewidzieć z dostatecznym przybliżeniem subiektywnego odczucia odbiorcy, dlatego też wobec braku właściwych kryteriów zastrzegają wymagania techniczne w inny sposób. Na przykład w warunkach technicznych na nadajniki radiowe dla B.B.C. podaje się zwykle maksymalną dopuszczalną zawartość harmonicznych przy różnych głębokościach modulacji, ale ponadto żąda się, aby audycja nadawana brzmiała zadowalająco. Innym dowodem braku odpowiedniości pomiędzy procentową zawartością harmonicznych a wrażeniem nieprzyjemności może być przykład dwóch nadajników o prawie takiej samej procentowej zawartości harmonicznych, z których jeden pracować będzie ledwo znośnie a drugi bardzo dobrze. Oczywiście potrzebne tu jest jakieś kryterium, które by w wystarczający sposób określało wymagania techniczne urządzenia. Ażeby miało ono jakąś wartość, musi zgadzać się dosyć ściśle z opiniami wyrażanymi przez gośnych zaufania słuchaczy. Przede wszystkim należy wykryć czynniki, które wpływają na ustalenie się oceny zniekształceń przez słuchacza.

W pierwszej części tego artykułu wykazemy, że chociaż fachowi słuchacze są stali i konsekwentni w tym znaczeniu, że reagują oni w taki sam lub bardzo podobny sposób na te same dźwięki, to jednak ich reakcje na dźwięki zniekształcone a niejednakowe pod względem barwy, tonu lub głośności są nieraz zupełnie nieoczekiwane. Wyjaśnienie tych reakcji umożliwiło sformułowanie kryterium zniekształceń /omówionego w części drugiej/, gdyż kryterium to nie tylko powinno przełożyć subiektywną ocenę zniekształceń na wielkości liczbowe, ale powinno także do pewnego stopnia odzwierciedlać podane poniżej wzory zachowania się słuchaczy.

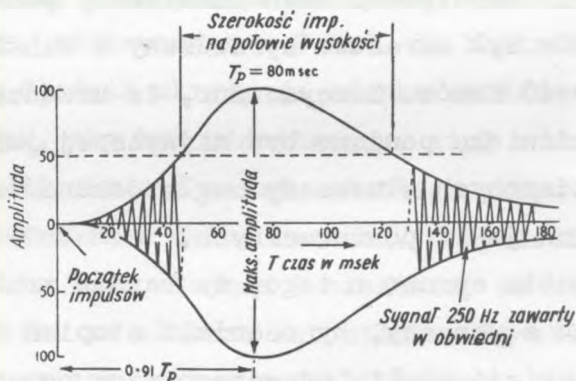
## 1.2. Urządzenia i metody pomiarowe

Pomiary przeprowadzane były w pokoju biurowym o wymiarach około 4,80 x 5,40 x 2,70 m, przystosowanym do pomiarów akustycznych przez takie jego wytkumienie, aby w przybliżeniu zastępował mało umeblowany pokój stołowy. Poziom hałasów był okresowo sprawdzany i wahał się w granicach 30-40 fonów. Zdecydowano, że urządzenie do odtwarzania dźwięku powinno być najwyższej jakości, aby ekipa doświadczonych słuchaczy mogła dokonać ocen zarówno surowych jak i powtarzalnych.

Zdawano sobie sprawę z tego, że bardzo trudno byłoby tak wyszkolić słuchaczy, by oceniali stopień zniekształceń według jakiejś skali; od samego więc początku pomiary były tak zorganizowane, że żądano tylko oceny równości lub nierówności zniekształceń.

W badaniach tych jako urządzenie zniekształcające zastosowano diodę. Jeśli zbadamy zachowanie się typowego modulatora wielkiej mocy nadajnika radiowego w systemie modulacji częstotliwości, okaże się, że zniekształcenie, chociaż znacznie zmniejszone przez ujemne sprzężenie zwrotne, jest zwykle spowodowane prądem siatki, a więc ma właśnie charakter typowy dla diody. W obecnych doświadczeniach operacja "rozcieńczenia" zniekształcenia zastępuje ujemne sprzężenie zwrotne. Układ z diodą ma ponadto tę zaletę, że przy zniekształcaniu sygnałów audycji o ciągle zmieniającej się amplitudzie, procentowe zniekształcenie jest stałe, niezależnie od amplitudy sygnału.

Stosowano dwa rodzaje sygnałów pomiarowych, jeden był krótkim wycinkiem audycji, a drugi był impulsem tonu czystego /rys. 1/. Zdecydowano się na takie impulsy z



Rys. 1. Obwiednia impulsu



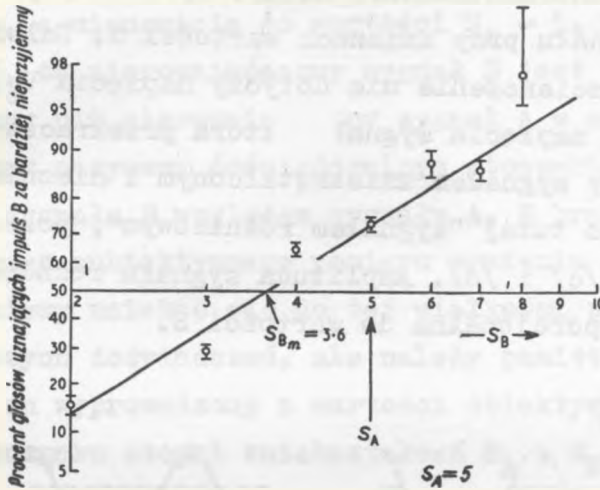
dwóch powodów: po pierwsze dawało to dla ucha takie samo ogólne wrażenie jak przy szybkim uderzaniu w klawisze pianina /staccato/, po drugie układ, wytwarzający te impulsy opisany w rozdz. 3.2. ma tę zaletę, że po wyłączeniu baterii otrzymuje się stały sygnał o amplitudzie dokładnie takiej samej jak szczyt impulsu. Pomiar zniekształceń tego stałego sygnału może być bez trudności przeprowadzony. Poziom głośności w czasie pomiarów zwykle był ustalany na 70 fonów. Szerokość impulsu  $T_p$ , mierzona na połowie wysokości maksymalnej amplitudy, może być zmieniona w sposób ciągły od 10 do 65 msek; zwykle ustalano ją na 40 msek. We wszystkich doświadczeniach impuls najpierw był wytwarzany a dopiero potem zniekształcany.

### 1.3. Sposób przeprowadzania pomiarów z sygnałami impulsowymi

Przez cały czas pomiarów używano wysokiej jakości odbiornika, stosowanego w B.B.C. do kontroli jakości programu. Głośnik ukryty za cienką zasłoną i oświetlony od góry tak, aby był niewidoczny, stał w rogu pokoju, a w odległości około 2 metrów od niego ekipa sześciu słuchaczy siedziała w dwóch rzędach. Oczywiście w pokoju tworzyły się fale stojące i niektórzy ze słuchaczy słyszeli dźwięki ze słabszą lub silniejszą składową podstawową, a w związku z tym ocenili je jako mniej lub więcej zniekształcone niż to zrobili inni słuchacze. Ponieważ jednak pomiarami objęte są dwa dźwięki, których

względne zniekształcenie ma być porównywane i ponieważ wypowiedzi sześciu słuchaczy były wyśredkowywane, interferencje te nie spowodowały większych trudności, co można było sprawdzić przesuwając ekipę o pół fali do lub od głośnika.

Zwykle każdemu dźwiękowi badanemu towarzyszył dźwięk czysty przed nim i po nim, tak że zniekształcenie wyraźnie się odbijało. Seria pomiarów była zawsze powtarzana tak, że słuchacz mógł w czasie drugiej serii sprawdzić swą opinię zanotowaną w pierwszej serii; kolejność była następująca: CC-AA-CC---CC-BB-CC---CC-AA-CC--CC-BB-CC, gdzie C oznacza impuls czystego dźwięku, a A i B oznaczają dwie zniekształcone wersje impulsu. Słuchacze mieli powiedzieć, który z dźwięków brzmiał bardziej nieprzyjemnie. Kreski oznaczają równe odstępy czasu 0,3 - - 0,4 sek. Po przegraniu całej serii zmieniano zniekształcenie sygnału B, serię powtarzano itd. Wkrótce zauważono, że, gdy dwa dźwięki były prawie jednakowo nieprzyjemne, słuchacze mieli wiele trudności w powzięciu decyzji, zwłaszcza gdy różnica barwy tonu była znaczna. Wprowadzając jednak metodę oceny, opisaną w rozdz. 3.3, uzyskano krzywą wyników głosowania jak na rys. 2, z której zupełnie dobrze można było wyśredkować punkt równości zniekształceń mimo niechęci słuchaczy do wydawania osądu, kiedy ta równowaga następuje. Słuchacze stwierdzali, że ich uwaga rozpraszała się przy końcu serii pomiarów, która, aby zapewnić 6 punktów na rys. 2, wymagała 24 porównań dźwięku, co było bardzo męczące. Wprowadzenie przyrządu, opisanego w rozdz. 3.3, który



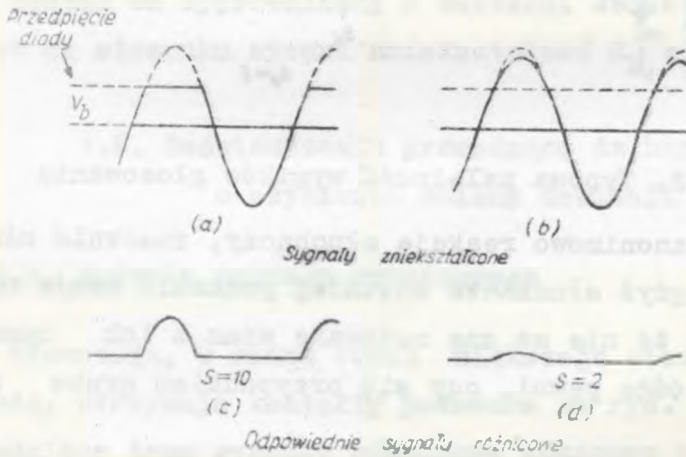
Rys. 2. Typowa zależność wyników głosowania

rejestrował anonimowo reakcje słuchaczy, znacznie ułatwiło pracę, gdyż słuchacze chętniej podawali swoje opinie, wiedząc że nie są one notowane wraz z ich nazwiskiem, nie będąc pewni, czy się przypadkiem grubo nie pomylili.

#### 1.4. Sposób regulacji zniekształcenia i "sygnał różnicowy"

Zniekształcenie wytworzone przez generator, opisane w rozdz. 3.1, może być regulowane dowolnie przez rozcieńczenie zniekształcenia diodowego dodaniem sygnału niezniekształconego. Na rysunku 2 wielkość  $S_A$  i  $S_B$  na osi X wyrażają /w częściach dziesięciu/, jaka część zniekształcenia jest obecna w sygnałach A i B; S otrzy-

muje wartości całkowite od 0 do 10; liczbie 10 odpowiada całkowite zniekształcenie diody. Rysunek 3 przedstawia zmianę sygnału przy zmianach wartości  $S$ . Należy zauważyć, że rozcieńczenie nie dotyczy napięcia  $V_b$ , a tylko tej części napięcia sygnału, która przekracza  $V_b$ . Różnicę pomiędzy sygnałem zniekształconym i niezniekształconym nazwano tutaj "sygnałem różnicowym", przedstawionym na rys. 3 /c/ i /d/. Amplituda sygnału różnicowego jest ściśle proporcjonalna do wartości  $S$ .



Rys. 3. Rozwodnienie zniekształcenia i sygnał różnicowy

### 1.5. Doświadczalny stosunek zniekształceń

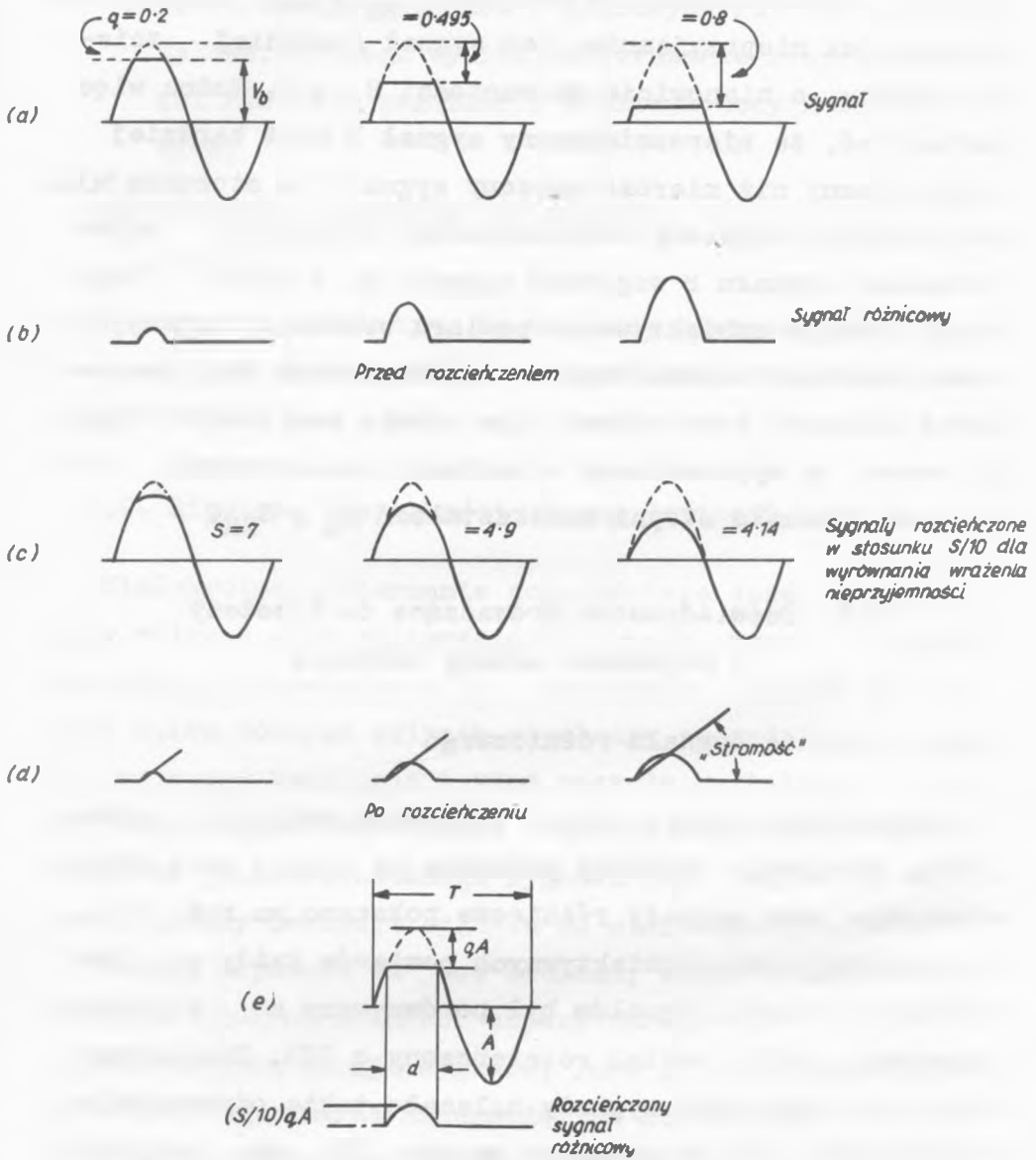
Rysunek 2 przedstawia zupełnie fikcyjny eksperyment i z niego można wywnioskować, że sygnał B był bardziej nieprzyjemny niż sygnał A, gdyż z wykresu widać, że sy-

gnał B, zniekształcony do wartości  $S_{BM} = 3,6$ , brzmiał dokładnie tak nieprzyjemnie, jak sygnał A silniej zniekształcony, a mianowicie do wartości  $S_A = 5$ . Można więc powiedzieć, że nierozcieńczony sygnał B jest bardziej nieprzyjemny niż nierozcieńczony sygnał A w stosunku 5:3,6. Ten stosunek nazywamy doświadczalnym stosunkiem zniekształceń sygnału B względem sygnału A. Z braku bardziej pewnego subiektywnego pomiaru wrażenia nieprzyjemności będziemy uciekać się do tej wielkości przy rozważaniu dalszych doświadczeń, ale należy pamiętać o tym, że został on wyprowadzony z wartości obiektywnych, to jest ze stosunku stopni zniekształceń  $S_A : S_{BM}$ .

#### 1.6. Doświadczenia prowadzące do hipotezy o szybkości zmiany dewiacji

##### 1,6,1, Badanie sygnału różnicowego

Sinusoida, w miarę coraz większego obcinania przez diodę, otrzymuje kształty pokazane na rys. 4 /a/. Odpowiadające temu sygnały różnicowe pokazano na rys. /b/. W obszernej serii subiektywnych pomiarów każdy z tych zniekształconych sygnałów był porównywany z sygnałem pierwszym, który został rozcieńczony o 30%. Znalezione wtedy, że pozostałe sygnały należało także odpowiednio rozcieńczyć, jak to pokazano na rys. /b/, aby uczynić je równie nieprzyjemne jak sygnał pierwszy. Rysunek /d/ ilustruje sygnały różnicowe, odpowiadające jednakowo nieprzyjemnym dźwiękom. Wynikają z tego dwa wnioski:



Rys. 4. Obcięte sinusoidy, które brzmią równie nieprzyjemnie

- 1/ powierzchnie sygnałów różnicowych /d/ nie są jednakowe, z czego wynika, że wrażenie nieprzyjemności nie jest związane z poziomem mocy harmonicznych,
- 2/ stromości sygnałów różnicowych /d/ są prawie jednakowe.

Nasuwa się konkluzja, że wrażenie nieprzyjemności jest w jakiś sposób zależne od szybkości zmiany sygnału różnicowego.

#### 1.6.2. Hipoteza o szybkości zmiany dewiacji

Wielokrotne powtarzanie poprzedniego doświadczenia przy różnych częstotliwościach sygnału, przy różnych wartościach przedpięcia  $V_p$  i szerokości impulsu  $T_p$  oraz przy kilku różnych ekipach słuchaczy prowadziło stale do tej samej konkluzji i stąd zaczęła kształtować się hipoteza o szybkości zmiany dewiacji: "wrażenie nieprzyjemności' zniekształconego sygnału jest zależne od szybkości zmiany dewiacji sygnału od stanu normalnego".

Jeżeli hipoteza ta jest słuszna, wtedy w doświadczeniach, w których słuchacz słyszy zarówno czystą jak i zniekształconą wersję sygnału, jako stan normalny należy uważać oryginalną sinusoidę, od której pochodzi sygnał zniekształcony, i należy domagać się, aby słuchacz brał właśnie amplitudę tej sinusoidy jako podstawę do oceny zniekształceń, które słyszy. Jeżeli słuchacz nie słyszy sygnału wzorcowego, musi on domyślać się, jak

ten dźwięk "normalny" ma brzmieć. Nie ma wątpliwości, że na takich przypuszczeniach opiera się opinia słuchaczy co do jakości audycji radiowych, odtwarzania z płyt itd.

### 1,6,3. Krytyczny eksperyment

Gdy sygnał został zniekształcony przez dwie diody, każda z nich działając na inną połówkę sinusoidy, a zwłaszcza gdy diody obcinały obie połówki symetrycznie, okazało się, że wrażenie nieprzyjemności było takie samo jak przy działaniu tylko jednej diody. Wynik taki był nieoczekiwany, gdyż sądzono, że pojawienie się zniekształcenia dwa razy częściej w każdym cyklu sinusoidy powinno uczynić ten sygnał bardziej nieprzyjemny. Wytłumaczenie tego problemu okazało się możliwe dopiero znacznie później /patrz część II/, ale poszukiwania rozwiązania doprowadziły do dokładnego przebadania tych przypadków i do potwierdzenia tego zjawiska ponad wszelką wątpliwość. Jednocześnie hipoteza została wzmocniona przez eksperymenty opisane poniżej.

### 1.7. Eksperymenty sugerowane przez hipotezę

Pierwsze doświadczenie, którego wynik mógł być logicznie wyprowadzony z założonej hipotezy był następujący: jeżeli wrażenie nieprzyjemności jest funkcją stromości sygnału różnicowego, to zmieni się ono proporcjonalnie do częstotliwości sygnału. Aby to sprawdzić, porównano dwa sygnały impulsowe jednakowo zniekształcone i



o tej samej amplitudzie, ale różniące się wysokością tonu o całą oktawę /500-1000 Hz/; jak oczekiwano, impuls o wyższej częstotliwości był bardziej nieprzyjemny. Przy dalszym badaniu okazało się, że zjawisko to potwierdza się tylko w tym wąskim zakresie.

Drugim prostym sposobem zwiększania stromości sygnału różnicowego jest zwiększenie głośności zniekształconego sygnału. Bezpośrednia próba wykazania tego efektu zakończyła się niepomyślnie. Okazało się, że słuchacze nie byli w stanie porównać silniejszych i słabszych dźwięków tak, jak byli poinstruowani; spostrzegli się, że zamiast tak robić, porównują oni każdy z dźwięków pomiarowych z wyimaginowanym czystym sygnałem o tej samej głośności.

Przy założeniu, że wrażenie nieprzyjemności było oceniane jako odchylenie od stanu normalnego, potwierdziło następujące doświadczenie: sygnały pomiarowe nie były pojedynczymi czystymi tonami, ale mieszaniną sprzężonych ze sobą dwóch czystych tonów, z których drugi był o oktawę wyższy, a amplitudę miał dwa razy mniejszą niż pierwszy. Taka mieszanina dawała krzywą asymetryczną, a po zniekształceniu przez diodę dawała sygnały różnicowe o zupełnie różnych stromościach zależnie od kierunku połączenia diody. Doświadczenie to potwierdziło fakt, że bardziej stroma krzywa była bardziej nieprzyjemna.

W końcu hipoteza pośrednio sugerowała, że szybkość narastania impulsu dźwięku może mieć wpływ na wrażenie nieprzyjemności. Doświadczenia nie potwierdziły tego, gdyż próby wykazały, że zmiana szerokości impulsu  $T_p$  od

40 do 75 msek nie miała żadnego wpływu na wrażenie nieprzyjemności.

### 1.8. Elementarne formy materiału dźwiękowego.

#### Wpływ treści audycji na wrażenie nieprzyjemności

##### 1.8.1. Materiał pomiarowy

Zbudowano bardzo prosty elektryczny fortepian, zdolny do wytwarzania 10 tonów gamy C-dur w formie impulsów jak na rysunku 1. Nie można było wytwarzać akordów, a tylko pojedyncze tony. "Ogon" każdego z impulsów był wygaszany w ten sposób, że przyciśnięcie klawisza do następnego impulsu uruchamiało układ gwałtownie przyspieszający wygaszanie impulsu poprzedniego. Dzięki temu można było grać dosyć szybko bez wprowadzania zauważalnych zniekształceń impulsu.

Pewien motyw muzyczny był przedstawiony w warunkach A, następnie ten sam lub inny motyw przedstawiony był w warunkach B,1, ponieważ obie wersje były zniekształcone, osąd słuchaczy całkowicie opierał się na wyczuciu stanu normalnego.

##### 1.8.2. Zjawisko kontrastu

W nowych warunkach oceny słuchaczy w sposób wyraźny zależały od kontrastu pomiędzy dźwiękiem usłyszanym, a dźwiękiem oczekiwanym. Rodzaj oczekiwania mógł być zmieniony przez zmianę ogólnego poziomu lub tła zniekształ-

ceń. Na przykład przedstawiono dwie melodie A i B, trwające po 1,5 sek z przerwą 0,5 sek. Jako tło zniekształceń służyły nuty początkowe, w melodii A 2 razy większe niż w B /6 do 3 jednostek/. Końcowa nuta każdej melodii była silniej zniekształcona: w melodii A 8 jedn., w B wielkość dobierana w trakcie doświadczenia według opinii słuchaczy. Słuchacze mieli powiedzieć, kiedy obie nuty brzmią jednakowo nieprzyjemnie. Słuchacze uznali, że zniekształcenie ostatniej nuty w B na poziomie 6 jedn. czyni ją równie nieprzyjemną jak ostatnia nuta w A, której zniekształcenie jak wiemy wynosiło 8 jedn. Oczywiście, słuchacze byli pod wrażeniem kontrastu pomiędzy zniekształceniem ostatniej nuty i tłem zniekształceń w każdej z melodii; 6 jedn. zniekształcenia wystarczyło w melodii B w przeciwstawieniu do tła 3 jedn., aby brzmiała ona równie nieprzyjemnie jak 8 jedn. w melodii A, gdzie tło miało 6 jedn.

### 1.8.3. Efekt amplitudowy

Efekt amplitudowy jest widoczny w materiale doświadczalnym, podanym na rys. 5. Krzywa poniżej nut pokazuje, jak zmieniano wzmocnienie wzmacniacza głośnikowego w drugim motywie, tak że postępowało ono według przerywanego crescendo, zakończonego 4 decybelowym wzniesieniem się na ostatniej nucie G. Nuta G w pierwszej melodii nie była akcentowana. Słuchacze domagali się, aby zniekształcenie G w drugiej melodii zostało zmniejszone do poziomu 70% zniekształcenia G w pierwszym motywie, aby te

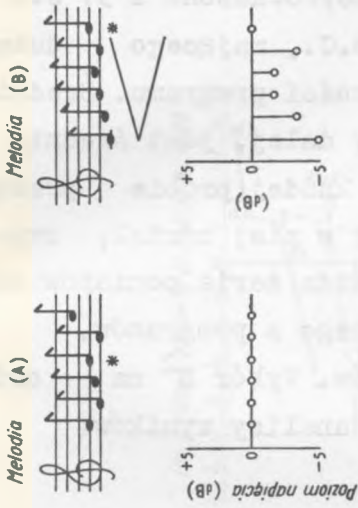
nuty brzmiały jednakowo nieprzyjemnie. Należy zauważyć, że te dwa dźwięki miały tę samą wysokość tonu i że były słyszane z tą samą głośnością; zmniejszenie zniekształcenia, którego domagali się słuchacze, należy przypisać zwiększeniu się wrażenia nieprzyjemności wywołanego przez crescendo w drugiej melodii.

## 1.9. Reakcja słuchaczy na zniekształconą treść audycji

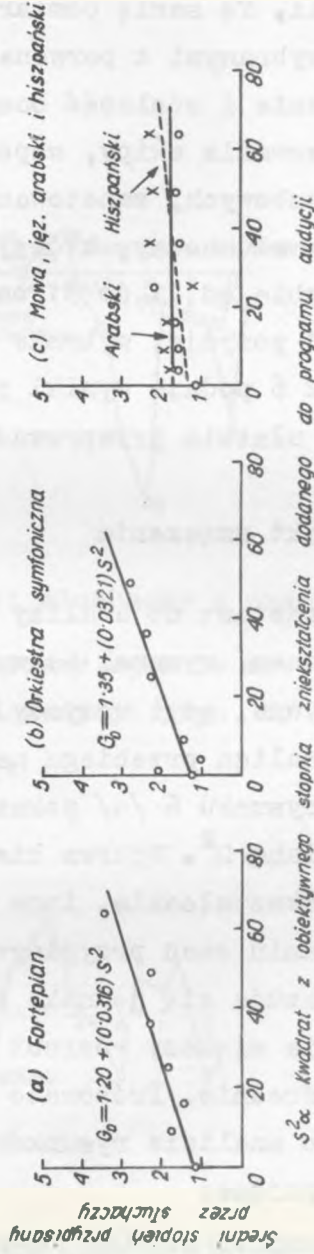
### 1.9.1. Treść i warunki doświadczeń

Do dyspozycji było 6 programów: 1/ solo fortepianowe, 2/ orkiestra symfoniczna, 3/ orkiestra wojskowa, 4/ solo organowe, 5/ dziennik radiowy, 6/ dziennik w języku arabskim i opowiadanie w języku hiszpańskim. Do pomiarów używano krótkie 5-sekundowe wycinki z zapisanego na taśmie programu, w którym wymazywano na przemian 2 i 9-sekundowe okresy czasu. Dłuższa przerwa miała zostawić słuchaczom czas na zastanowienie się nad opinią o poprzedniej parze wycinków. Każdy wycinek był zniekształcony o z góry ustaloną wartość, wybraną z 6 lub 7 wartości w nieregularny sposób; były także wycinki niezniekształcone. Zniekształcanie sygnału i rozcieńczanie zniekształcenia odbywało się jak poprzednio.

Słuchacze mieli sklasyfikować usłyszane zniekształcenia według skali od 0 do 5, gdzie "0" oznacza "zniekształcenia niesłyszalne", a "5" oznacza "zniekształcenia zbyt poważne, aby mogły być tolerowane w programie B.B.C.". Mimo pozornej nieuchwytności tych instrukcji



Rys. 5. Efekt amplitudowy



Rys. 6. Ocena stopnia zniekształcenia przez ekipę

statystyczna analiza wykazuje stosunkowo nieduży rozrzut opinii. Tę serię pomiarów przeprowadzono z 31 słuchaczami wybranymi z personelu B.B.C., mającego duże doświadczenie i zdolność oceny jakości programu. Średni wynik głosowania ekipy, wspomniany dalej, jest średnią z ocen liczbowych, zanotowanych w każdej próbie przez wszystkich słuchaczy, którzy brali w niej udział, zwykle w liczbie od 11 do 31 osób. Każda seria pomiarów zawierała 24 pozycje, wybrane z jednego z programów.

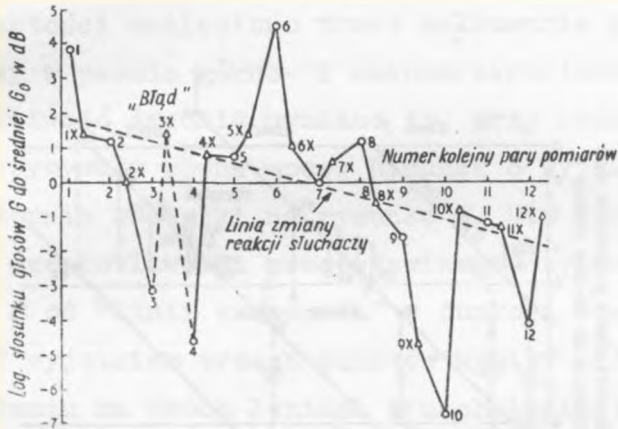
Rysunek 6 podaje wyniki pomiarów. Wybór  $S^2$  na osi odciętych ułatwia przeprowadzenie analizy wyników.

#### 1.9.2. Efekt zmęczenia

Jako podstawę do analizy bierze się wyniki pomiarów z fortepianem, rysunek 6; wybrano je jako najbardziej reprezentatywne, gdyż wszyscy słuchacze /31/ brali w niej udział. Analiza przebiega następująco. Wypośredkowana linia na rysunku 6 /a/ pokazuje, jak wartość  $G_0$  zmienia się ze zmianą  $S^2$ . Wykres bierze zasadniczo pod uwagę tylko zniekształcenie, inne wpływy niwelują się przy wypośredkowaniu ocen przypisywanych różnym pozycjom programu. Okazuje się jednak, że wyniki szczegółowe wykazują znacznie większy rozrzut w stosunku do linii  $G_0$  niż wartości średnie. Próbowano wykryć przyczyny tego zjawiska i po analizie rysunków 7, 8 i 9 ustalono, że są one następujące:

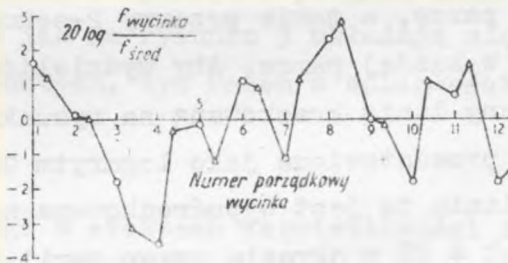
- a/ obniżanie się ocen słuchaczy w miarę postępowania doświadczeń wskutek złagodzenia ostrości ich sądu

przy ciągłym oddziaływaniu dużych zniekształceń  
/rys. 7/,



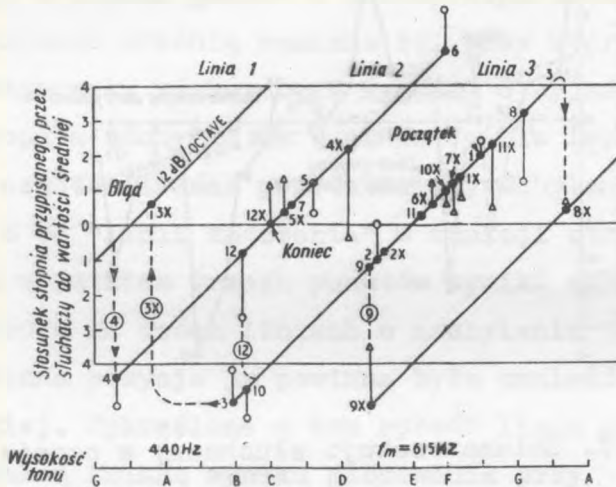
Rys. 7. Zmiana reakcji słuchaczy w czasie

b/ wzrost i obniżanie się oceny zgodnie ze zmianą  
średniej częstotliwości audycji /rys. 8/ w pewnym  
zakresie częstotliwości,



Rys. 8. Średnia częstotliwość kolejnych wycinków programu

c/ ustalanie się nowej zależności od częstotliwości, gdy interwał pomiędzy tonami podstawowymi wycinków programu przekracza 2 lub 3 tony /rys. 9/.



Rys. 9. Efekt częstotliwościowy

Doświadczenia, w liczbie 24, ponumerowana są parami: 1,1x, 2,2x, ... 12,12x. Oś odciętych na rysunku 7 i 8 jest liniową w czasie i uwzględnia dwie pozycje 5-sekundowe w każdej parze, a także przerwy 2-sekundowe pomiędzy pozycjami w każdej parze. Aby wydzielić efekt zmęczenia, pokazany linią kreskowaną na rysunku 7, odchyłki  $G$  od  $G_0$  są przedstawione jako logarytm  $G/G_0$  w funkcji czasu, a linia ta jest wypośrodkowana na oko. Wykazuje ona spadek 4 dB w okresie czasu serii doświadczeń, to znaczy około 5 minut. Pozycja 3x jest błędna /uszkodzenie wzmacniacza/.



### 1.9.3. Efekt częstotliwości

Rysunek 8 pokazuje średnie częstotliwości pozycji programu. Pomiaru te nie były zbyt dokładne. Naniesione na rysunku wartości znaleziono przez całkowanie mocy sygnału zawartej w pasmie górno- i dolnoprzepustowego filtru. Za częstotliwość średnią uważano tę, przy której oba filtry otrzymywały równe moce. Rysunek 8 wyjaśnia do pewnego stopnia odchyłki na rysunku 7. Dla lepszej oceny wpływu częstotliwości przedstawiamy odchylenia krzywej z rysunku 8 od "linii zmęczenia" w funkcji otrzymując rysunek 9. Z wyjątkiem trzech punktów wyniki układają się w przybliżeniu na dwóch liniach o nachyleniu 12 dB na oktawę. Błędna pozycja 3x powinna była znaleźć się na linii drugiej. Wykreślone w ten sposób linie pokazują proporcjonalną zmianę wyniku głosowania przy zmianie częstotliwości, gdy zakres zmiany częstotliwości nie przekracza  $\pm 4$  półtonów; po przekroczeniu tej granicy następuje przejście na inną podobną charakterystykę.

Podobne doświadczenie przeprowadzono z jednym fachowym słuchaczem w oparciu o program orkiestrowy. Wyniki w układzie jak na rysunku 9 układają się podobnie na liniach prostych, tym razem w odległości 6 półtonów od siebie.

### 1.9.4. Uwagi o efektach częstotliwości i kontrastu

Opisany powyżej efekt częstotliwości wykazuje kwadratową zależność /12 dB na oktawę/ pomiędzy wynikami głosowania a zmianą częstotliwości /rys. 9/; rysunek 6 po-

kazuje także kwadratową zależność pomiędzy średnią głosów ekipy i stopniem obiektywnego zniekształcenia  $S$ ; ponadto należy zauważyć, że efekt częstotliwości, omówiony w rozdz. 1.7. wywołany został przy odstępnie tonu  $A$  i  $B$  o całą oktawę i że maksymalna wartość doświadczalnego stosunku zniekształceń niewiele odbiega od 4, czyli od kwadratu stosunku częstotliwości. Formuła przyjętej hipotezy o szybkości dewiacji mówi tylko ogólnie o tym, że wrażenie nieprzyjemności zależy od szybkości dewiacji od stanu normalnego, ale podane powyżej fakty sugerują, że zależność ta jest kwadratowa. W doświadczeniu rys. 6 /c/ z tekstem w języku arabskim i hiszpańskim słuchacze bardzo słabo rozróżniali stopniowanie zniekształcenia, co należy tłumaczyć tym, że teksty były w języku nieznanym słuchaczom, stąd nie był im znany stan normalny, w stosunku do którego mogliby oceniać różnice.

## C Z Ę Ś Ć II

### 2. KRYTERIUM OPARTE NA WIDMIE ZNIEKSZTAŁCENÍ

#### 2.1. Wstęp

W pierwszej części artykułu omawiano reakcje słuchaczy na wprowadzanie zniekształcenia nieliniowego do krótkich wycinków programu audycji lub do krótkich impulsów tonu czystego lub też do krótkich motywów muzycznych utworzonych z tonów czystych. Wykazano, że przeważająca część wyników doświadczalnych zgadza się z twier-

dzeniem, że "reakcja słuchaczy na zniekształcenia /wrażenie nieprzyjemności dźwięków/ zależy od szybkości dewiacji sygnału od stanu normalnego" - zdanie to nazywamy tu "hipotezą o szybkości dewiacji". Między innymi hipoteza przewiduje /jak to potwierdzono doświadczalnie/, że wrażenie nieprzyjemności danego stopnia zniekształcenia wzrasta ze wzrostem częstotliwości i w pewnych przypadkach także ze wzrostem głośności sygnału.

W drugiej części artykułu uczyniona będzie próba powiązania wyników części pierwszej z przewidywaniami wynikającymi ze wzoru określającego wskaźnik kryterium zniekształceń na podstawie widma zniekształceń. Wyników pomiarów subiektywnych z rozdz. 1.9. nie będzie tu można wykorzystać, gdyż w odróżnieniu od innych doświadczeń części pierwszej, które dotyczyły dźwięków prostych i które były dobierane w celu uzyskania równości wrażenia nieprzyjemności, doświadczenia w tym rozdziale dotyczyły dźwięków złożonych o różnych stopniach nieprzyjemności. Równość wrażenia nieprzyjemności może być odpowiednikiem równości kryterium zniekształceń, ale wykazanie jakiegoś rodzaju powiązania pomiędzy stopniem nieprzyjemności a wielkością wskaźnika kryterium zniekształceń jest problemem dotychczas nierozwiązanym.

W tej części artykułu wykażemy, że proste dźwięki tak zniekształcone, że mają zupełnie inną barwę dźwięku i o różnej nieraz szerokości pasma, mają w przybliżeniu tę samą liczbowo wielkość kryterium zniekształceń, gdy brzmią one jednakowo nieprzyjemnie. Zgodność ta nie jest zbyt dokładna, ale różnica w najgorszym przypadku nie

przekracza 15%. Na wstępie należy wyjaśnić jeszcze dwie rzeczy. Ze względów praktycznych kryterium zniekształceń musi być wyprowadzone z widma zniekształceń, potrzebny byłby zatem sygnał ustalony, tymczasem w doświadczeniach subiektywnych stosowano impulsy. Ponadto należy zdecydować o rodzaju widma przeznaczonego do pomiarów. Zauważono już poprzednio, że zniekształcenie wzrasta do maksimum na wierzchołku impulsu oraz że można uzyskać z generatora impulsów stały sygnał przedstawiający dokładnie takie samo zniekształcenie, jakie ma impuls w punkcie szczytowym; taki właśnie sygnał będzie w drugiej części artykułu stosowany do obliczania wskaźnika kryterium. Wyprowadzenie wzoru na to kryterium jest dosyć skomplikowane, podana więc będzie tylko jego forma końcowa.

## 2.2. Kryterium zniekształceń

Proponowane kryterium zniekształceń  $C_t$  określone jest wzorem:

$$C_t = \frac{\sum_2^n n^2}{2} / p_n - t / \quad \text{w \% dla wartości } p_n > t$$

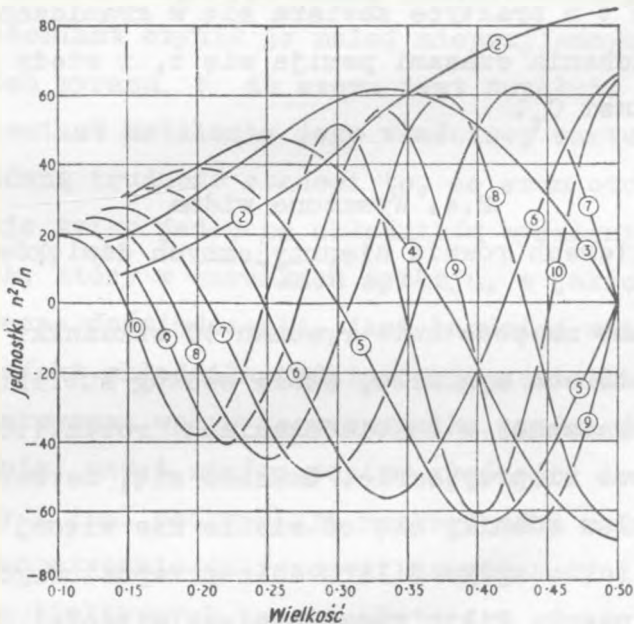
gdzie

- $n$  - numer harmonicznej / $n = 1$  podstawowa/,
- $p_n$  - procentowa zawartość  $n$ -tej harmonicznej względem amplitudy podstawowej sygnału niezniekształconego,
- $t$  - zawartość harmoniczných ledwo słyszalna w warunkach doświadczenia.

Z podanej powyżej definicji wynika, że  $t$  zależy od progu słyszalności słuchacza i że powinno ono rosnąć przy częstotliwościach wysokich ze względu na spadek czułości ucha ludzkiego. Aby jednak nie komplikować zbytnio sprawy, zakładamy na  $t$  wartość stałą, niezależną od  $n$  i od częstotliwości.

### 2.3. Obliczanie wskaźnika kryterium

Przy rozpatrywaniu widma bierzemy pod uwagę sinusoidę obciętą za pomocą diody idealnej; na rysunku 10 przedstawiono widmo odpowiednio wyważonych składowych harmo-



Rys. 10. Widmo wyważonych składników idealnie obciętej sinusoidy

nicznych takiej obciętej sinusoidy dla różnych wartości  $d/T$ . Osią rzędną jest  $n^2 p_n$ . Dla obliczenia wskaźnika kryterium  $C_t$  musi być znana wartość  $d/T$ ; dla tej wartości odczytuje się z rysunku wartości wyważonych składowych harmonicznych  $n^2 p_n$  i odejmuje się wartości  $n^2 t$ , a następnie sumuje się poszczególne składniki zgodnie ze wzorem na  $C_t$ , nie uwzględniając znaku. Otrzymana w ten sposób suma jest wskaźnikiem kryterium zniekształceń, odpowiadającego kształtowi krzywej w stanie nierozcieńczonej; jeżeli zniekształcenie zostało rozcieńczone do wartości  $S$ , rzędne wykresu zmniejsza się w stosunku  $S/10$  przed podjęciem  $n^2 t$ .

Wartość  $t$  w praktyce zawiera się w granicach 0,1–0,5%. Dla uproszczenia czasami pomija się  $t$ , i wtedy  $C_0$  piszemy zamiast  $C_t$ .

#### 2.4. Wyważone widma czterech równie nieprzyjemnych dźwięków

Obliczono na podstawie rysunku 10 wskaźniki kryterium  $C_0$  czterech sygnałów, które według subiektywnej oceny przeprowadzonej w doświadczeniach rozdz.1.6.1.brzmiały jednakowo nieprzyjemnie. Okazało się, że wartości  $C_0$  tych sygnałów różniły się od siebie nie więcej niż 3%. Obliczono także wpływ filtra dolnoprzepustowego ograniczającego pasmo. Filtr ten zmniejsza wartości  $C_0$  proporcjonalnie do szerokości pasma, ale równość sygnałów jest w przybliżeniu zachowana.

## 2.5. Wpływ wyrazu $t$ we wzorze na wskaźnik kryterium

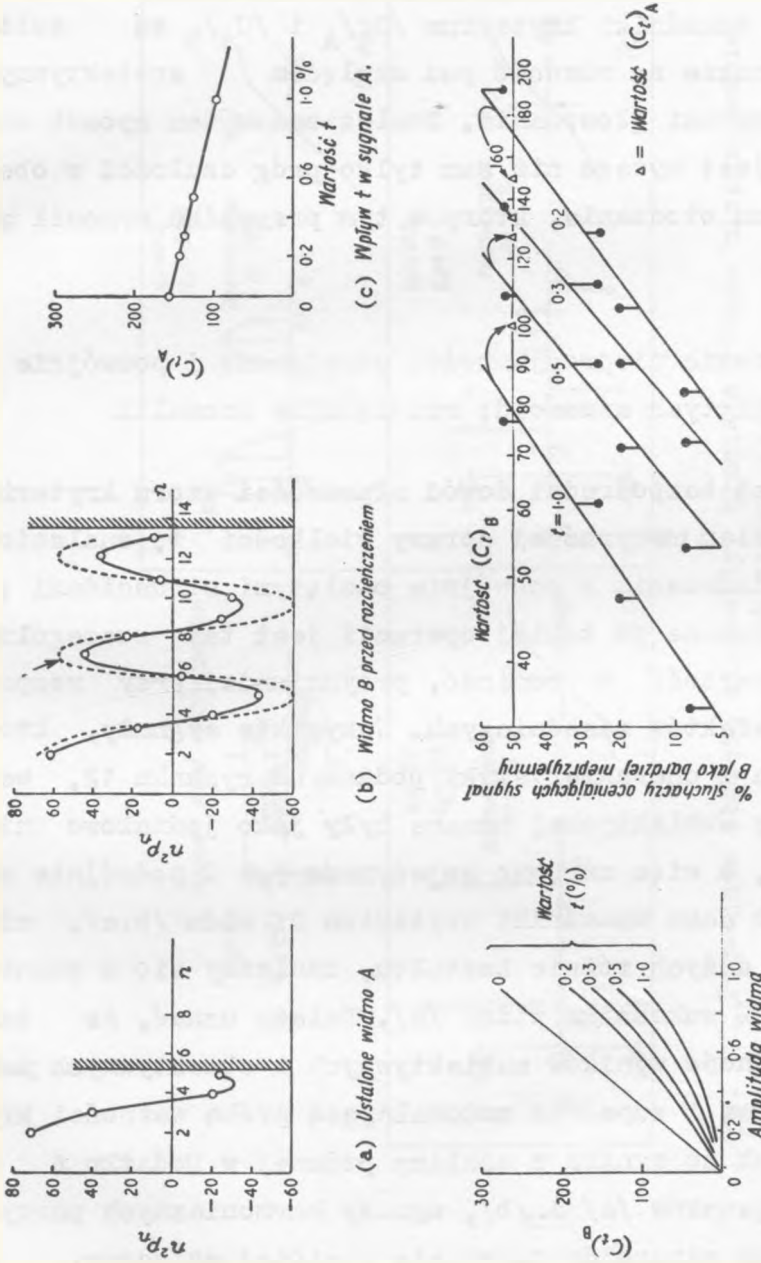
### 2.5.1. Znaczenie $t$

W przykładzie powyższym z czterema sygnałami obliczono tylko wyrazy  $n^2/p_n$ . Gdy obliczymy wyrażenie  $n^2/p_n - t$  wstawiając na  $t$  wartości 0,1 - 0,2 - 0,3 - 0,5 %, równość wskaźników kryterium nie ulega zmianie, ale wartość wskaźników szybko maleje ze wzrostem  $t$ . Pod tym względem wzór powyższy zgodny jest z doświadczeniem, gdyż zauważono w czasie pomiarów subiektywnych części pierwszej, że szum otoczenia prawie nie miał wpływu na równość wrażenia nieprzyjemności zniekształconych sygnałów, natomiast czynił je mniej nieprzyjemnymi. Wstawienie zatem wyrazu  $t$  do wzoru jest zupełnie uzasadnione, natomiast ustalenie jego właściwej wartości jest trudne. Główną trudność stanowi to, że szum otoczenia reprezentuje tylko jeden ze składników wyrażenia  $t$ . Drugi składnik, który w warunkach spokoju, w jakich przebiegały obecne doświadczenia, jest bardziej ważny, to maskujący efekt składnika podstawowej częstotliwości impulsu pomiarowego; wpływ tego czynnika trudno jest ustalić dokładnie, nawet znając poziom głośności i inne dane. Lazenby i inni podkreślają rozbieżności rzędu  $\pm 10$  dB pomiędzy teoretycznie obliczonymi danymi a wynikami doświadczeń subiektywnych tego maskującego efektu. Zanim więc efekt maskujący będzie dogłębnie zrozumiany, właściwsze będzie ustalenie  $t$  w sposób doświadczalny.

2.5.2. Doświadczalne ustalenie  $t$ 

Rysunek 11 wyjaśnia metodę dopasowania wartości  $t$  do danych doświadczalnych. Wybieramy dwa widma A i B o różnych pasmach, za pomocą pomiarów subiektywnych ustalamy stopień rozcieńczenia zniekształcenia potrzebny dla wyrównania wrażenia nieprzyjemności obu sygnałów i obliczamy wskaźniki kryterium  $/C_t/A$  i  $/C_t/B$ . Wskaźniki te mogą stać się równe, jeżeli wstawimy odpowiednie wartości na  $t$ . Do przeprowadzenia doświadczeń użyto sinusoidy o częstotliwości 500 Hz obciętej tak, że  $d/T$  równało się około 0,4. Za pomocą dwóch filtrów dolnoprzepustowych o różnych pasmach otrzymano dwa sygnały A i B, których widma podane są na rysunku 11 a i b. Linia kropkowaną oznaczono widmo przy obcięciu idealną diodą; linią ciągłą oznaczono wartości zmierzone w warunkach rzeczywistych - te właśnie wyniki służą za podstawę dalszych obliczeń. Widmo sygnału A było niezmiennie w całym doświadczeniu, obliczono wartość  $/C_t/A$  dla czterech wybranych wartości  $t$  /rys. 11c/. Sygnał B był w czasie doświadczeń rozcieńczony do czterech różnych wartości tak, że amplitudy widma były zmniejszane do 50, 60, 70 i 80 % wartości pokazanej na rysunku 11b i odpowiednio różne też były wskaźniki kryterium  $/C_t/B$ . Na rysunku 11 e poprowadzono cztery linie głosowania dla podanych wyżej przypadków, które przecięły się z linią 50 % głosów w punktach wyznaczających  $/C_t/B$ . Na tejże linii oznaczono także trójkątami obliczone poprzednio wartości  $/C_t/A$ , odpowiadające założonym wartościom  $t$ ; do



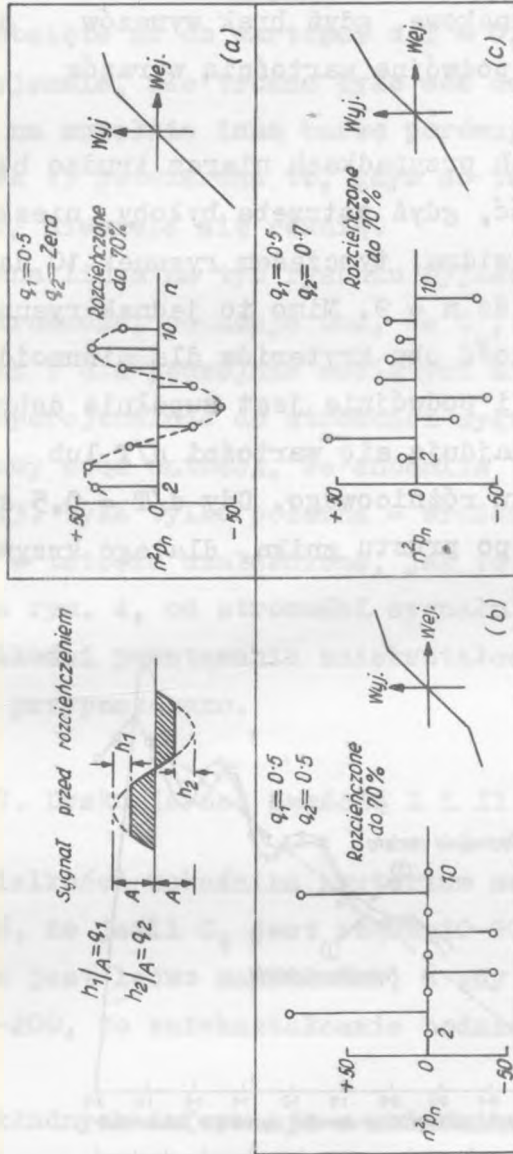


rys. 11. Doświadczalne określenie składnika

tych punktów doprowadzone są strzałki od odpowiadających im linii głosowania. Z rysunku widać wyraźnie, że dla  $t = 0,3\%$  wskaźniki kryterium  $/C_{\pm}/_A$  i  $/C_{\pm}/_B$  są sobie równe, a także na równość pod względem subiektywnym wskazują wyniki głosowania. Znaleziona w ten sposób wartość  $t$  jest wyższa niż sam tylko próg czułości w obecności szumu otoczenia, który w tym przypadku wynosił tylko  $0,1\%$ .

## 2.6. Wrażenie nieprzyjemności pojedynczo i podwójnie obciętych sinusoid; rozwiązanie anomalii

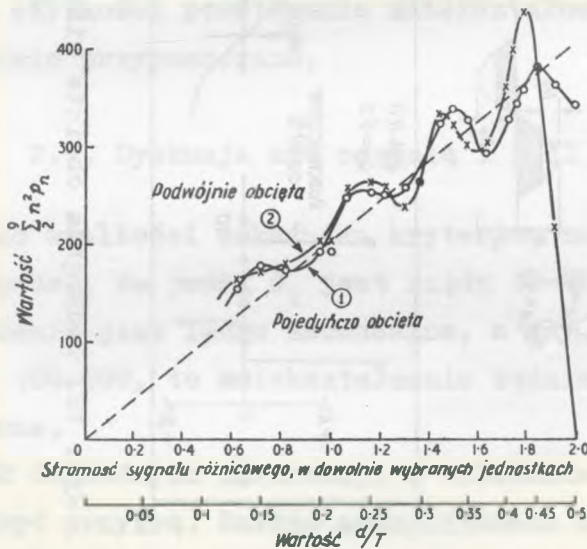
Bardziej bezpośredni dowód słuszności wzoru kryterium, z pominięciem niewyraźnej sprawy wielkości  $t$ , znaleziono w doświadczeniu z podwójnie obcięzonymi sinusoidami; widmo otrzymane po takiej operacji jest tak szczególne, że można wartość  $t$  pominąć, przynajmniej przy rozpatrywaniu efektów zasadniczych. Wszystkie sygnały, których widma i charakterystyki podano na rysunku 12, według oceny subiektywnej uznane były jako jednakowo nieprzyjemne, a więc zarówno pojedynczo jak i podwójnie obcięte. Tak samo wskaźniki kryterium  $C_0$  widm /b,c/, mimo bardzo dużych różnic kształtu, znalazły się w granicach  $\pm 15\%$  wskaźnika widma /a/. Należy uznać, że tak dobra zgodność wyników subiektywnych i obiektywnych jest dosyć surową i zupełnie zadowalającą próbą ważności kryterium. Jak to wynika z analizy podanej w Dodatku 4 i widać z rysunków /a/ i /b/, wyrazy harmonicznych parzystych widma sinusoidy podwójnie obciętej są zerem, a



Rys. 12. Podwójnie obcięte sinusoidy, brzmiące równie nieprzyjemnie jak sygnał /a/

nieparzystych dwa razy większe niż sinusoidy pojedynczo obciętej. Wskaźniki kryterium w obu przypadkach są w przybliżeniu jednakowe, gdyż brak wyrazów parzystych zastąpiony jest podwójną wartością wyrazów nieparzystych.

W praktycznych przypadkach nieraz trudno będzie wykazać tę zgodność, gdyż potrzeba byłoby nieskończonego szeregu wyrazów widma, tymczasem rysunek 10 daje tylko wyrazy od  $n = 2$  do  $n = 9$ . Mimo to jednak rysunek 13 wykazuje, że zgodność obu kryteriów dla sinusoid obciętych pojedynczo i podwójnie jest zupełnie dobra. Na osi odciętych znajdują się wartości  $d/T$  lub wartości stromości sygnału różnicowego. Gdy  $d/T = 0,5$  sygnał podwójnie obcięty po prostu znika, dlatego krzywa /2/



Rys. 13. Wskaźniki kryterium zniekształceń pojedynczo i podwójnie obciętych sinusoid

spada do zera. Jeżeli idzie o ocenę subiektywną, to stwierdzono doświadczalnie, że sinusoidy pojedynczo i podwójnie obciążone aż do wartości  $d/T = 0,3$  brzmią równie nieprzyjemnie, ale trudno było coś dalej powiedzieć ze względu na zupełnie inną barwę porównywanych dźwięków. Rysunek 13 potwierdza to, gdyż do tego punktu krzywe /1/ i /2/ niewiele się różnią.

Kreskowana linia na tym rysunku wyjaśnia poprzednio napotkaną trudność, pokazuje ona, że  $C_0$ , zarówno dla pojedynczo jak i dla podwójnie obciążonych sinusoid, zmienia się proporcjonalnie do stromości sygnału różnicowego. Wyciągamy stąd wniosek, że anomalia poprzedniego rozdz. 1.6.3. była tylko pozorna - wrażenie nieprzyjemności jest w istocie uzależnione, jak to pokazano poprzednio na rys. 4, od stromości sygnału różnicowego, a nie od szybkości powstawania zniekształcenia, jak to poprzednio przypuszczano.

## 2.7. Dyskusja nad częścią I i II artykułu

Co do wielkości wskaźnika kryterium można w przybliżeniu podać, że jeśli  $C_t$  jest rzędu 10-20, to zniekształcenie jest ledwo zauważalne, a gdy  $C_t$  jest większe od 100-200, to zniekształcenie będzie bardzo nieprzyjemne.

Brak dokładnych informacji o składniku  $t$  jest rzeczą dosyć przykrą. Bardzo skomplikowana metoda obliczania, podana w rozdz. 2.5., jest nieodpowiednia i należałoby w zupełnie inny sposób podejść do tego zagadnie-

nia. Można na przykład dodawać do sygnału napięcie szumu o ograniczonym pasmie i porównywać jego wpływ na ocenę subiektywną i na wskaźnik kryterium; okazuje się wtedy, że wartość  $t$ , właściwa dla danego kryterium, zmienia się w sposób ściśle związany z poziomem szumów aż do momentu, gdy szum staje się za słaby, aby współzawodniczyć z maskującym efektem podstawowej częstotliwości sygnału; z pomiarów tych można z dużym przybliżeniem wywnioskować o wielkości efektu maskującego.

Rzeczywiste znaczenie  $t$  polega na tym, że uwidacznia ono ważność stosunku sygnału do szumu przy pomiarach subiektywnych: przy cichym sygnale obiektywnie większe zniekształcenie będzie tolerowane, natomiast przy głośnym sygnale nawet nieduże zniekształcenie będzie brzmiało nieprzyjemnie.

Ważność kryterium zniekształceń może być jedynie sprawdzona przez przebadanie go w szerokim zakresie bardzo różnorodnych warunków doświadczalnych, ale tego nie udało się jeszcze przeprowadzić; niemniej jednak kryterium okazało się trafnym w przewidywaniu wyników dwóch bardzo ważnych doświadczeń: o jednakowym wrażeniu nieprzyjemności sinusoid z obciążonym jednym i dwoma wierzchołkami oraz o krzywych posiadających takie same stromości sygnału różnicowego.

Hipoteza o szybkości dewiacji potwierdzona została doświadczalnie, przynajmniej w tym, że wrażenie nieprzyjemności jakiegokolwiek zniekształcenia zależy od odchylenia od stanu normalnego. Rysunek 6 /c/ właściwie naświetla ten problem; zniekształcenie może być wykry-

te, ale nie może być wymierzone, jeśli tekst jest obcy, nieznany. Gwałtowne zmiany barwy dźwięku, typowe dla nowoczesnej muzyki popularnej, również przedstawiają trudną do przewidzenia treść, stanowią zatem materiał prawie niewrażliwy na zniekształcenia. Natomiast muzyka fortepianowa nadaje się do bardzo krytycznej oceny jakości, gdyż barwa dźwięku każdego tonu jest tam łatwa do przewidzenia z tonu poprzedzającego.

Sytuacja przedstawia się więc następująco: analiza pierwszej części tego artykułu wykazuje, że istnieją pewne wzorce zachowania się, które przejawiają się zarówno w sytuacjach sztucznych jak i w rzeczywistych; część druga podsuwa myśl o liczbowym kryterium, które udowodniło swą słusność nie tylko przez porównanie z danymi subiektywnymi, ale także wyjaśniając anomalię wykrytą w części pierwszej. Wydaje się więc, że kryterium jest w znacznym stopniu samowystarczalne i może być używane do przewidywania względnej nieprzyjemności zniekształconych dźwięków pod warunkiem ścisłego określenia warunków pomiarowych, między innymi także stosunku sygnału do szumów.

## C Z Ę Ś Ć III

### 3. DODATKI

#### 3.1. Generator zniekształceń

Generator zniekształceń służy do zniekształcania, doprowadzonego do niego sygnału pomiarowego. Składa się

on z diody krystalicznej oraz dwóch potencjometrów, o sprzężonych ślizgaczach i o regulacji skokowej 0-10. Dioda połączona jest z baterią napięcia wstępnego poprzez regulowany opór zmniejszający stopień zniekształcenia. Zniekształcenie to może być następnie rozcieńczone w układzie dwóch potencjometrów do wartości zmieniających od  $S = 0$  do  $S = 10$ . Dwa zespoły ślizgaczy pozwalają na ustawienie, do doświadczeń, dwóch sygnałów A i B o różnych stopniach zniekształcenia.

### 3.2. Generator impulsów

Generator impulsów ma za zadanie przetworzenie ciągłego sygnału akustycznego z zewnętrznego generatora akustycznego na impulsy tego napięcia. Generator składa się z transformatora oraz z generatora RC. Transformator posiada dwa wtórne uzwojenia, wyjście jednego z nich doprowadzone jest poprzez diody krystaliczne w takim układzie, że napięcie na jego wyjściu zależne jest od wartości prądu stałego przepływającego przez diody. Generator RC zasilany bateriami dostarcza impulsu prądu stałego o regulowanej szerokości, doprowadzonego do drugiego uzwojenia transformatora. Napięcie z generatora impulsów jest różnicą napięć obu uzwojeń transformatora i ma kształt niby impulsu, tj. napięcia sinusoidalnego o amplitudzie rosnącej od zera do maksimum i znowu opadającej do zera.



### 3.3. Metoda zbierania i analizy ocen słuchaczy

Każdy ze słuchaczy ma przed sobą klucz o pięciu pozycjach głosowania, oznaczonych "A+", A-, równość, B-, B+" oraz szósta pozycja wyczekiwania oznaczona "nie wiem!" "A+" oznacza, że dźwięk A był oczywiście bardziej zniekształcony niż dźwięk B; "A-" oznacza, że dźwięk A jest wprawdzie bardziej zniekształcony, trzeba jednak pewnego wysiłku, aby to zauważyć. Wszystkie klucze słuchaczy połączone są równoległe ze sobą, a następnie poprzez baterię zasilającą i opory ze wskaźnikiem głosowania. Każdy z głosów powiększa prąd płynący przez wskaźnik. We wskaźniku jeden miliamperomierz mierzy sumę prądów wszystkich kluczy, czyli podaje liczbę głosujących, a drugi mierzy ilość głosów oddanych na każdą z pięciu kategorii. Przy analizie ocen słuchaczy pozycji "A+" przydziela się 0 punktów, pozycji "A-" 1 punkt, pozycji "równość" 2 punkty, pozycji "B-" 3 punkty, pozycji "B+" 4 punkty; maksymalna ilość punktów przy ekipie 6 słuchaczy jest więc 24; przy innej ilości punktów oblicza się jej procentową zawartość w stosunku do 24 i te wielkości podaje jako wynik głosowania ekipy,

### 3.4. Charakterystyka widma obciętej sinusoidy

Wyważone widmo sinusoidy obciętej idealną diodą jest określone wzorem

$$n^2 p_n = n \frac{d}{T} \frac{\sin/n-1/ \cdot \frac{d}{T} \cdot \pi}{/n-1/ \cdot \frac{d}{T} \cdot \pi} - \frac{\sin/n+1/ \cdot \frac{d}{T} \cdot \pi}{/n+1/ \cdot \frac{d}{T} \cdot \pi} \times 100\%$$

Na rysunku 10 podano wartości składników  $n^2 p_n$  dla wartości  $n$  od 2 do 10 i dla wartości  $d/T$  od 0,1 do 0,5. Wartość  $C_0$  oblicza się sumując wszystkie wyrazy  $n^2 p_n$  bez zwracania uwagi na znak.

Przy obliczaniu widma sinusoidy obciętej od góry i od dołu należy sporządzić tabelkę wartości  $n^2 p_n$  dla  $n$  od 2 do 10; w pierwszym rzędzie wpisujemy wartości obliczone ze wzoru lub z rysunku 10 dla obcięcia górnego, a w drugim rzędzie dla obcięcia dolnego z uwzględnieniem znaków; w trzecim rzędzie wpisujemy wartości liczbowe rzędu drugiego z odwróceniem znaków dla  $n$  parzystego; w czwartym rzędzie sumujemy wartości rzędu pierwszego i czwartego z uwzględnieniem znaków i to są poszukiwane składowe widma sinusoidy obustronnie obciętej.

### 3.5. Wzrost wrażenia nieprzyjemności dźwięku zniekształconego rozproszonego

Przeprowadzono doświadczenia, mające na celu sprawdzenie, czy przesunięcia fazowe, jakim mogły ulegać sygnały w czasie przesyłania i generacji dźwięków, nie powodują zmiany oceny nieprzyjemności dźwięku. Sygnały A i B zostały silnie zniekształcone, a sygnał B został przepuszczony przez układ o takiej charakterystyce, że opóźniał on częstotliwość podstawową o wielkość regulowaną od 1 do 30 msek, natomiast harmonicznym nie opóźniał. Okazało się, że nieduże przesunięcia w czasie nie mają żadnego wpływu, zatem przesunięcie fazowe  $180^\circ$  ma zupełnie minimalny wpływ na ocenę subiektywną znie-

kształceń, uzasadniona jest więc reguła sumowania wyrazów widma, przy obliczaniu  $C_0$ , bez uwzględniania znaku.

#### WYKAZ LITERATURY

1. G. von Gassler. Frequenz, 1955, t. 9, s. 15
2. H.J. von Braunmühl i W. Weber. Aku. Zeit., maj 1937, t. 2, str. 135.
3. M. Lazenby. Wireless World. wrzes. 1957, t. 63, str. 435.
4. M. Lawrence i P.A. Yantis. J.A.S.A., wrzes. 1956, t. 28, str. 852.
5. E.R. Wigan. Nature, London, maj 1959, t. 183, str. 1832
6. D.E.L. Shorter. Electronic Engng., kwiec. 1950, t.22, str. 152.

621.317.353

621.336.97

JAKOŚCIOWE WSKAŹNIKI TORU RADIOFONICZNEGO<sup>1/</sup>

Kubalski Ju. A. Kaczeſtwiennyje Pokazatieli Radiowieszczatielnowo Trakta. Swiazizdat 1960. Wyd. Ministerstwo Łączności ZSRR, Dział Techniczny, Moskwa 1960.

## 1. WSTĘP

W chwili obecnej Związek Radziecki dysponuje obszerną siecią radiofonicznych stacji nadawczych dużej mocy. Stacje te wyposażone są w aparaturę elektroakustyczną o wysokich wskaźnikach jakościowych. Dla zapewnienia odpowiedniej jakości transmisji stacji radiofonicznych zostały zorganizowane i są ściśle przestrzegane okresowe badania parametrów elektroakustycznych aparatury. Jakość transmisji radiofonicznych zależy nie tylko od właściwości aparatury stacji nadawczej, lecz także w znacznej mierze od pozostałych urządzeń, jak wzmacniacze liniowych, aparatury studyjnej oraz mikrofonów. Zapewnienie wysokiej jakości całego, wchodzącego w skład toru radiofonicznego urządzenia, jest nie do pomyślenia bez stałej i dokładnej kontroli za pomocą pomiarów wskaźników elektroakustycznych urządzeń wysokiej i niskiej częstotliwości.

Zasadniczymi wskaźnikami podlegającymi obiektywnej kontroli za pomocą pomiarów elektrycznych są: moc nadaj-

---

<sup>1/</sup> Na podstawie oryginału opracował R. Issakiewicz.

nika radiofonicznego, głębokość modulacji, charakterystyka częstotliwości, współczynnik zniekształceń nieliniowych oraz poziom szumów.

Pierwsze dwa wskaźniki określają zasięg radiostacji, pozostałe zaś jakość transmisji.

Przy dostatecznej mocy nadajnika i głębokości modulacji, jakość transmisji określa się obecnością zniekształceń i szumów pojawiających się w aparaturze toru radiofonicznego. Przy obecności znaczniejszych zniekształceń częstotliwościowych i nieliniowych brzmienie transmisji traci barwę określającą odpowiednie instrumenty muzyczne lub głos ludzki. Znika jakość brzmienia transmisji, źle rozróżnia się poszczególne słowa, pojawia się brzęczenie i chrypienie. Zwiększony poziom szumów jako tło towarzyszące audycji uniemożliwia jej odbiór. Słabsze dźwięki audycji zagłuszane szumami są nie do rozpoznania dla ucha. Obniża to znacznie poziom artystyczny przekazywanej audycji.

## 2. ZNIEKSZTAŁCENIE AUDYCJI RADIOFONICZNEJ

### 2.1. Zniekształcenia amplitudowo-częstotliwościowe

Zniekształcenia dzielą się, w zależności od charakteru ich powstawania, na dwie grupy. W pierwszej grupie zawierają się tak zwane zniekształcenia amplitudowo-częstotliwościowe, zwane zniekształceniami liniowymi, w drugiej zaś grupie znajdują się zniekształcenia nieliniowe.

Istota zniekształceń częstotliwościowych polega na

następujących zjawiskach. Wszystkie słyszalne dźwięki, jak na przykład mowa, muzyka, składają się z drgań o różnych częstotliwościach zawierających się w zakresie od 20 do 20000 Hz. Poszczególne dźwięki rozróżnia się wielkością częstotliwości oraz rozkładem ich amplitud w widmie. W procesie przekazywania transmisji przez system radiofoniczny wskutek obecności w łączy elementów zależnych od częstotliwości, jak pojemność i indukcyjność, współczynniki przenoszenia dla poszczególnych drgań o częstotliwości dźwiękowej mogą różnić się od siebie. W rezultacie czego składające się na dźwięk drgania o różnych częstotliwościach będą słyszane niejednakowo w zależności od wielkości amplitudy drgań poszczególnych częstotliwości, jakie zawiera przekazywany sygnał. Zmienia się też z tego powodu barwa przekazywanego sygnału.

Przy większych zniekształceniach częstotliwościowych, jakość transmisji silnie się pogarsza. Jeżeli niskie częstotliwości są źle przenoszone, to odtwarzanie staje się rażąco przenikliwe, a głos piskliwy. Przy złym przenoszeniu wysokich częstotliwości od 200 Hz wzwyż, odtwarzanie audycji staje się przygłuszone i dudniące.

W obecnej aparaturze wysokiej jakości, zniekształcenia częstotliwościowe określa się, opierając się o kryterium, że zmiany amplitud w widmie częstotliwości danego sygnału nie powinny przekraczać 30 do 40 %, bo w takim zakresie ucho ich nie zauważa. Zniekształcenia częstotliwościowe określa się przy zdejściowaniu charakterystyk częstotliwościowych, za pomocą pomiaru współczynnika przenoszenia na różnych częstotliwościach zakresu

przenoszenia. W nadajnikach, wzmacniaczach, transformatorach i liniach zależność współczynnika przenoszenia od częstotliwości przekazywanych drgań z reguły zmienia się płynnie i nie posiada zbyt ostrych przebiegów na oddzielnych częstotliwościach. Dlatego też pomiary tego współczynnika przeprowadzać można punktowo na różnych częstotliwościach. Zdejmowanie charakterystyk częstotliwościowych głośników oraz mikrofonów powinno przeprowadzać się przy ciągłej zmianie częstotliwości, gdyż przy pomiarze punktowym mogłyby być pominięte oddzielne ostre przebiegi charakterystyki częstotliwości. pomiędzy dwiema sąsiednimi częstotliwościami.

Dając na wejście badanego urządzenia drgania o różnych częstotliwościach i o różnym napięciu z generatora akustycznego i mierząc przy tym napięcie na wyjściu badanego urządzenia /lub głębokość modulacji przy badaniu nadajnika/ określa się zależność współczynnika przenoszenia  $A$  od częstotliwości drgań  $f$ , tj. charakterystykę częstotliwościową danego urządzenia. Po przebiegu wykresu charakterystyki częstotliwościowej może być określony charakter, zakres i wielkość zniekształceń. Dla jakościowej oceny stopnia zniekształceń częstotliwościowych przyjmuje się określać nierównomierność przebiegu charakterystyki częstotliwościowej w badanym zakresie względem wielkości współczynnika przenoszenia na częstotliwości 1000 Hz.

Ponieważ ucho ludzkie reaguje na porównawcze pomiary głośności dźwięku według skali logarytmicznej, wielkość zniekształceń częstotliwościowych określa się w skali

decybelowej. Współczynnik przenoszenia w funkcji częstotliwości określa się wzorem:

$$A = 20 \lg \frac{U_{\text{wyjść}}}{U_{\text{wejść}}}$$

Przy ustalaniu wielkości zniekształceń częstotliwościowych w zakresie częstotliwości słyszalnych należy uwzględnić właściwości ucha ludzkiego. W oparciu o krzywe równej głośności charakteryzujące czułość ucha ludzkiego na działanie dźwięku o różnych częstotliwościach można stwierdzić, że czułość ucha ludzkiego na dźwięki o różnych częstotliwościach jest niższa niż na częstotliwościach średnich. Wykorzystując tę właściwość, a także uwzględniając trudności techniczne przy produkcji szerokokresowej aparatury, w większości przypadków dopuszcza się na zwiększenie zniekształceń częstotliwościowych na brzegach zakresu częstotliwości dźwiękowych, tj. na niskich i wysokich częstotliwościach.

Na przykład w wysokojakościowym łączu radiofonicznym mogą być dopuszczone zniekształcenia  $\pm 2$  dB w części zakresu od 30 do 100 Hz i 6000 Hz wzwyż przy założeniu, że odcinek między 100 a 6000 Hz posiada nierównomierność charakterystyki  $\pm 1$  dB.

## 2.2. Zniekształcenia nieliniowe

Istota zniekształceń nieliniowych polega na tym, że w procesie nadawania zmienia kształt przebiegu drgań o częstotliwości podstawowej. Tak więc, jeżeli do wzmac-



niacza wnoszącego zniekształcenia nieliniowe przyłożymy na wejściu napięcie sinusoidalne, na wyjściu otrzymamy napięcie niesinusoidalne. Takie zniekształcenie wynika głównie z nieliniowości charakterystyk lamp oraz nieliniowości krzywych magnesowania rdzeni transformatorów użytych w aparaturze. Wytworzenie się zniekształcenia kształtu napięcia lub prądu wywołuje pojawienie się dodatkowych częstotliwości dźwiękowych. W przypadku nadawania dźwięku złożonego z jednej częstotliwości w zniekształcającym torze powstaje cała grupa częstotliwości krotnych dla częstotliwości podstawowej. Bardziej złożony obraz otrzymuje się podczas audycji składającej się z grupy różnych częstotliwości. Naturalnie, że w tym przypadku harmoniczne będą pochodzić od każdej częstotliwości. W członie zniekształcającym powstanie wtedy nie tylko harmoniczna z każdej częstotliwości podstawowej, ale harmoniczne powstające z częstotliwości różnicowych, zwane kombinowanymi. Zniekształcają one poważnie audycję, tym więcej, że ich częstotliwość zawierać się może w zakresie największej czułości ucha, to jest od 600 do 2000 Hz.

W urządzeniach eksploatacyjnych dokonuje się najczęściej pomiaru współczynnika zniekształceń nieliniowych przy częstotliwościach 100, 400 i 5000 Hz.

Inną metodą stosowaną niekiedy do pomiaru nieliniowości urządzeń jest metoda pomiaru współczynnika intermodulacji. Przy tym pomiarze badamy urządzenie sygnałem niskiej częstotliwości o dużej amplitudzie zmieszanej z częstotliwością wysoką o małej amplitudzie. Stosunek

między wielkościami amplitud wynosi 4:1. Przy nieliniowej charakterystyce badanego urządzenia, sygnał wysokiej częstotliwości modulowany jest częstotliwością niską i współczynnik tej modulacji staje się miarą zniekształceń nieliniowych.

### 3. SZUMY W ŁĄCZACH RADIOFONICZNYCH

W ocenie jakości transmisji wielkie znaczenie posiada wskaźnik poziomu szumów. Na torze niskiej częstotliwości od mikrofonu do modulatora nadajnika, a także przy modulacji i wzmacnieniu modulowanych drgań z użytecznym sygnałem audycji mieszają się różnorodne szумы i zniekształcenia. Źródłem szumów mogą być szумы wewnętrzne lamp wzmacniających, oporów, zła filtracja w prostownikach oraz przeróżne zakłócenia przenikające przez sprzężenie indukcyjno-pojemnościowe.

Niezależnie od ich pochodzenia, szумы wpływają znacznie na jakość transmisji i obniżają jej dynamikę.

W najlepszych urządzeniach radiofonicznych stosunek poziomu szumów do maksymalnego poziomu sygnału jest rzędu -70 dB. W torach radiofonicznych otrzymanie tak niskiego stosunku poziomu szumów do sygnału jest bardzo trudne. Dlatego też dopuszcza się często z uszczerbkiem dla jakości transmisji nieco wyższy poziom szumów.

Rozwój systemów radiofonicznych na falach ultrakrótkich z modulacją częstotliwości, wolny w znacznej mierze od zakłóceń w odbiorze, przyczynia się do podwyższenia warunków odnośnie jakości transmisji, a przede wszy-

stkim odnośnie obniżenia poziomu szumów w torze radiofonicznym.

Zasadniczym źródłem szumów są pierwsze stopnie wzmacniaczy mikrofonowych lub magnetofonowych.

Dla określenia poziomu szumów w decybelach przyjmuje się następujący wzór:

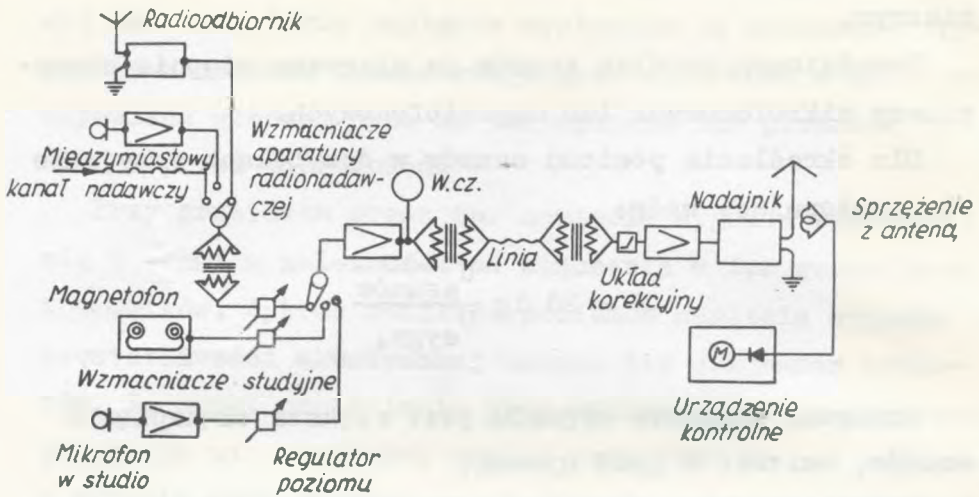
$$W = 20 \lg \frac{U_{\text{szumów}}}{U_{\text{sygn.}}}$$

Ponieważ napięcie sygnału jest większe od napięcia szumów, wartość  $W$  jest ujemna.

Szkodliwy wpływ działania szumów zależny jest także od jego częstotliwości składowych. Dla prawidłowej oceny szkodliwego działania szumu nie wystarcza zmierzyć poziom szumów bez zbadania jego składowych częstotliwości. Prócz tego należy także zwrócić uwagę na niejednokową czułość ucha ludzkiego dla różnych częstotliwości wchodzących w skład tego szumu. Czułość ucha dla różnych częstotliwości przyjęto porównywać z poziomem odnoszenia czułości przy 800 Hz. Pomiaru szumów z uwzględnieniem nierównomiernej czułości ucha dokonuje się za pomocą specjalnych filtrów i nazywa się je psofometrycznymi, a przyrządy psofometrami.

#### 4. POMIARY JAKOŚCIOWE WSKAŹNIKÓW TORU RADIOFONICZNEGO

Tor radiofoniczny może być przedstawiony według schematu blokowego podanego na rysunku 1. Źródłem przekazywania programu może być mikrofon, magnetofon, odbiornik



Rys. 1. Schemat toru radionadawczego

radiofoniczny lub łącze niskiej częstotliwości, łączące dany ośrodek z innym punktem nadawania audycji. Pomiar jakościowych wskaźników toru radiofonicznego powinny być przeprowadzone od źródła sygnału niskiej częstotliwości do anteny nadajnika. Zależnie od źródła programu /mikrofon, magnetofon lub linia/ technika pomiarów może być różna. Przy badaniach urządzeń studyjnych mikrofon zastępuje się generatorem niskiej częstotliwości.

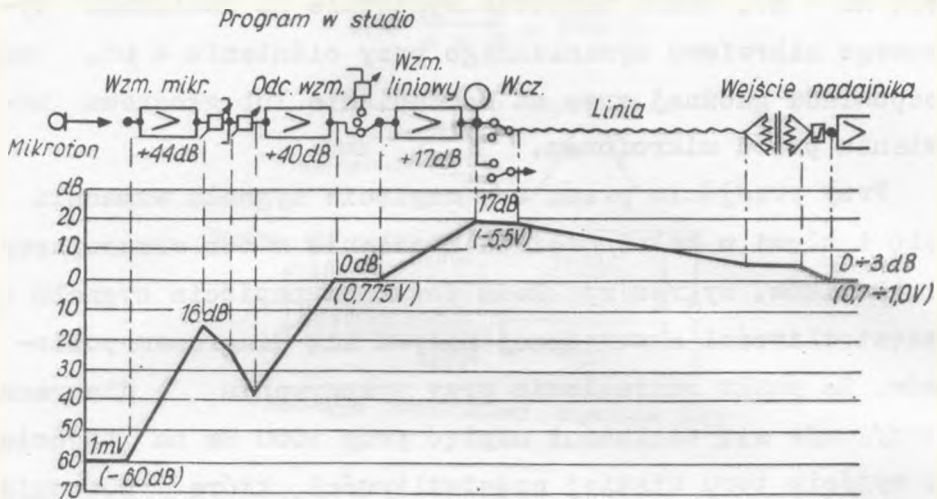
Pomiary przeprowadza się przy określonym poziomie napięcia na wejściu wzmacniacza mikrofonowego. Napięcie to powinno być równoważne napięciu mikrofonu, jakie daje on przy takim ciśnieniu dźwiękowym, przy którym w realnych warunkach osiąga się 100 % modulacji nadajnika. Zgodnie z przepisami technicznej eksploatacji urządzeń radiofonicznych, napięcie na wejściu wzmacniacza mikro-

fonowego przy pomiarach wskaźników jakościowych ustala się na 1 mV. Takie napięcie występuje na zaciskach typowego mikrofonu dynamicznego przy ciśnieniu 4  $\mu$ b, co odpowiada głośnej grze na fortepianie lub głośnemu mówieniu przed mikrofonem.

Przy przejściu przez tor napięcie sygnału wzmacnia się i tłumii w zależności od włączenia w tor wzmacniaczy i tłumików. Wykres rozkładu poziomów napięcia sygnału o częstotliwości akustycznej nazywa się diagramem poziomów. Za punkt odniesienia przy wykonywaniu diagramu przyjmuje się wielkości napięć przy 1000 Hz na wejściu i wyjściu toru niskiej częstotliwości, które powodują 100 % modulacji nadajnika radiofonicznego. Aparaturę radiofoniczną projektuje się w oparciu o warunki określone diagramem poziomów.

Przy napięciu 1 mV na wejściu wzmacniacza mikrofonowego /przy częstotliwości 1000 Hz/ napięcie na wejściu wzmacniacza liniowego powinno wynosić 0,775 do 1 V, a napięcie na wejściu linii powinno być takie, by przy jej tłumieniu uzyskać na wyjściu 0,5 do 1 V. W typowej aparaturze studyjnej napięcie na wyjściu wynosi 5,5 V/+17dB na oporze 600  $\Omega$  /.

Diagramy poziomów sporządza się w skali decybelowej. Kontrola diagramu poziomów pozwala określić prawidłowość działania aparatury i umożliwia zachowanie prawidłowych wielkości wskaźników jakościowych. Dlatego też zdjęcie diagramu poziomów staje się zasadniczą częścią pomiaru wskaźników jakościowych toru. Na rysunku 2 jest przedstawiony diagram poziomów dla aparatury TACO-1.



Rys. 2. Diagram poziomu toru radionadawczego

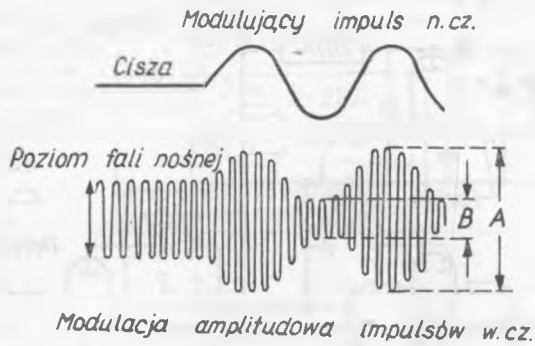
W przypadku retranslacji za pomocą odbiornika radiowego tor bada się za pomocą standardowego generatora sygnału. Napięcie wysokiej częstotliwości przykładana się na wejście odbiornika dla odtworzenia przyjmowanego przezeń sygnału, włączając między generator a odbiornik sztuczną antenę określoną normą GOST 5882-51. Głębokość generatora sygnałów standardowych nie powinna przekraczać 30 % ze względu na zniekształcenie nieliniowe.

## 5. TECHNIKA POMIARÓW I PRZYRZĄDY POMIAROWE

Przy pomiarze mocy nadajnika ważny jest pomiar głębokości modulacji. Do tego celu używa się oscylografu typu OE 7. Jeżeli modulacja odbywa się torem jednoczęstotliwościowym, to przebieg jej będzie jak na rysunku 3.

Współczynnik modulacji określa się wzorem:

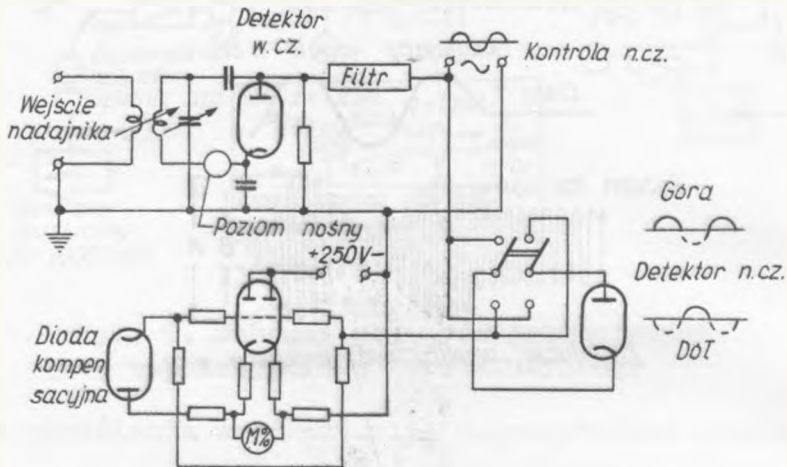
$$M = \frac{A - B}{A + B} \cdot 100 \%$$



Rys. 3. Oscylogram fali modulowanej

Przypuśćmy, że amplituda częstotliwości nośnej jest stałą, wtedy współczynnik głębokości modulacji będzie proporcjonalny do amplitudy częstotliwości akustycznej /modulującej/, to jest  $A - B$ . Na tej zasadzie buduje się mierniki głębokości modulacji. W układzie miernika głębokości modulacji znajdują się dwa woltomierze lampowe. Na jednym z nich ustala się poziom częstotliwości nośnej, a na drugim mierzy się amplitudę drgań częstotliwości modulacyjnej. Skala drugiego woltomierza lampowego jest wyskalowana w procentach od 0 do 100 %. Schemat blokowy miernika głębokości modulacji typu IM-12 podany jest na rysunku 4.

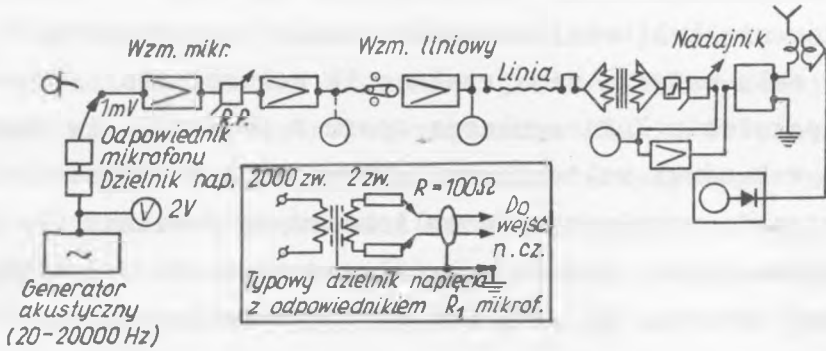
Dla określenia zniekształcenia amplitudowego częstotliwości stosuje się pomiar charakterystyki częstotliwości



Rys. 4. Schemat blokowy miernika modulacji

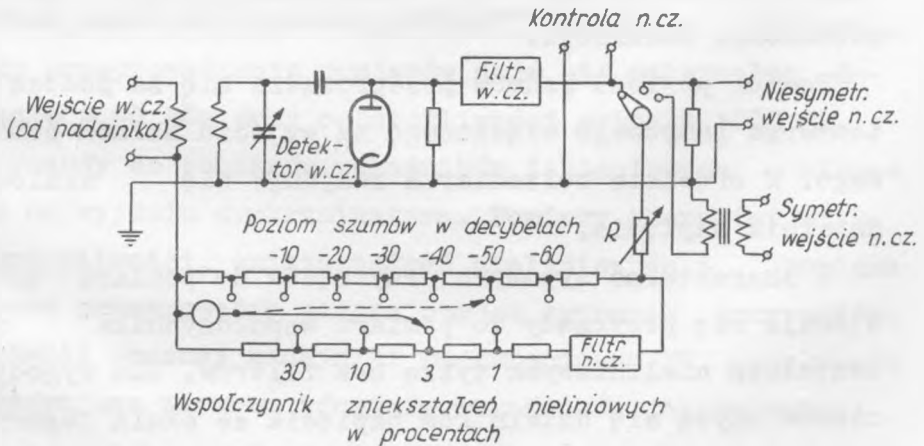
ści, która przedstawia sobą wykres zależności współczynnika głębokości modulacji nadajnika od częstotliwości przyłożonego na wejściu toru napięcia. Schemat pomiarów charakterystyki częstotliwości podany jest na rysunku 5. Przy pomiarach charakterystyki częstotliwości ustawia się nadajnik na 50 % głębokości modulacji przy częstotliwości 1000 Hz. Poziom napięcia wejściowego utrzymuje się stały przy wszystkich częstotliwościach. Odchyłki określa się jako stosunek wielkości współczynnika głębokości modulacji przy danej częstotliwości do współczynnika głębokości modulacji przy 1000 Hz. Dla nadajników wysokiej jakości przyjmuje się, że odchyłki nie mogą przekraczać  $\pm 1,5$  dB.





Rys. 5. Schemat pomiarów jakościowych współczynników toru studyjnego

Do określenia współczynnika zniekształceń nieliniowych oraz poziomu szumów używa się w ZSRR przyrządu typu INI-6. Schemat blokowy urządzenia jest przedstawiony na rysunku 6. W przyrządzie opisanym powyżej znajduje



Rys. 6. Schemat blokowy miernika zniekształceń i szumów

się układ detekcyjny, który wydziela składowe częstotliwości niskiej od wysokiej. Na początku pomiaru przeprowadza się kalibrację poziomu niskiej częstotliwości. W tym celu ustawia się przełącznik woltomierza lampowego na położeniu K i regulacją oporu R powoduje się wychylenie wskazówki woltomierza lampowego LV do końca skali. Następnie przyłącza się woltomierz na dzielnik napięcia harmonicznych wtrącony po filtrze częstotliwości podstawowej /zakresy 30, 10, 3 i 1 %/ i określa się wielkość współczynnika zniekształceń nieliniowych w zależności od pozycji przełącznika dzielnika napięć. Przy pomiarze wzmacniaczy używa się jednego z dwóch wejść /symetrycznie i niesymetrycznie/ niskiej częstotliwości. Obecnie stosowane przyrządy pomiarowe pozwalają na dokonywanie pomiarów zniekształceń nieliniowych dla 6 do 10 częstotliwości.

Pomiary przeprowadza się przeważnie przy 90 % głębokości modulacji. Niekiedy jednak stosuje się 10 do 50 % głębokości modulacji.

Pomiar poziomu szumów przeprowadza się za pomocą woltomierza lampowego włączonego na wyjściu układu pomiarowego. W obwodzie woltomierza znajduje się skalowany dzielnik napięcia.

W charakterze typowych przyrządów do pomiaru szumów stosuje się przyrządy do pomiaru współczynnika zniekształceń nieliniowych tylko bez filtrów. Dla wygody pomiarów używa się dzielników napięcia ze skalą logarytmiczną, dających tłumienie 10, 20, 30, 40, 50, 60 dB. Skala przyrządu wychyla się do końca przy 20 dB. W ten

sposób za pomocą tych przyrządów można zmierzyć poziom szumów do 80 dB poniżej normalnego sygnału.

Przy wykonywaniu pomiarów wskaźników jakościowych torów radiofonicznych stosowana jest w ZSRR wysokojakościowa aparatura kontrolno-pomiarowa KIS 2. W zestawie tej aparatury znajduje się generator akustyczny, oscylograf i miernik głębokości modulacji oraz miernik zniekształceń nieliniowych i szumów. Wyniki pomiarów wskaźników jakościowych toru radiofonicznego ujęte są w protokołach, w których podaje się schemat badanego toru i dane aparatury. Do protokołu dołącza się wykresy charakterystyk częstotliwości i tablice z wynikami pomiarów.

## 6. WŁAŚCIWOŚCI POMIARÓW WSKAŹNIKÓW NADAJNIKÓW RADIOFONICZNYCH, PRACUJĄCYCH Z MODULACJĄ CZĘSTOTLIWOŚCI

W kompletach typowych nadajników FM znajduje się detektor kontrolny dyskryminatora i indykator dewiacji. Przy przeprowadzaniu pomiarów daje się maksymalną dewiację  $\pm 50$  kHz przy częstotliwości sygnału 1000 Hz. Przyrządy do pomiarów wskaźników jakościowych włącza się na wyjściu dyskryminatora. Pomiarów charakterystyk częstotliwości, zniekształceń nieliniowych i poziomu szumów przeprowadza się za pomocą typowych przyrządów. W chwili obecnej nadajniki radiofoniczne FM spełniają następujące warunki odnośnie wskaźników jakościowych:

- a/ maksymalna dewiacja częstotliwości odpowiadająca 100% modulacji  $\pm 50$  kHz dla wszystkich częstotliwości modulacyjnych,

- b/ odchyłka częstotliwości nośnej od nominalnej nie większa niż 2 kHz,
- c/ odchyłka charakterystyki częstotliwości  $\pm 1$  dB w zakresie częstotliwości modulacji 30 do 15000 Hz,
- d/ współczynnik zniekształceń nieliniowych na częstotliwościach średnich 1 %, a na skrajnych wysokich 1,5 %,
- e/ poziom szumów nie większy niż 60 dB,
- f/ poziom szumów nadajnika wywołanych pasożytniczą modulacją powinien być niższy o 40 dB od poziomu niezmodulowanego sygnału częstotliwości nośnej,
- g/ głębokość pasożytniczej modulacji amplitudowej, wywołanej sygnałem modulującym, nie może przewyższyć 5 % przy daniu na wejście nadajnika sygnału odpowiadającego maksymalnej dewiacji częstotliwości.



