

# Zakłócenia, szумы i ich pomiary

W każdym torze elektroakustycznym występują jako niepożądany czynnik towarzyszący przesyłanym sygnałom – zakłócenia i szумы. Są one często utrapieniem elektronika-konstruktor, a ich eliminowanie napotyka na duże trudności i wymaga wiedzy oraz dużego doświadczenia. W artykule niniejszym przedstawiony jest krótki przegląd najważniejszych źródeł zakłóceń i szumów oraz zasady ich pomiaru.

Do zakłóceń zaliczamy wszystkie niepożądane przebiegi występujące jednocześnie z sygnałem użytecznym. Zakłócenia można podzielić na własne (wewnętrzne), powstające w urządzeniach toru elektroakustycznego oraz obce (zewnętrzne), pochodzące ze źródeł zewnętrznych. Do pierwszej grupy należą więc będą: szумы cieplne, szумы aktywnych elementów wzmacniaczy, szумы taśmy magnetofonowej itd. Do grupy drugiej należą np. przydźwięk indukowany z sieci elektroenergetycznej, zakłócenia atmosferyczne i przemysłowe przy odbiorze radiowym. Dla porządku przypomnijmy, że pojęcie „zakłócenia” jest szerokie i obejmuje różnego rodzaju zakłócenia jak i szумы. Natomiast szumem nazywamy zakłócenie szumowe wywołane bezładnymi przebiegami w postaci wielkiej liczby przypadkowych impulsów o przypadkowym rozkładzie częstotliwości i kątów fazowych. Gdy mówimy o szumach, mamy na myśli właśnie taki przypadkowy przebieg o szerokim widmie częstotliwości. Niekiedy szумы są stosowane jako sygnał użyteczny do pomiaru określonych parametrów urządzeń. Tym zagadnieniem w niniejszym artykule zajmować się nie będziemy.

## Szумы cieplne

Szумы cieplne (rezystancyjne) powstają wskutek cieplnego pobudzenia elektronów i stanowią dolną granicę poziomu szumów występujących w danym układzie. Szумы cieplne występują we wszystkich elementach zawierających rezystancję. Napięcie szumów cieplnych można określić następującym wzorem:

$$U_{sz} = 0,126 \sqrt{R \Delta f} \quad [\mu V]$$

w którym:

$U_{sz}$  – napięcie szumów (wartość skuteczna) [ $\mu V$ ],

$R$  – rezystancja [ $k\Omega$ ],

$\Delta f$  – szerokość pasma częstotliwości ( $\Delta f = f_2 - f_1$ ) [kHz].

Łatwo można obliczyć, że szумы cieplne na wyjściu mikrofonu o rezystancji 600  $\Omega$  wynoszą około 0,44  $\mu V$ . Szумы cieplne

w rezystancji wejściowej wzmacniacza mikrofonu piezoelektrycznego o wartości 1 M $\Omega$ , wyniosą już około 15  $\mu V$ .

Wzrost temperatury wpływa nieznacznie na szумы cieplne. Zwiększenie temperatury rezystancji z 17°C do 117°C powoduje zwiększenie się napięcia szumów tylko o 16%.

Rezystory rzeczywiste mają napięcie szumów znacznie większe od obliczonego napięcia szumów cieplnych. Najlepsze pod tym względem są dobre rezystory drutowe, których szумы są nieznacznie tylko większe od obliczonych szumów cieplnych. O przyczynach wywołujących te szумы dodatkowe piszemy niżej.

Gęstość widmowa szumów cieplnych jest stała. Tak więc moc szumów cieplnych w pasmie 100 do 200 Hz jest równa mocy szumów w pasmie 5100... do 5200 Hz. Szum o jednolitym rozkładzie mocy w funkcji częstotliwości nazywamy szumem białym. Warto nadmienić, że wiele źródeł szumów nie zaliczanych do szumów cieplnych ma charakter szumu białego.

Wartość skuteczna (napięcia, prądu) szumów cieplnych może być określona jednoznacznie, natomiast wartość chwilowa tych szumów może być określona tylko w sensie prawdopodobieństwa częstotliwości występowania. Wartość chwilowa szumów cieplnych ma rozkład normalny (gaussowski). Obliczone na tej podstawie wartości współczynnika szczytu (stosunku wartości chwilowej do wartości skutecznej) wyrażone w procencie czasu, w którym przebieg przekracza przyjętą wartość szczytową, przedstawiają się następująco.

Procent czasu	Współczynnik szczytu
1,0	2,6
0,1	3,3
0,01	3,9
0,001	4,4
0,0001	4,9

Pomijając rzadko występujące wartości szczytowe, w odniesieniu do szumów cieplnych, przyjmuje się współczynnik szczytu równy 3 bądź 4.

Tor elektroakustyczny lub jego ogniwa ograniczają pasmo przepustowe głównie od góry, a więc mają charakter filtru dolnoprzepustowego. Jeżeli spadek charakterystyki częstotliwościowej jest gwałtowny i wynosi 18 dB/okt lub więcej, to równoważna energetyczna szerokość pasma szumów jest równa w przybliżeniu szerokości pasma przenoszenia toru. Natomiast przy bardziej łagodnym opadaniu

charakterystyki częstotliwościowej należy wprowadzić poprawkę: równoważna energetyczna szerokość pasma szumów jest większa o 22% w przypadku charakterystyki 12 dB/okt, większa o 57% w przypadku charakterystyki 6 dB/okt.

## Szумы śrutowe

We wszystkich elementach półprzewodnikowych występują szумы śrutowe wiążące się z fluktuacją wartości prądu wokół wartości średniej, spowodowaną przypadkową dyfuzją nośników przez bazę tranzystora oraz przypadkową generacją i rekombinacją par elektron-dziura. Nazwa tych szumów pochodzi jeszcze z epoki lamp elektronowych, w których szумы śrutowe są spowodowane przypadkowością emisji elektronów z katody.

Wartość skuteczna prądu szumów śrutowych może być określona według wzoru:

$$I_{ss} = 5,66 \cdot 10^{-4} \sqrt{I f_e} \quad [\mu A]$$

w którym:

$I_{ss}$  – natężenie prądu szumów śrutowych [ $\mu A$ ],

$I$  – wartość średnia prądu stałego [mA],

$f_e$  – energetyczna szerokość pasma [kHz].

Szum śrutowy jest szumem białym o własnościach takich samych, jak opisane wyżej szумы cieplne.

## Szумы kontaktowe (szумы 1/f)

Dwa różne materiały lub nawet złącza tego samego materiału mają styk niedoskonały. Wskutek tego występują szумы, które w zależności od elementu w jakim powstają, noszą różne nazwy. I tak: w przypadku lamp określa się je jako szумы migotania, w elementach półprzewodnikowych i biernych elementach stykowych nazywamy je szumami kontaktowymi, a w przypadku rezystorów nazywane są czasami szumami nadmiarowymi. Szумы 1/f są wprost proporcjonalne do wartości prądu stałego. Gęstość widmowa tych szumów zmienia się tak, jak odwrotność częstotliwości (1/f), a wartość chwilowa zmienia się według rozkładu normalnego (gaussowskiego). Źródłem tych szumów są rezystory, szczególnie objętościowe i warstwowe, elementy półprzewodnikowe i inne elementy zawierające złącza i styki. Poziom szumów kontaktowych może przybierać znaczną wartość przy małych częstotliwościach.

## Szумы wybuchowe (ang. burst noise)

Szумы wybuchowe występują w diodach, układach scalonych i niekiedy w tranzystorach. Mają one charakter specyficznych trzasków i przypominają najbardziej odgłosy występujące przy prze-

niu kukurydzy. Szumy wybuchowe są spowodowane niedoskonałością wytwarzania przyrządów półprzewodnikowych i występują w mniejszym stopniu lub prawie wcale nie występują, w przyrządach wytwarzanych bardzo dobrą technologią. Główną przyczyną ich powstawania są zanieczyszczenia metaliczne w materiale łącz półprzewodnikowych.

Częstość powtarzania „wybuchów” nie jest okresowa i zmienia się wskutek różnych przyczyn. Zaobserwowano szumy wybuchowe o częstości od kilkuset na sekundę do mniej niż jednego „wybuchu” na minutę. Amplituda „wybuchu” jest większa 2...100 razy od poziomu szumów cieplnych i jest stała dla danego egzemplarza przyrządu półprzewodnikowego. Orientacyjnie można przyjąć, że gęstość widmowa szumów wybuchowych ma charakterystykę  $1/f^2$ . Napięcie (amplituda impulsu) ma większą wartość w obwodach o wielkiej wartości impedancji, np. w obwodzie wejściowym wzmacniacza operacyjnego.

#### **Szumy taśmy magnetofonowej**

Dotkliwie odczuwanym źródłem szumów w torach elektroakustycznych są szumy taśmy magnetofonowej, których głównymi źródłami są: ziarnistość struktury warstwy czynnej taśmy oraz zmienność styku taśmy z głowicą. Poza tym wielki wpływ na poziom szumów ma namagnesowanie taśmy składową stałą pola magnetycznego, której źródłem może być sam magnetofon, bądź zewnętrzne pole magnetyczne. Zmniejszenie różnymi sposobami szumów taśmy magnetofonowej, warunkujące otrzymanie odpowiednio wielkiej dynamiki audycji, jest głównym kierunkiem wysiłków producentów taśm i producentów magnetofonów, w okresie całej historii rozwoju zapisu magnetycznego.

#### **Szumy płyty gramofonowej**

Stare płyty gramofonowe (tzw. szelakowe z wypełniaczem mineralnym) dawały bardzo wysoki poziom szumów. Wprowadzenie nowych materiałów do produkcji płyt (mas plastycznych opartych głównie o polichlorek winylu) oraz zmniejszenie nacisku igły czytającej, wpłynęły na bardzo znaczne zmniejszenie się poziomu szumów. Najlepsze, nowe i zupełnie czyste płyty wykazują odstęp szumów od znamionowego poziomu sygnału użytecznego rzędu 70 dB. Wartość ta maleje szybko w miarę zabrudzenia płyty i drobnych uszkodzeń spowodowanych niestarannym obchodzeniem się z płytą oraz wadami igły czytającej (igła zużyta), bądź gramofonu.

Podana wartość poziomu szumów nie dotyczy zakresu małych częstotliwości, w którym występują szumy (zakłócenia) od napędu aparatury zapisującej i innych zakłóceń mechanicznych przeniesionych na płytę. Zakłócenia od wibracji mechanizmu gramofonu powstają również przy odczytywaniu zapisu płyty i są tym większe, im niższej klasy jest gramofon.

Selektywny pomiar szumów (zakłóceń) płyty gramofonowej wykazuje, że występują wyraźne maksima w określonych przedziałach częstotliwości.

#### **Szum mikrofonowy**

Źródłem szumów mikrofonowych poza szumem cieplnym są: szum akustyczny wywołany uderzaniem cząstek powietrza o membranę mikrofonu, szum kontaktowy, szczególnie silny w przypadku mikrofonów węglowych. Poza tym mikrofon odbiera zawsze zakłócenia akustyczne występujące w danym pomieszczeniu, których wyeliminowanie nawet dla celów

pomiarowych jest bardzo trudne (praktycznie nie ma ani pomieszczenia, ani komory idealnie cichej).

#### **Szum kwantyzacyjny**

Przy odtwarzaniu sygnału (analogowego) z sygnału przenoszonego w postaci cyfrowej (dyskretnej), sygnał wyjściowy może mieć składową szumów większą niż miał sygnał wejściowy. Różnica jest spowodowana procesem przetwarzania sygnału, głównie jego kwantowaniem.

#### **Szum losowy**

Szumem losowym nazywamy szum powstający z nakładania się znacznej liczby elementarnych zakłóceń powstających w czasie, stosownie do prawa przypadku.

#### **Zakłócenia zewnętrzne**

Do toru elektroakustycznego mogą przedostawać się różnorodne zakłócenia. Zupełne ich wyeliminowanie nie jest możliwe. Przedsięwzięcia konstrukcyjne, projektowe i eksploatacyjne zmierzają do osłabienia tych zakłóceń w takim stopniu, aby miały one wartość mniejszą od przyjętej za dopuszczalną. Główne drogi przedostawania się zakłóceń to: sprzężenie przez pole elektryczne, przez pole magnetyczne, sprzężenie rezystancyjne, sprzężenie przez wspólną impedancję. Poza tym zakłócenia mogą przedostawać się do wejścia wraz z sygnałem, jak to występuje nagminnie w odbiornikach radiofonicznych (zakłócenia atmosferyczne, kosmiczne, interferencyjne, przemysłowe, zapłonowe samochodów itd.). Przeciwdziałanie tego rodzaju zakłóceniom jest trudne i wymaga często znacznego nakładu środków.

## POMIARY SZUMU BIAŁEGO

Pomiary szumów są wykonywane przeważnie w obwodzie wyjściowym (urządzenia, toru itd.). Uzasadnione to jest tym, że poziom napięcia (prądu) szumów jest zwykle większy na wyjściu niż u wejścia układu oraz przeprowadzając pomiary na wyjściu unika się niebezpieczeństwa oddziaływania na wejście bądź naruszenia warunków normalnej jego pracy. Gdy zachodzi potrzeba odniesienia szumów do wejścia układu (szumy równoważne), to najdogodniej jest zmierzyć szumy na wyjściu układu i podzielić przez współczynnik wzmocnienia układu (znany, bądź dodatkowo pomierzony).

Miernik zastosowany do pomiaru szumów powinien spełniać następujące wymagania:

- prawidłowo reagować na moc szumów,
- mieć współczynnik szczytu co najmniej równy 4 (powinien mierzyć, a nie „obcinać” przebiegi o amplitudzie 4-krotnie większej od wartości skutecznej napięcia lub prądu mierzonego szumu),
- szerokość pasma częstotliwości miernika powinna być kilkakrotnie większa od szerokości pasma energetycznego mierzonego szumu.

Najlepszy byłby miernik wartości skutecznej (prawdziwy), który mierzyłby moc cieplną szumów wydzielaną w rezystorze. O taki miernik jest jednak bardzo trudno. Przeważnie korzysta się z mierników przeznaczonych do pomiaru przebiegów sinusoidalnych. Taki miernik zawiera zestaw rezystorów, prostownik i miernik wychyłowy prądu stałego reagujący na wartość średnią prądu przepływającego przez cewkę ruchomą. Wartość skuteczna przebiegu sinusoidalnego jest 1,11 razy większa od wartości średniej. W przypadku szumu białego różnica ta wynosi 1,25. Tak więc przy pomiarze szumu białego należy pomnożyć wartość odczytaną na skali przez 1,13 (dodać 1,1 dB). Pomiarów należy dokonywać przy niewielkim wychyleniu się wskazówki w celu uniknięcia obcinania przebiegów szumowych o wielkich wartościach amplitudy.

Do pomiaru przebiegów szumowych nie mogą być stosowane mierniki wartości szczytowych, ponieważ wynik pomiaru będzie nieokreślony, zależny głównie od parametrów samego miernika. Nie dotyczy to specjalnych mierników przeznaczonych do pomiaru zakłóceń i szumów w radiofonii, o których piszemy niżej.

Bardzo przydatnym przyrządem do po-

miaru szumów (w tym i szumu białego) jest oscyloskop o dostatecznie szerokim pasmie, zaopatrzony w płytkę z siatką współrzędnych (raster). Wartość skuteczna szumu białego zmierzona na oscyloskopie jest w przybliżeniu równa wartości międzyszczytowej, odczytanej na siatce, podzielonej przez 8. Zaletą oscyloskopu jest możliwość łatwego stwierdzenia charakteru mierzonego przebiegu. Gdy występuje, jednocześnie z przebiegiem szumowym, przydźwięk sieci elektroenergetycznej lub pulsacja napięcia zasilającego, jest to łatwo wykrywalne i nie popętnia się błędnie mierząc łącznie przebieg szumowy i nadmierny przydźwięk. Przy pewnej wprawie jest możliwe określanie wartości przebiegu szumowego na tle sinusoidy przydźwięku sieci elektroenergetycznej, bowiem obraz tych przebiegów na ekranie oscyloskopu różni się bardzo wyraźnie.

Zależnie od celu pomiarów i spodziewanego źródła przebiegów szumowych (zakłócających) pomija się zaobserwowane na ekranie oscyloskopu, rzadko występujące większe wartości międzyszczytowe. Jest to szczególnie istotne przy pomiarach szumów złożonych, pochodzących z kilku źródeł jednocześnie (nie będących „czystym” szumem białym).

## FILTRY PSOFOMETRYCZNE

Już w początkowym okresie rozwoju telefonii zauważono, że wyrażenie szumów torów telefonicznych bezpośrednio wartością skuteczną napięcia tych szumów nie ma wielkiego sensu, bowiem istotne są szumy słyszane przez rozmówcę telefonicznego, a nie „jakaś” wartość wykazywana na skali woltomierza. Słuch ludzki ma, jak wiadomo, określone własności i jego czułość nie jest jednakowa w odniesieniu do dźwięków o różnej częstotliwości i o różnej głośności. Poza tym między uchem rozmówcy i torem telefonicznym

znajduje się przetwornik elektroakustyczny w postaci słuchawki, który może być rozpatrywany jako filtr elektryczny o określonych własnościach. Po przeprowadzeniu odpowiednich badań ustalono charakterystykę filtra psfometrycznego, który należy włączyć między tor telefoniczny i woltomierz, aby określać obiektywnie (w sposób technicznie ujednoczony) zakłócenia odczuwane fizjologicznie.

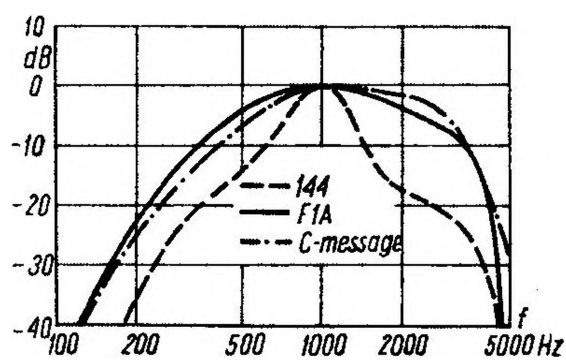
Na rysunku 1 przedstawiono charakterystyki trzech filtrów psfometrycznych, które służyły do pomiaru „ważonych” (weighted) szumów w telefonii amerykańskiej. Charakterystyka 144 powstała w latach dwudziestych w oparciu o bardzo rozpowszechniony aparat telefoniczny Western Electric typ 144.

W latach trzydziestych, wobec udoskonalenia stosowanych aparatów telefonicznych, okazało się celowe zastosowanie filtrów psfometrycznych o charakterystyce F1A. W związku z wprowadzeniem coraz to lepszych aparatów telefonicznych, w latach pięćdziesiątych, upowszechniły się filtry psfometryczne o charakterystyce „C-message” (zwanej również „Telegram C”) stosowane do dziś w firmie Bell System, eksploatującej większość sieci telefonicznych USA.

Krótką analizą tych krzywych jest bardzo pouczająca. Widać wyraźnie, jak doskonalenie aparatów telefonicznych (głównie słuchawek) i zwiększenie wymagań na pasmo przepustowe torów telefonicznych wpływały na zmianę charakterystyki filtra psfometrycznego, głównie w kierunku zmniejszenia tłumienia większych częstotliwości akustycznych.

Problematyką telefonicznych sieci zajmuje się organizacja międzynarodowa CCITT (Comité Consultative International Télégraphique et Téléphonique). Opracowuje ona zalecenia dotyczące sieci telekomunikacyjnych, a w tym i metod pomiaru zakłóceń oraz szumów.

Z chwilą powstania radiofonii, a szczególnie w miarę szerokiego wykorzystania linii teletransmisyjnych do przekazywania programów radiofonicznych między miastami i krajami, wyłonił się problem filtrów psfometrycznych dla potrzeb radiofonii. Przeżyły one ewolucję, podobnie jak filtry stosowane w telefonii, której opisywać nie będziemy, podając na rys. 2 charakterystykę obecnie zalecaną przez CCIR (Comité Consultative International Radiotélégraphique), przyjętą w 1970 r. i ogłoszoną w dokumencie 468. Charakterystyka ta różni się do poprzednich (zalecanych przez CCIR) znacznym przesunię-



Rys. 1. Charakterystyki filtrów psfometrycznych stosowanych w telefonii amerykańskiej od lat 20-tych poczynając

ciem w kierunku wielkich częstotliwości (poprzednia charakterystyka opadała gwałtownie od częstotliwości 9 kHz począwszy).

Ta sama organizacja międzynarodowa w 1978 r. (dokument CCIR 468-2) ustaliła krzywą filtra pasmowo-przepustowego przeznaczonego do pomiaru w torach elektroakustycznych szumów „nieważonych” (ang. unweighted noise, niem. unbewertet Störpegel).

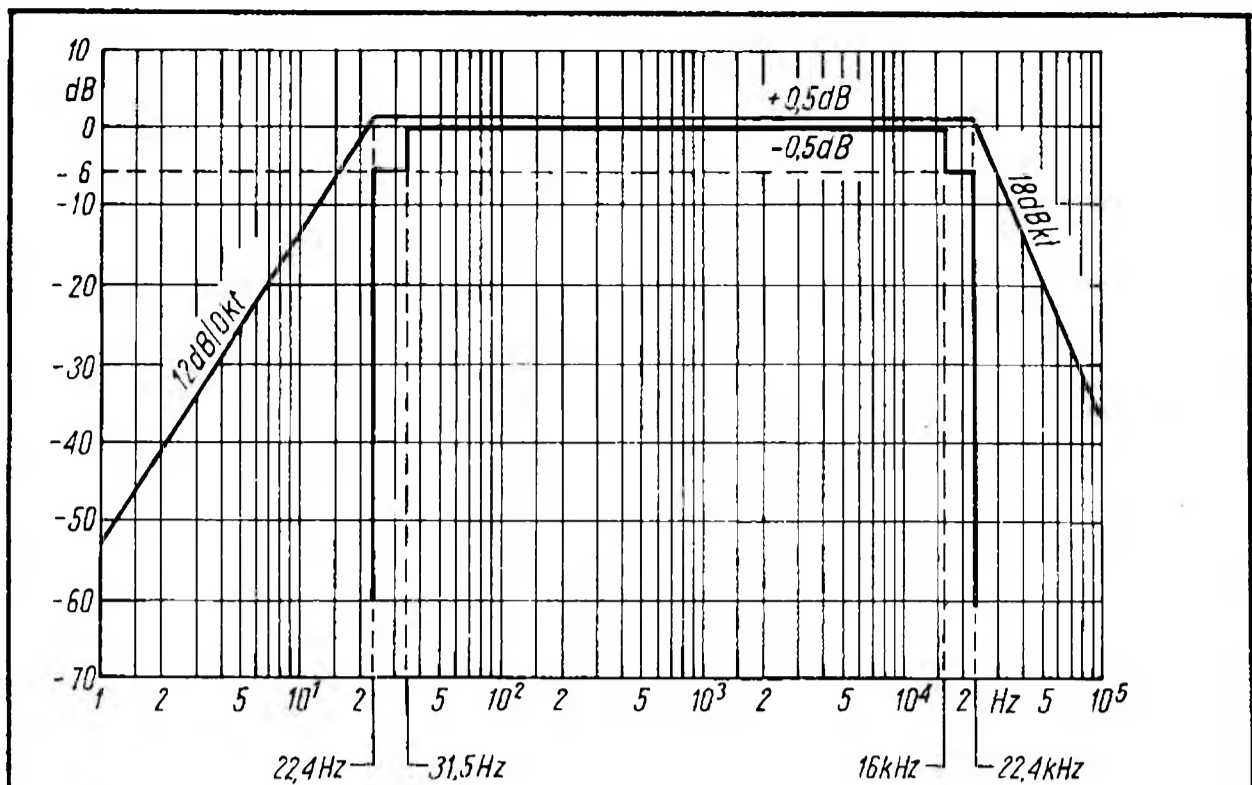
Na rysunku 3 są przedstawione granice, między którymi powinna przebiegać charakterystyka filtra. Logika zastosowania filtra pasmowo-przepustowego przy pomiarach szumów „nieważonych” wynika z okoliczności, że szumy położone poza granicą słyszalności człowieka nie mają z punktu widzenia torów elektroakustycznych znaczenia i należy je eliminować.

Jak z powyższego wynika, przy pomiarach torów elektroakustycznych i urządzeń, można mieć do czynienia z trzema wartościami szumów:

1. wartość szumów mierzona przez filtr psofometryczny (ang. weighted noise, niem. bewertet Störpegel, bewertetere Geräuschspannung);
2. wartość szumów mierzona przez filtr pasmowo-przepustowy według rys. 3 (ang. unweighted noise, niem. unbewertet Störpegel);
3. wartość skuteczna napięcia lub prądu szumów w całym pasmie przenoszonym przez tor lub urządzenie.

W tym ostatnim przypadku, np. dwa wzmacniacze, które miały identyczne wartości szumów według 1. i 2. mogą dać różne wyniki, bowiem różnią się znacznie szerokością pasma przepustowego.

Liczne badania prowadzone przez radiofonie i organizacje przemysłowe wykazały ostatnio, że słuch ludzki jest dość czuły na zakłócenia impulsowe i w związku



Rys. 3. Wymagania dotyczące filtra pasmowo-przepustowego zalecanego przez CCIR (dok. 468-2 z 1978 r.) - charakterystyka filtra powinna przebiegać między ustalonymi granicami

z tym pomiar wartości skutecznej napięcia (prądu) szumów nie jest optymalny. Zaproponowany został miernik wartości quasi - szczytowych, który zalecony został przez CCIR do zastosowania (1974 r - dok. 468-1). Miernik ten wykazuje, w przypadku szumu białego, wartość o 4...5 dB większą w porównaniu z woltomierzem wartości skutecznej.

Warto wspomnieć, że zaproponowane nowe zalecenia CCIR zaniepokoiły mocno organizacje przemysłowe, wytwarzające sprzęt elektroakustyczny, bowiem powodują pogorszenie (w wyrazie liczbowym) wskaźników jakościowych urządzeń. Różnica jest znaczna, bowiem nowy filtr psofometryczny powoduje zwiększenie napięcia szumu białego o 4,4 dB, co łącznie z nowym miernikiem daje zwiększenie o 8,4...9,4 dB. Jeszcze gorzej przedstawia się sprawa przy porównaniu z wynikami

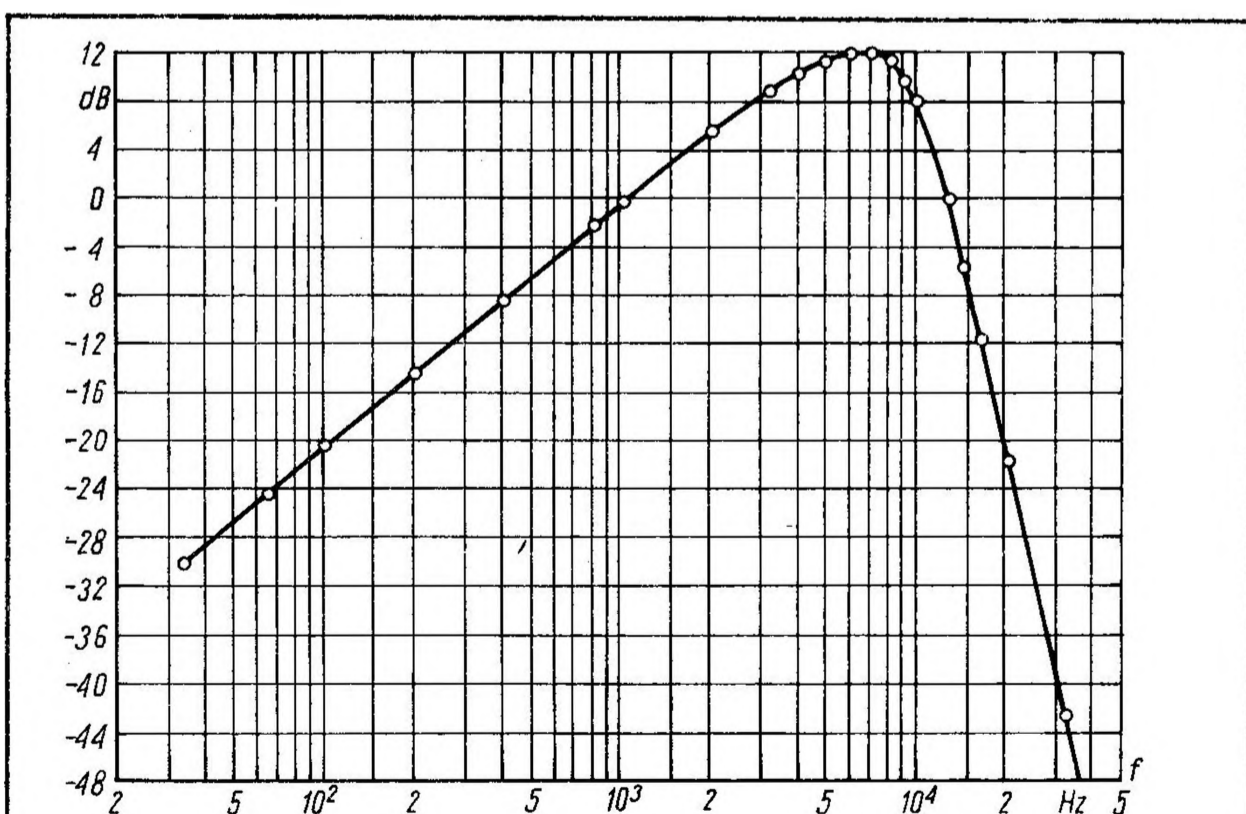
pomiarów według zaleceń IEC (International Electrotechnical Commission), bowiem różnica może wynosić aż 12...15 dB. Producenci urządzeń chcieliby utrzymania norm pomiarowych, które nie dawałyby „pogorszenia”, chociażby tylko pozornego parametrów urządzeń elektroakustycznych, co ich zdaniem utrudnia reklamę i może zniechęcać klienta z reguły źle zorientowanego w subtelnościach technicznych. Przykładem tej tendencji niech będą zalecenia amerykańskiego IHF (Institute of High Fidelity) z 1978 r., który zaleca dwie metody:

- „starą” charakterystykę filtra według IEC i pomiar wartości skutecznej szumów,
- przyjęcie zmodyfikowanej charakterystyki CCIR (patrz rys. 2), przy czym modyfikacja polega na przesunięciu poziomu „0” na częstotliwość 2 kHz oraz zastosowaniu miernika wartości średnich według norm amerykańskich (Average-Responding Meter). Metoda została określona oznaczeniem CCIR/ARM.

W RFN, kraju o wysokim poziomie wiedzy w zakresie elektroakustyki, panuje tendencja do pokonania oporów i przyjęcia w normach DIN zaleceń CCIR jako obiektywnie najprawidłowszych. W naszym kraju nie widać przyczyn, dla których zalecenia CCIR nie miałyby być przyjęte w całej rozciągłości.

#### POMIARY SZUMOWE WZMACNIACZY M.CZ.

Zagadnienie pomiarów szumów rozpatrzmy dokładniej w odniesieniu do wzmacniaczy m.cz. Wiele zasad dotyczących wzmacniaczy odnosi się również do innych urządzeń (czwórników wchodzących w skład toru elektroakustycznego). Specyficzne problemy pomiaru szumów magnetofonów i gramofonów są opisane oddzielnie.



Rys. 2. Charakterystyka filtra psofometrycznego zalecana przez CCIR do zastosowania w radiofonii (dok. 468 z 1970 r.) i jego uzupełnienia

Zacznijmy od ustalenia sposobów wyrażania wielkości charakteryzujących szumy, dążąc do wyrażenia szumów w decybelach, co ułatwi postępowanie się wynikami.

**Bezwzględny poziom szumów (zakłóceń)** najlepiej wyrażać w dB w odniesieniu do napięcia 0,775 V. Należy więc posługiwać się wzorem:

$$n_b = 20 \lg \frac{U_{sz}}{0,775} \quad [\text{dB}]$$

w którym:

$n_b$  – bezwzględny poziom szumów [dB],

$U_{sz}$  – napięcie szumów [V].

W zależności od zastosowanych filtrów należy rozróżniać: bezwzględny poziom szumów ważony, bezwzględny poziom szumów nieważony.

**Wskaźnikiem szumów** nazywamy zastępczy poziom szumów (zakłóceń) odniesiony do wejścia wzmacniacza. Obliczymy go łatwo, odejmując wyrażone w dB wzmacnienie wzmacniacza od wartości bezwzględnego poziomu zakłóceń pomierzonego na wyjściu:

$$n_w = n_b - W_t \quad [\text{dB}]$$

przy czym:

$n_w$  – wskaźnik szumów (zakłóceń) odniesiony do wejścia [dB],

$W_t$  – wzmacnienie transmisyjne wzmacniacza [dB].

**Przykład**

Bezwzględny poziom szumów wzmacniacza (ważony) wynosi  $-66$  dB.

Wzmacnienie wzmacniacza  $W_t = 40$  dB. Wskaźnik szumów wzmacniacza  $n_w$  jest równy  $-106$  dB.

**Odstęp sygnału użytecznego od szumów (zakłóceń)**, ang. S/N, Signal to Noise Ratio; niem. SA, Störpegelabstand, może być obliczony dwoma sposobami.

1. Gdy jest znane napięcie znamionowe źródła sygnału na wejściu wzmacniacza (np. 10 mV w przypadku wzmacniacza do gramofonu elektrycznego z adapterem magnetycznym)

$$\Delta n_{sz} = (n_b) + W_t + 20 \lg \frac{U_{we}}{0,775} \quad [\text{dB}]$$

**Przykład**

Wzmacniacz jak w przykładzie 1 ma służyć do wzmacniania sygnałów gramofonu elektrycznego. Odstęp sygnału użytecznego od szumu wyniesie:

$$\begin{aligned} \Delta n_{sz} &= (-66) + 40 + 20 \lg \frac{0,010}{0,775} = \\ &= 66 + 40 - 38 = 68 \text{ [dB]} \end{aligned}$$

2. Gdy jest znane napięcie znamionowe sygnału na wyjściu (np. 20 V w przypadku wzmacniacza o mocy 100 W przystosowanego do obciążenia o impedancji 4  $\Omega$ )

$$\Delta n_{sz} = (n_b) + 20 \lg \frac{U_{wy}}{0,775} \quad [\text{dB}]$$

**Przykład**

Pomierzono bezwzględny poziom ważony szumów, który wyniósł 66 dB. Napięcie znamionowe wzmacniacza  $U_{wy} = 20$  V. Odstęp sygnału użytecznego od szumów wynosi:

$$\Delta n_{sz} = 66 + 28 = 94 \text{ dB}$$

Odstęp sygnału użytecznego od szumów tegoż wzmacniacza odniesiony do mocy wyjściowej 50 mW jest równy:

$$\Delta n_{sz,50} = 66 - 5 = 61 \text{ dB}$$

Na rysunku 4 przedstawiono schemat stanowiska do pomiaru szumów. Pokazano na nim wszystkie przyrządy przydatne przy pomiarach szumów, w tym również tzw. psfometr, którym jest gotowy przyrząd zawierający potrzebne filtry (np. psfometr typ 2429 firmy Brüel-Kjaer zawierający cztery wbudowane filtry i dwa układy pomiaru napięcia, quasi-szczytowy i kwadratowy).

Kolejność pomiarów jest następująca:

- korzystając z generatora przeprowadza się pomiar wzmacnienia badanego wzmacniacza;
- przyłącza się odpowiedni rezystor do wejścia wzmacniacza (po odłączeniu generatora) i ogląda przebiegi szumowe na oscyloskopie: jeżeli składowa przydźwięku sieci jest zbyt wielka, to należy usunąć przyczynę tego niedostatku, bowiem pomiar szumów będzie wówczas nieprawidłowy;
- mierzy się bezwzględny poziom szumów nieważony;
- mierzy się bezwzględny poziom szumów ważony;
- oblicza się wskaźnik szumów (zastępczy poziom szumów odniesiony do wejścia wzmacniacza);
- oblicza się odstęp sygnału użytecznego od szumów, w odniesieniu do znanej wartości znamionowego napięcia wejściowego lub napięcia wyjściowego (wartość

napięcia może wynikać z norm, z danych katalogowych urządzenia, bądź zostać założona przez użytkownika).

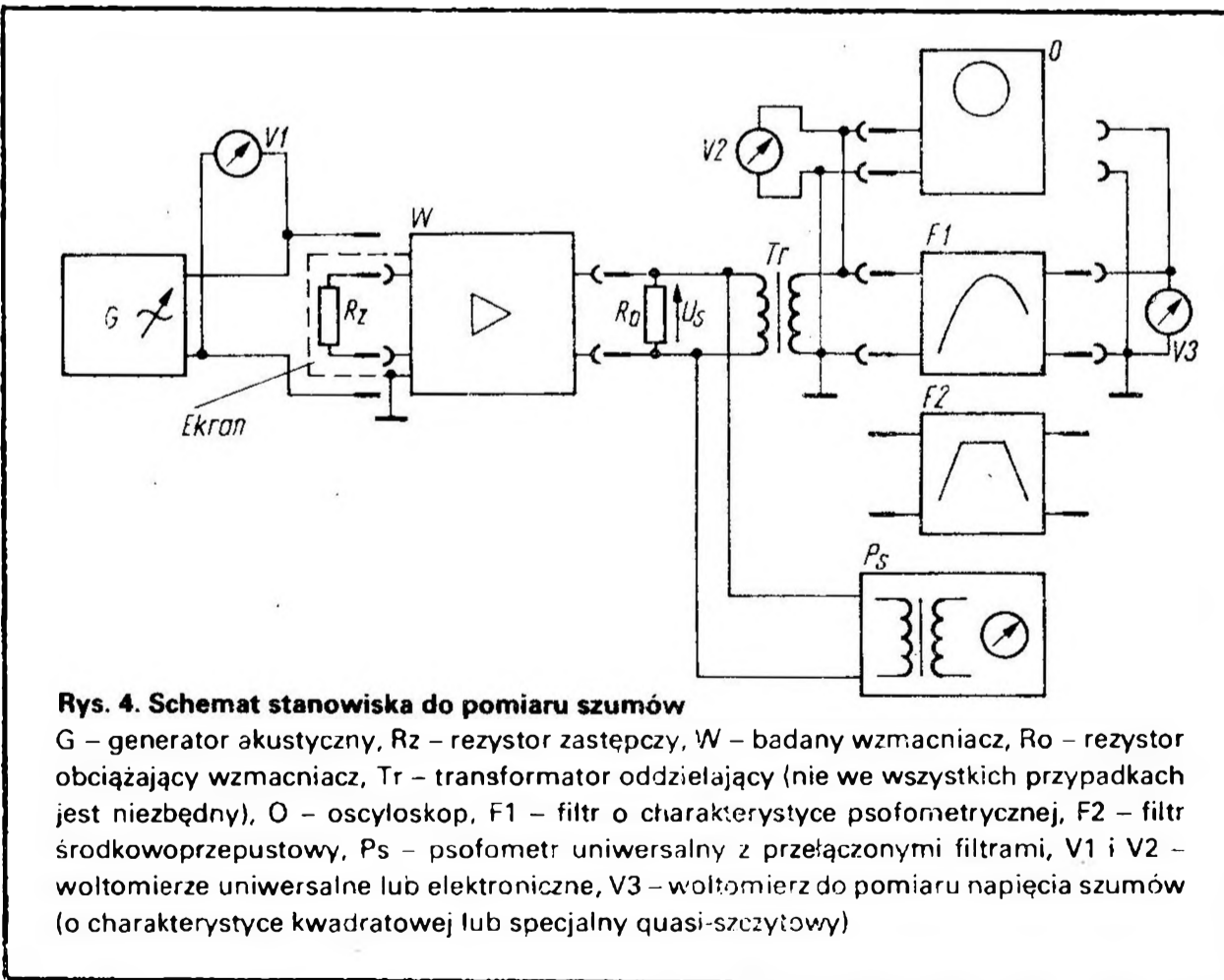
Wejścia wzmacniaczy przeznaczone do przyłączenia adaptera magnetycznego należy zamknąć rezystorem drutowym 2,2 k $\Omega$  (starannie ekranowanym). Wejścia wzmacniaczy mocy o czułości 0,5...1,55 V zwykle się zamyka. Wejścia innych wzmacniaczy zamyka się rezystorem o wartości podanej w normach lub katalogach bądź o wartości równej rezystancji źródła sygnału (mikrofonu, toru przewodowego itd.).

Dobrym wyposażeniem do pomiaru szumów mogą dysponować laboratoria i tylko nieliczni amatorzy. Jak ma postąpić elektronik-amator mający tylko skromne możliwości? Otóż podstawowym przyrządem umożliwiającym wystarczająco dokładne pomiary jest oscyloskop, o czym już wspomniano wyżej w przypadku szumu białego.

Analizując obraz przebiegów szumowych na ekranie, posługując się rastrem, określa się wartość międzyszczytową napięcia i dzieląc ją przez 8 szacuje się wartość skuteczną napięcia szumów. Jeżeli zamierzamy porównać ją z zaleceniami CCIR, to należy ją zwiększyć o 4 dB (1,6 razy).

Jeżeli pasmo przepustowe wzmacniacza (lub innego urządzenia) jest niewiele większe od 20 kHz, to filtr pasmowo-przepustowy (F2 na rys. 4) nie ma większego znaczenia i może być pominięty. W przypadku urządzenia szerokopasmowego (np. wzmacniacz przenoszący do 80 kHz) jest wskazane zastosowanie filtra dolno-przepustowego RC o charakterystyce 18 dB/okt. (będzie to filtr złożony z trzech rezystorów i trzech kondensatorów).

Zamiast prawdziwego filtra psfometry-



**Rys. 4. Schemat stanowiska do pomiaru szumów**

G – generator akustyczny, Rz – rezystor zastępczy, W – badany wzmacniacz, Ro – rezystor obciążający wzmacniacz, Tr – transformator oddzielający (nie we wszystkich przypadkach jest niezbędny), O – oscyloskop, F1 – filtr o charakterystyce psfometrycznej, F2 – filtr środkowoprzepustowy, Ps – psfometr uniwersalny z przełączonymi filtry, V1 i V2 – woltomierze uniwersalne lub elektroniczne, V3 – woltomierz do pomiaru napięcia szumów (o charakterystyce kwadratowej lub specjalny quasi-szczytowy)

cznego, którego budowa wymaga użycia wielu elementów, można zastosować prosty filtr RC przedstawiony na rys. 5. Ma on mniej stromo opadającą charakterystykę w porównaniu z filtrem CCIR (patrz rys. 2), a więc jest mniej korzystny z punktu widzenia liczbowej charakterystyki szumów badanego wzmacniacza. Filtr taki był stosowany kiedyś w laboratoriach firmy Philips przy pomiarach sprzętu elektroakustycznego.

Nadmierny przydźwięk eliminuje się przy pomiarach za pomocą filtru górnoprzepustowego o częstotliwości granicznej 400 Hz.

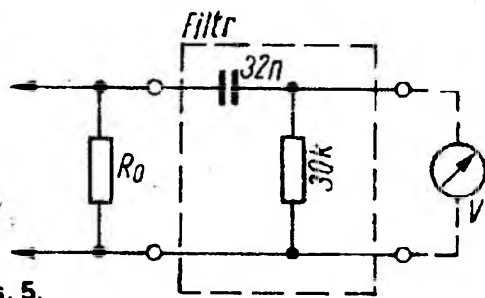
Główne błędy przy pomiarach szumów to: nadmierny udział przydźwięku, zniekształcający wynik pomiarów oraz oscylacje pasożytnicze wzmacniacza lub przedostawanie się do układu składowych wielkiej częstotliwości (modulowane fale nośne silnych radiostacji mogą ulegać, w złośliwych przypadkach, detekcji, a przebiegi sumować się z szumami wzmacniacza).

Do pomiaru szumów używa się woltomierzy lampowych o kwadratowej charakterystyce. Uniwersalne woltomierze prądu zmiennego (o których pisaliśmy przy pomiarach szumu białego) mogą być używane tylko w tych przypadkach, gdy ich impedancja jest wystarczająco duża w porównaniu z rezystancją obciążającą wzmacniacz lub rezystancją wchodzącą w skład filtru (patrz rys. 5).

## POMIARY SZUMÓW MAGNETOFONÓW

Jeżeli potraktujemy magnetofon jako całość, to pomiar szumów ma sens wówczas, gdy obejmie również jedno z głównych źródeł szumu, tj. taśmę magnetyczną. W tym celu należy przeprowadzić „zapis” dostatecznie długiego odcinka stosowanej taśmy magnetofonowej przy wejściu zamkniętym rezystorem o wartości równej rezystancji źródła sygnału oraz regulatorach ustawionych jak do zapisu z danego źródła sygnału. Następnie należy odczytać tak „zapisaną” taśmę, mierząc jednocześnie szumy na wyjściu wzmacniacza (wzmacniacza odczytu, wzmacniacza mocy, itd.).

Wszystkie wielkości charakteryzujące szumy opisane wyżej w odniesieniu do wzmacniacza mogą być stosowane przy pomiarach magnetofonów. Najczęściej mierzy się bezwzględny poziom szumów ważony i oblicza odstęp sygnału od szumów, znając wartość napięcia wyjściowego sygnału przy prawidłowym zapisie taśmy (1000 Hz, 400 Hz lub 333 Hz). Tak przeprowadzony pomiar jest według wymagań technicznych na badanie magnetofonów zbliżony do tzw. „pomiaru szumów poziomu ciszy” bowiem nie obejmuje on szumów modulacyjnych wystę-



Rys. 5. Prosty filtr RC stosowany przy pomiarach sprzętu elektroakustycznego zamiast filtru psfometrycznego

pujących tylko wraz z sygnałem użytecznym. Pomiar poziomu szumu ciszy przeprowadza się najczęściej przy zwartym wejściu wzmacniacza zapisującego.

Szumy (zakłócenia) magnetofonu składają się z: przydźwięku sieci i jego harmonicznych, napięć indukowanych w głowicy odczytującej wskutek niepełnego skasowania poprzednich zapisów na taśmie, szumu taśmy i szumów wzmacniacza zapisującego oraz odczytującego.

Przydźwięk jest zwykle spowodowany oddziaływaniem pól rozproszonych na głowicę odczytującą.

Złe działanie głowicy kasującej może powodować niecałkowite kasowanie poprzednich zapisów, które później ujawniają się w postaci zakłóceń. Najczęstsze przyczyny tej wady, to zbyt mały prąd kasowania i złe przyleganie głowicy do taśmy (zabrudzenie, zużycie głowicy itd.). Szumy taśmy są spowodowane przeważnie jej namagnesowaniem stałym polem magnetycznym. Takie namagnesowanie może być wywoływane: namagnesowaniem się jakiejś części magnetofonu, niesymetrycznym prądem kasowania i podkładu oraz zewnętrznym polem magnetycznym (pole magnesów trwałych lub niekiedy pole magnetyczne ziemskie).

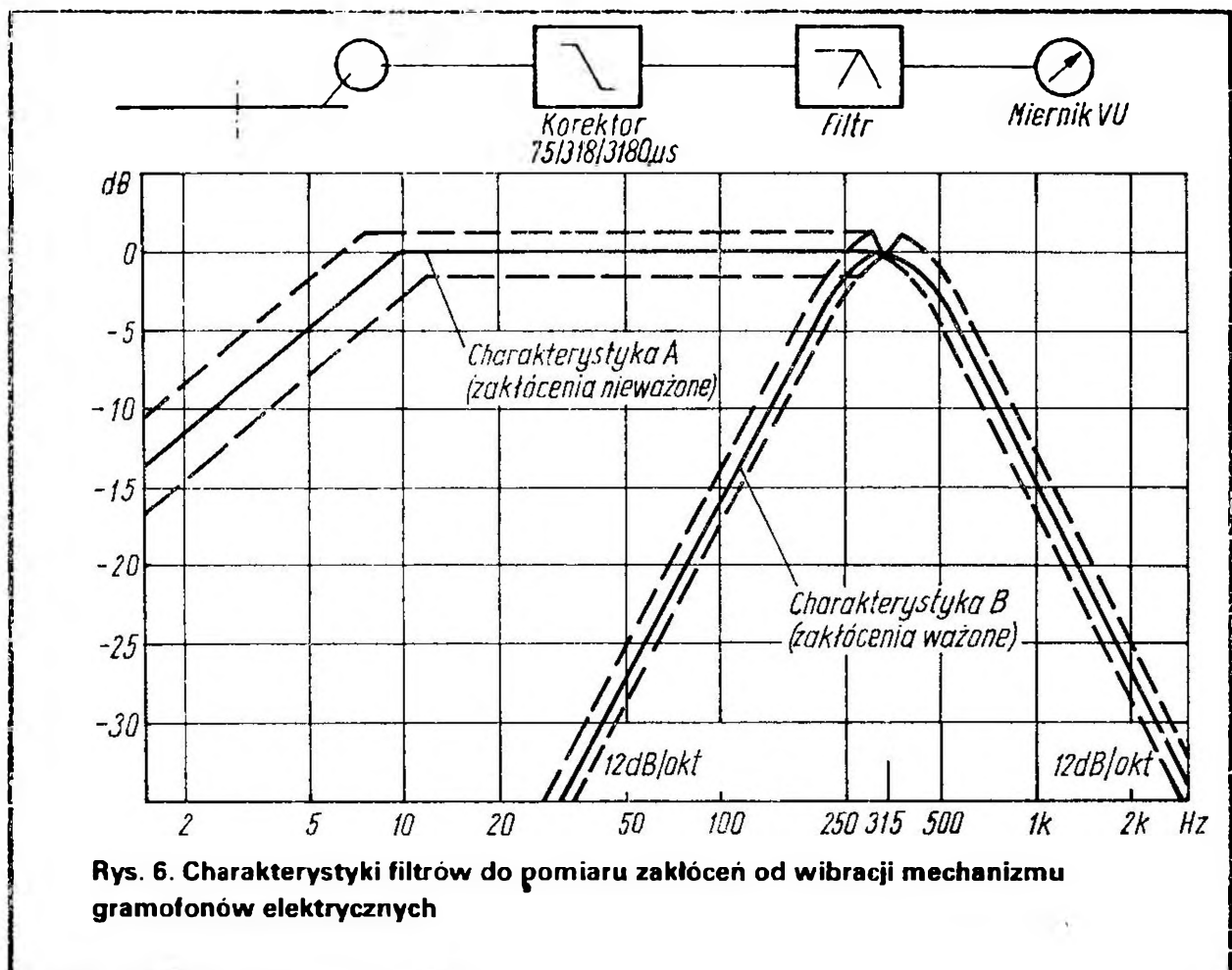
Do wykrywania trwałego magnesowania taśmy służy specjalna taśma, tzw. symetryzująca, która ma warstwę magnetyczną naniesioną w postaci poprzecznych prążków, w odstępach co ułamek centymetra. Taka taśma, jeśli nie jest namagnesowana, nie daje przy odczycie zauważalnych napięć na wyjściu. Natomiast w razie jej magnesowania się pojawia się sygnał zmienny o częstotliwości zależnej od prędkości przesuwu i gęstości rozmieszczenia prążków.

Poza pomiarami szumów całego magnetofonu mogą być przeprowadzane pomiary szumów poszczególnych członów (wzmacniacza zapisującego, wzmacniacza odczytującego, wzmacniacza mocy itd.). Należy w tym przypadku pamiętać o układach korekcyjnych, które stanowią zwykle integralną część wzmacniaczy i układów magnetofonowych.

Przy pomiarach magnetofonów stosuje się szeroko taśmy pomiarowe, które mają odcinki zapisane różnymi częstotliwościami i ustalonym poziomem. Dzięki tym taśmom, o znanych własnościach i parametrach zapisu, można dokonywać ujednoczenia procesu zapisywania i odczytywania przy posługiwaniu się różnymi magnetofonami. Służą one również do określania parametrów magnetofonów i parametrów taśm stosowanych przy eksploatacji magnetofonów.

## POMIARY SZUMÓW W GRAMOFONACH

Jak już wspomniano, nowoczesna płyta będąca w dobrym stanie technicznym (czysta i nie porysowana) wywołuje niewielki szum przy odczytywaniu. Każdy elektronik-amator lub meloman zainteresowany techniką potrafi przeprowadzić odpowiednie przybliżone pomiary szumu



Rys. 6. Charakterystyki filtrów do pomiaru zakłóceń od wibracji mechanizmu gramofonów elektrycznych

swoich płyt, znając szumy wprowadzane przez posiadane wzmacniacze oraz stosując filtr górnoprzepustowy o częstotliwości granicznej około 1 kHz i charakterystyce 18 dB/okt. Filtr ten obetnie zakłócenia pochodzące od napędu, które nazywamy również zakłóceniami od wibracji mechanizmu (niem. Rumpelns). Praca silnika, niewyważenie części obrotowych, nieznaczna mimośrodowość, odkształcenie elementów mechanizmu dają łącznie wibracje, które przenoszą się na wkładkę adapterową i powodują zakłócenia leżące w zakresie od paru herców do około 1 kHz. Najbardziej precyzyjnie metody pomiarowe tych zakłóceń są ujęte w normach DIN. Normy te (przyjęte także przez IEC jako zalecenie międzynarodowe) przewidują zastosowanie dwóch rodzajów filtrów o charakterystykach przedstawionych na rys. 6, na którym to rysunku przedstawiony jest także układ pomiarowy.

Charakterystyka *A* zakłóceń nieważonych (DIN A-Rumpel-Fremdspannung) obejmuje częstotliwości od zera do około 2 kHz z tym, że płaska część charakterystyki rozciąga się od 10 do 315 Hz, a zbocza opadają 12 dB/okt. Charakterystyka *B* zakłóceń od wibracji mechanizmu ważonych (DIN B-Rumpel-Geräuschspannung) ma maksimum przy 315 Hz i zbocza 12 dB/okt. Charakterystykę *B* można nazwać „psofometryczną” w odniesieniu do zakłóceń od wibracji, bowiem eliminuje

ona zakłócenia o najmniejszych częstotliwościach, słabo słyszalne bądź osłabiane silnie przez wzmacniacze i zespoły głośnikowe.

Odstęp sygnału użytecznego od zakłóceń powodowanych przez napęd i układ mechaniczny wynosi, w przypadku najlepszych gramofonów, 70 dB przy zastosowaniu filtru *B* oraz 50 dB przy zastosowaniu filtru *A*. W dobrych gramofonach popularnych wartości te wynoszą odpowiednio 60 dB i 40 dB.

Wielką pomocą przy pomiarach adapterów i całego toru odtwarzającego są płyty pomiarowe, które umożliwiają zbadanie charakterystyki częstotliwościowej całego toru i prawidłowe ustawienie poziomów napięcia oraz ewentualnie wprowadzenie korekcji charakterystyki odtwarzania. Dysponując płytą pomiarową dobrej marki (Brüel-Kjaer, EMT, Philips), można przeprowadzać pomiary porównawcze szumów posiadanych płyt i szumów płyty pomiarowej. Jako wzorzec szumu może służyć zwykła mało używana płyta dobrej marki, którą przeznaczony się tylko do tego celu.

Wiadomo, że polepszenie jakości odtwarzania płyt, w tym i zmniejszenie szumów uzyskuje się przy odtwarzaniu płyty zwilżonej. Zagranicą są produkowane płyty przeznaczone specjalnie do tego celu, ułatwiające jednocześnie utrzymanie płyty w wysokiej czystości.

Na zakończenie kilka informacji o starych płytach 78 obr/min. Niosą one w sobie silne zakłócenia od mechanizmu obracającego płytę przy jej nacinaniu (oryginał), natomiast brak jest sygnałów użytecznych poniżej 125 Hz. Należy więc stosować przy ich odtwarzaniu filtr obcinający najmniejsze częstotliwości (mniejsze od 100...130 Hz). W zakresie wielkich częstotliwości obserwuje się spadek poziomu sygnału powyżej 3,5 kHz, silne jego opadanie powyżej 4,5 kHz, a przy 5 kHz występują tylko szumy. Zaleca się więc zastosowanie przełączanego filtru dolnoprzepustowego o bardzo stromym zboczu (30...36 dB/okt) o częstotliwościach granicznych 3,5 kHz, 4,5 kHz i 6,3 kHz. Za pomocą korektora graficznego należy uwypuklić natomiast pasmo małych częstotliwości w pobliżu 250 Hz i pasmo w.cz. o częstotliwości środkowej 3 kHz. A.W.

#### L I T E R A T U R A

1. Krastel O.: Störpegelmessung und Störpegelnormung. Funkschau 16/1981.
2. Libura B.: Taśmy magnetyczne. WKł 1974
3. Miszczak S.: Urządzenia elektroakustyczne WKł 1963
4. Ott H.W.: Metody redukcji zakłóceń i szumów w układach elektronicznych. WNT 1979
5. R. van Rijn: Spezial-Entzerrer für Schellackplatten. Funkschau 19/1980
6. Sereda J.: Pomiary w elektroakustyce. WKł 1981
7. Urbański B.: Technika zapisywania i odczytywania dźwięków. WKł 1977