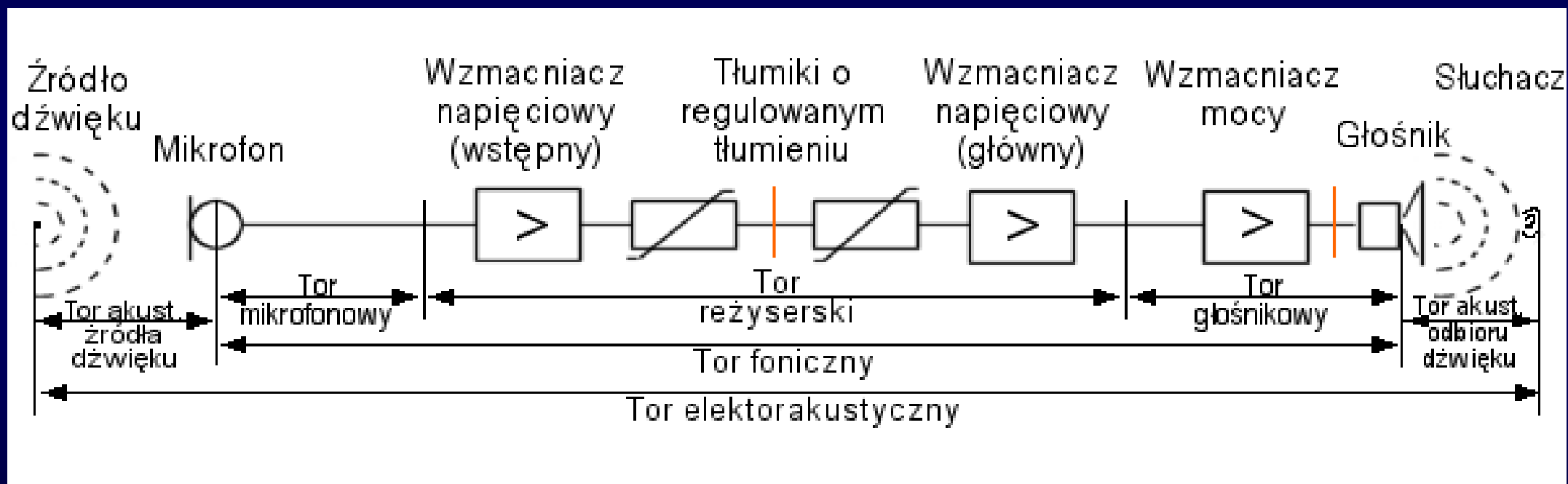


Pomiary w technice studyjnej

POMIARY TORU FONICZNEGO

Tor foniczny

Tor foniczny – część toru elektroakustycznego, przenosząca sygnał elektryczny.



Czerwona linia oznacza możliwość rozcięcia toru.

Parametry toru fonicznego

Jakość toru fonicznego określa się na podstawie **pomiarów** jego **parametrów** – najważniejsze z nich to:

- charakterystyka częstotliwościowa,
- zniekształcenia nieliniowe,
- poziom szumów i zakłóceń,
- przesłuch i separacja,
- moc wyjściowa,
- przesunięcie fazowe.

W **cyfrowym** torze fonicznym istotne są również inne parametry, np. zniekształcenia konwerterów, stopa błędu.

Charakterystyka częstotliwościowa

Charakterystyka częstotliwościowa (*frequency response*): opisuje zdolność urządzenia do przenoszenia sygnału szerokopasmowego bez jego zniekształcania.

Używa się też (rzadko) terminu „zniekształcenia liniowe”.

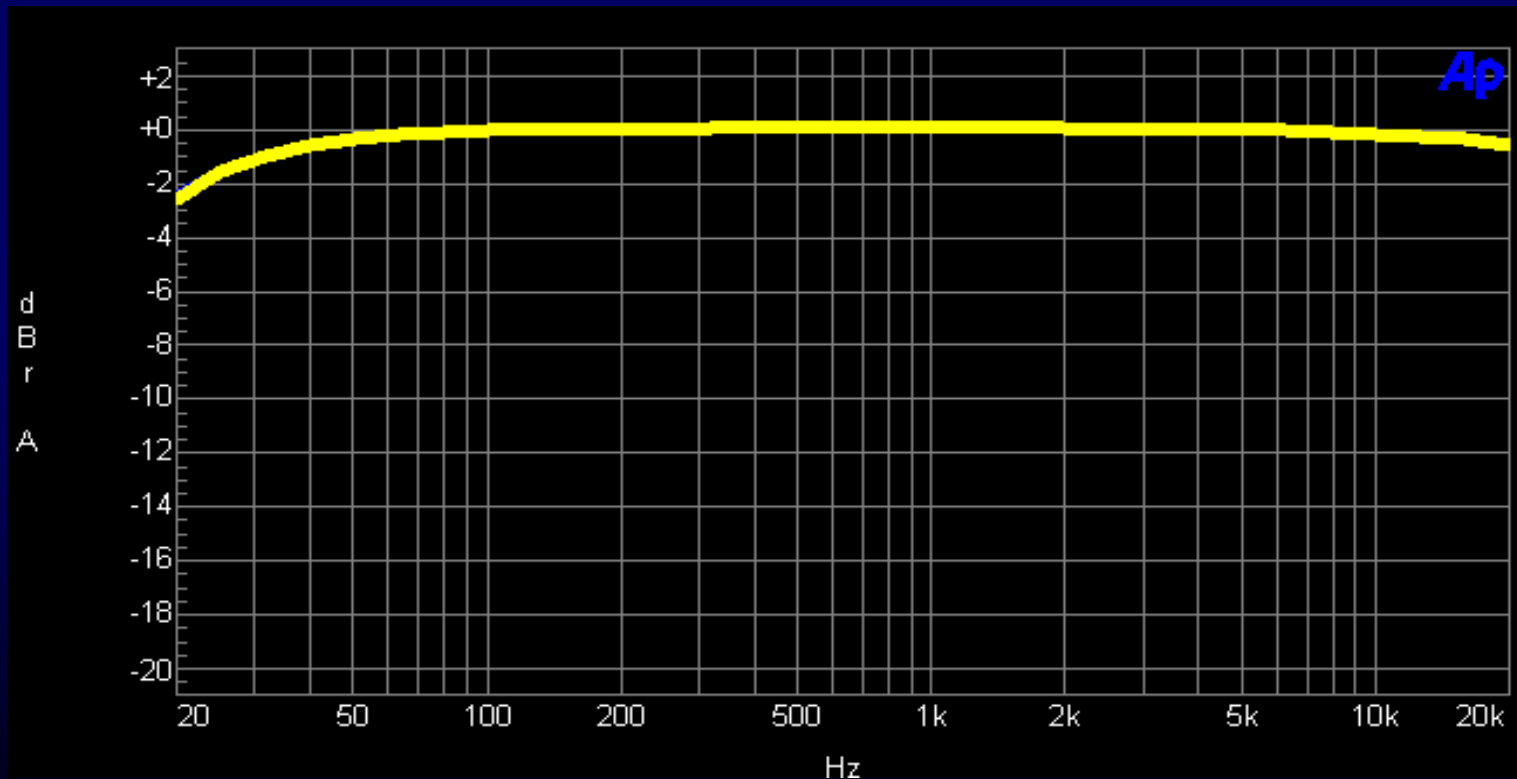
Z pomiarem char. częstotliwościowej związany jest pomiar pasma (zakresu) przenoszenia (*bandwidth*) urządzenia.

Zakres przenoszenia: zakres częstotliwości, w którym poziom sygnału nie różni się od poziomu zmierzonego dla cz. odniesienia (typowo **1 kHz**) o więcej niż założoną wartość (typowo o **3 dB**).

Częstotliwości graniczne (dolna i górna) – ograniczają zakres przenoszenia.

Wykres charakterystyki częstotliwościowej

Wyniki pomiaru char. częstotliwościowej przedstawia się w formie wykresu „częstotliwość – poziom”. Często poziom wyraża się w jednostkach względnych (dBr) w stosunku do poziomu zmierzonego dla 1 kHz.



Char. częstotliwościowa – interpretacja wyników

Interpretacja wyników pomiaru charakterystyki częstotliwościowej zależy od rodzaju badanego urządzenia.

- Urządzenia, które z założenia modyfikują widmo sygnału (filtry, korektory graficzne):
zgodność z założoną charakterystyką (częstotliwości graniczne, nachylenie zbocza charakterystyki, itp.).
- Inne urządzenia (np. wzmacniacze, karty dźwiękowe):
charakterystyka płaska w zakresie częstotliwości akustycznych (20 Hz – 20 kHz), z dopuszczalną odchyłką 3 dB na krańcach tego zakresu.

Pomiar char. częstotl. – sygnał sinusoidalny

Pomiar charakterystyki częstotliwościowej – metoda 1.

Wykorzystuje się sygnał sinusoidalny:

- generator wytwarza sygnał sinusoidalny o określonej częstotliwości,
- sygnał ten jest przetwarzany przez badane urządzenie
- analizator powinien odfiltrować mierzony sygnał przy pomocy filtru wąskopasmowego o częstotliwości środkowej odpowiadającej częstotliwości generatora (usuwanie zniekształceń),
- pomiar napięcia sygnału, przeliczenie na wartość poziomu w decybelach

Przestrzajanie generatora i analizatora

Przy pomiarach charakterystyki częstotliwościowej, przestrzajanie częstotliwości sygnału z generatora oraz częstotliwości środkowej filtru w analizatorze może odbywać się:

- ręcznie (sterowanie przez operatora) – długi czas pomiaru,
- automatycznie (sterowanie przez system pomiarowy)
 - użycie generatora przestrzajanego (*sweep generator*), np. w Systemie TWO; skrócenie czasu pomiaru i zwiększenie dokładności.

Pomiar char. częstotl. – szum

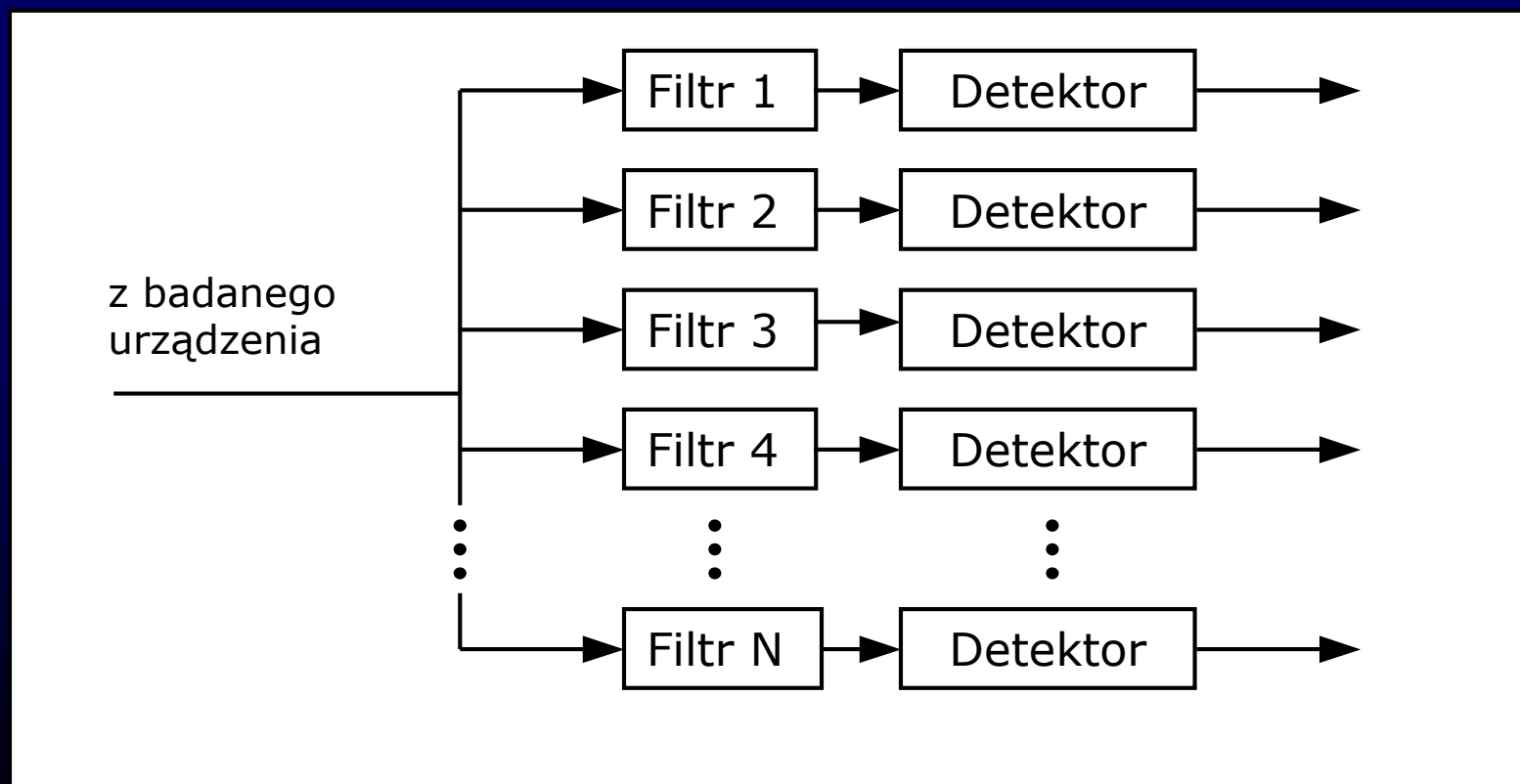
Pomiar charakterystyki częstotliwościowej – metoda 2.

Jako sygnał testowy wykorzystuje się szum:

- generator wytwarza szum o określonej charakterystyce widmowej,
- sygnał testowy jest przetwarzany przez badane urządzenie,
- w analizatorze sygnał jest analizowany jednocześnie przez układ filtrów wąskopasmowych o różnych częstotliwościach środkowych,
- w każdym paśmie mierzona jest energia szumu, na jej podstawie obliczany jest uśredniony poziom sygnału.

Pomiar char. częstotl. za pomocą szumu

Układ dokonujący analizy szumu za pomocą systemu filtrów nazywa się **analizatorem czasu rzeczywistego** (RTA – *Real-Time Analyzer*), ponieważ pomiar jest dokonywany jednocześnie w całym zakresie częstotliwości, co daje skrócenie czasu pomiaru.



Filtry pomiarowe

Parametry filtru pomiarowego:

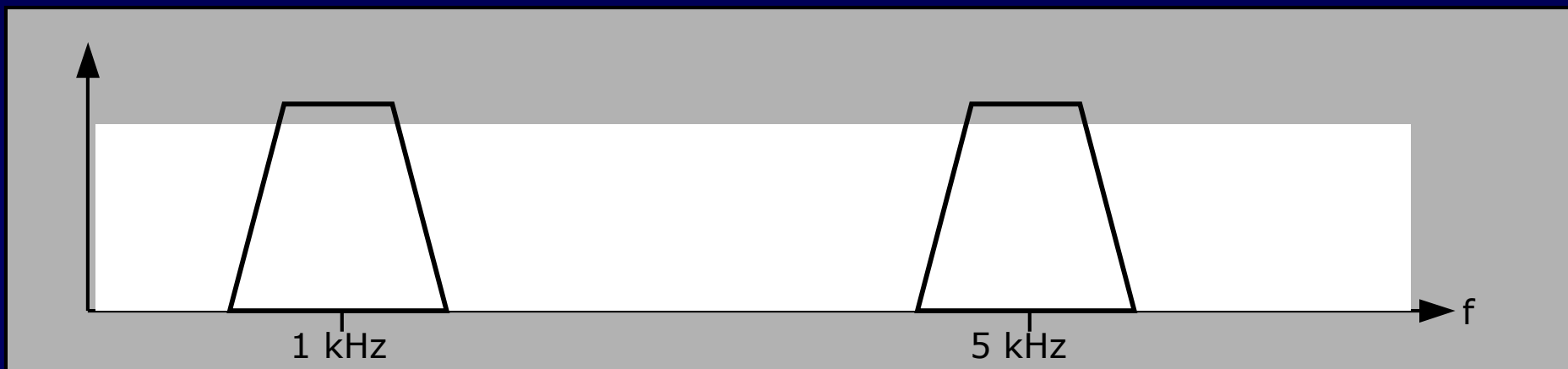
- częstotliwość środkowa f_c
- częstotliwości graniczne – dolna f_d i górna f_g , wyznaczają 3-dB pasmo przenoszenia filtru
- szerokość pasma: $B = f_g - f_d$
- dobroć: $Q = f_c / B$

Stosuje się filtry pomiarowe:

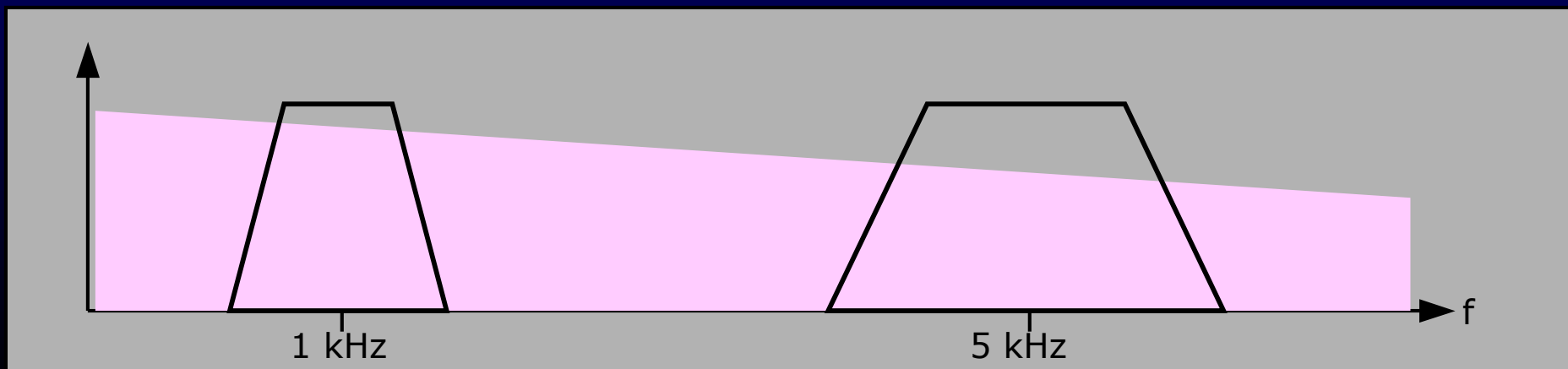
- o stałej szerokości pasma B (zmienna dobroć)
- o stałej dobroci Q (szerokość pasma zwiększa się ze wzrostem częstotliwości środkowej) – częściej używane

Szum jako sygnał testowy

W analizatorach zawierających filtry o stałej szerokości pasma należy stosować szum biały.



W analizatorach zawierających filtry o stałej dobroci należy stosować szum różowy.



Filtry oktawowe i tercjowe

W analizatorach czasu rzeczywistego, zawierających system filtrów pasmowych pokrywających zakres częstotliwości akustycznych, stosuje się najczęściej filtry o stałej dobroci.

Dwa najczęściej stosowane typy filtrów o stałej dobroci:

- oktawowe (*octave filter*)
 - $f_g / f_d = 2$
 - $f_{c\ n} / f_{c\ (n-1)} = 2$
- tercjowe (*1/3 octave filter*)
 - $f_g / f_d = 2^{1/3}$
 - $f_{c\ n} / f_{c\ (n-1)} = 2^{1/3}$

Jeden filtr oktawowy pokrywa pasma trzech filtrów tercjowych.

Filtry oktawowe i tercjowe

Częstotliwości środkowe filtrów o stałej dobroci, według norm ANSI-ISO (pasmo akustyczne):

- dla filtrów oktawowych (11) – kolor **żółty**
- dla filtrów tercjowych (33) – kolor **żółty** i biały

	25 Hz	250 Hz	2,5 kHz
	31,5 Hz	315 Hz	3,15 kHz
	40 Hz	400 Hz	4 kHz
	50 Hz	500 Hz	5 kHz
	63 Hz	630 Hz	6,3 kHz
	80 Hz	800 Hz	8 kHz
... ..	100 Hz	1 kHz	10 kHz
12,5 Hz	125 Hz	1,25 kHz	12,5 kHz
16 Hz	160 Hz	1,6 kHz	16 kHz
20 Hz	200 Hz	2 kHz	20 kHz

Zalecenia pomiarowe

Przy pomiarach charakterystyki częstotliwościowej z użyciem **szumu** jako sygnału testowego zaleca się stosować:

- filtry o stałej dobroci (względy „tradycyjalne” – w analizatorach analogowych stosowano takie filtry),
- szum różowy (jego charakterystyka widmowa jest bardziej zbliżona do widma mowy i muzyki niż charakterystyka widmowa szumu białego).

Przy pomiarach z użyciem **sygnału sinusoidalnego**
– zaleca się dokonywać pomiarów przy użyciu sygnałów o częstotliwościach zgodnych z cz. środkowymi filtrów tercjowych (lub oktawowych).

Pomiar przy pomocy szumu

- Szybszy pomiar całego pasma akustycznego
- Równoczesny pomiar całego pasma w takich samych warunkach (ważne np. przy analizie hałasu)
- Rozdzielczość częstotliwościowa wyznaczona przez stosowane filtry (mała w przypadku filtrów oktaowych)
- Dokładność pomiaru przy użyciu szumów i przy użyciu sinusa jest zwykle zbliżona
- Wymagany jest szum o stabilnej energii w danym paśmie częstotliwości
- Znacznie większa złożoność systemu analizy w przypadku pomiarów za pomocą szumu (wiele równoległych filtrów i detektorów), a więc i większy koszt

Charakterystyka cz. – interpretacja

Wyniki pomiaru charakterystyki częstotliwościowej przedstawia się w postaci wykresu oraz w postaci liczbowej (najczęściej jako zakres przenoszenia).

Przykład nieprawidłowej specyfikacji:

- Zakres przenoszenia: 30 Hz do 20 kHz

Nie podano maksymalnej odchyłki poziomemu.

Przykład prawidłowej specyfikacji:

- Zakres przenoszenia: 30 Hz do 20 kHz, +0 dB, -3 dB

W przypadku wzmacniaczy należy podać dodatkowo poziom mocy (domyślnie 1 mW) oraz obciążenie (8Ω)

Pomiar przesunięcia fazowego

Pomiaru przesunięcia fazowego (*relative phase*) – pomiar różnicy fazy pomiędzy dwoma sygnałami, np.:

- sygnałem z generatora i sygnałem przetworzonym przez badane urządzenie (pomiar zniekształceń fazowych urządzenia) – *in-out phase shift*,
- sygnałami w dwóch kanałach toru stereofonicznego – *stereo phase shift*.

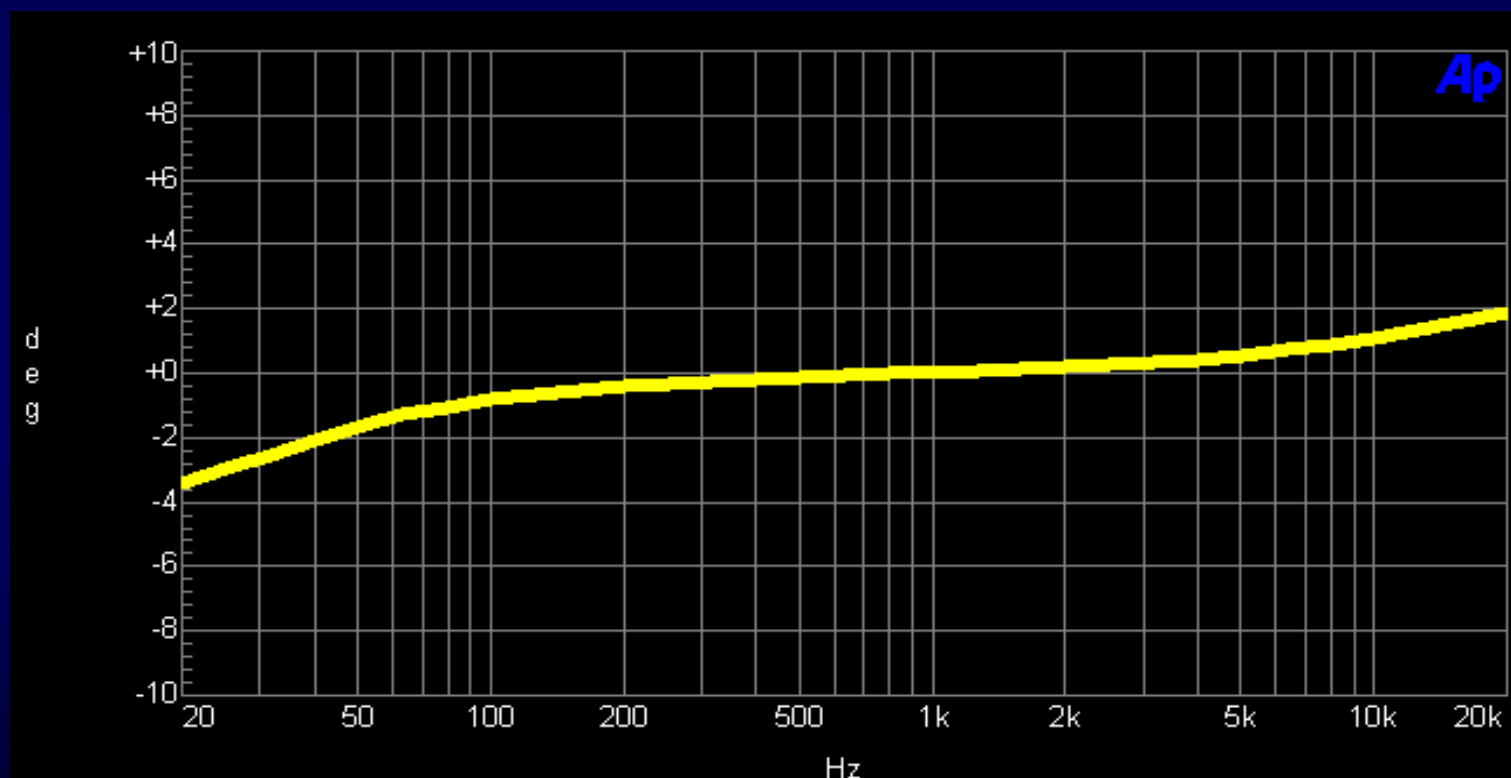
Zwykle wymaga się, aby:

- przesunięcie fazowe było równe zero stopni,
- było ono jednakowe dla wszystkich częstotliwości.

Test pomaga również wykryć sytuację, w której dwa kanały są w przeciwfazie (różnica ok. 180 stopni).

Wykres przesunięcia fazowego

Wynik pomiaru przesunięcia fazowego między kanałami stereofonicznymi, względem wartości zmierzonej dla 1 kHz



Urządzenia liniowe i nieliniowe

Jeżeli na wejście **idealnego układu liniowego** zostanie podany sygnał sinusoidalny o danej częstotliwości, to na wyjściu układu pojawi się również sygnał sinusoidalny, o takiej samej częstotliwości.

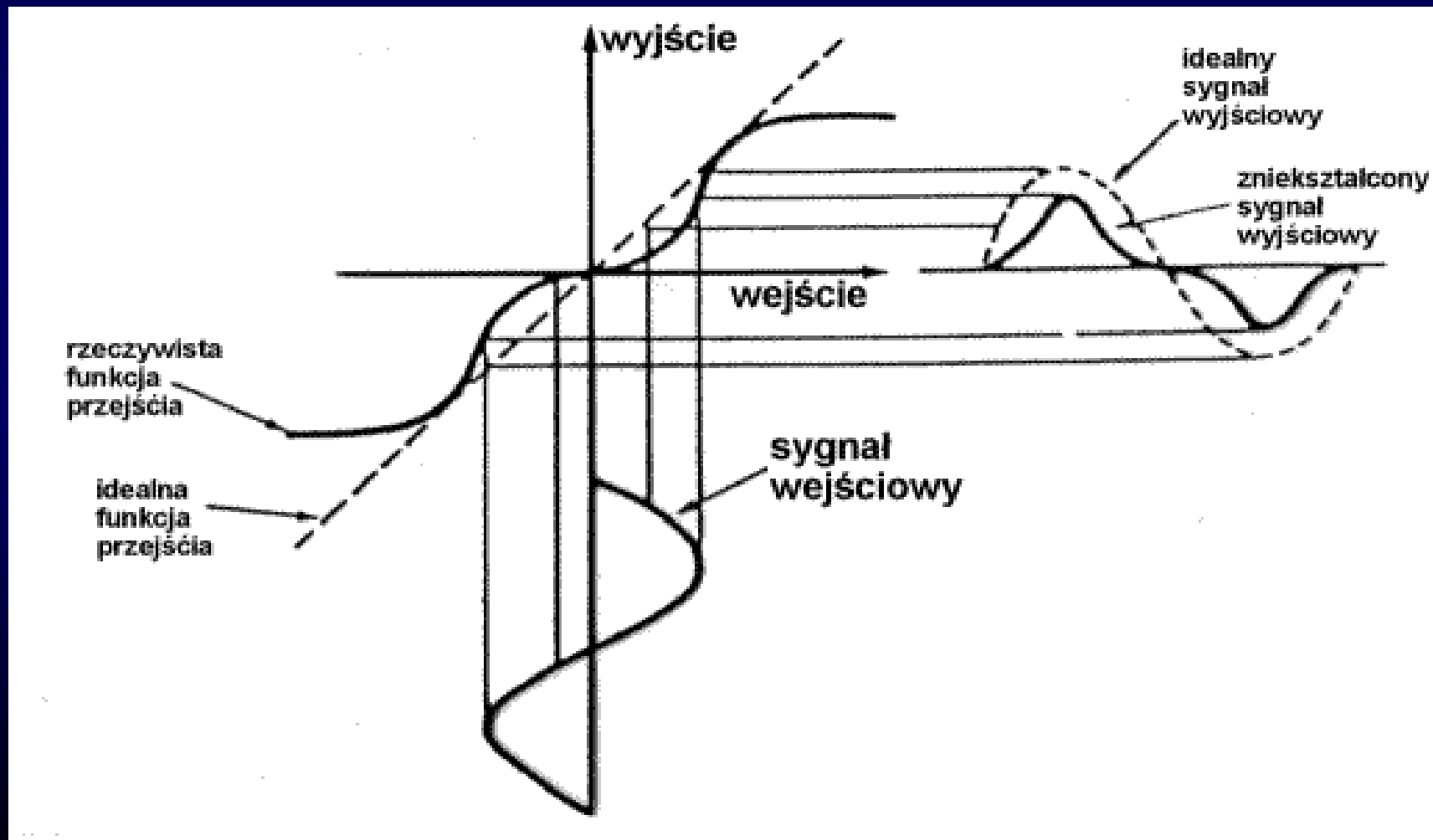
Układ liniowy nie generuje w odpowiedzi na sygnał wejściowy innych składowych widma, niż te, które zawarte były w widmie sygnału wejściowego.

Pojawienie się w widmie sygnału wyjściowego nowych składowych świadczy o **nieliniowości** urządzenia.

Wartości amplitud nowo powstałych składowych widma są miarą nieliniowości badanego układu, czyli można określić **zniekształcenia nieliniowe** wprowadzane do sygnału wejściowego.

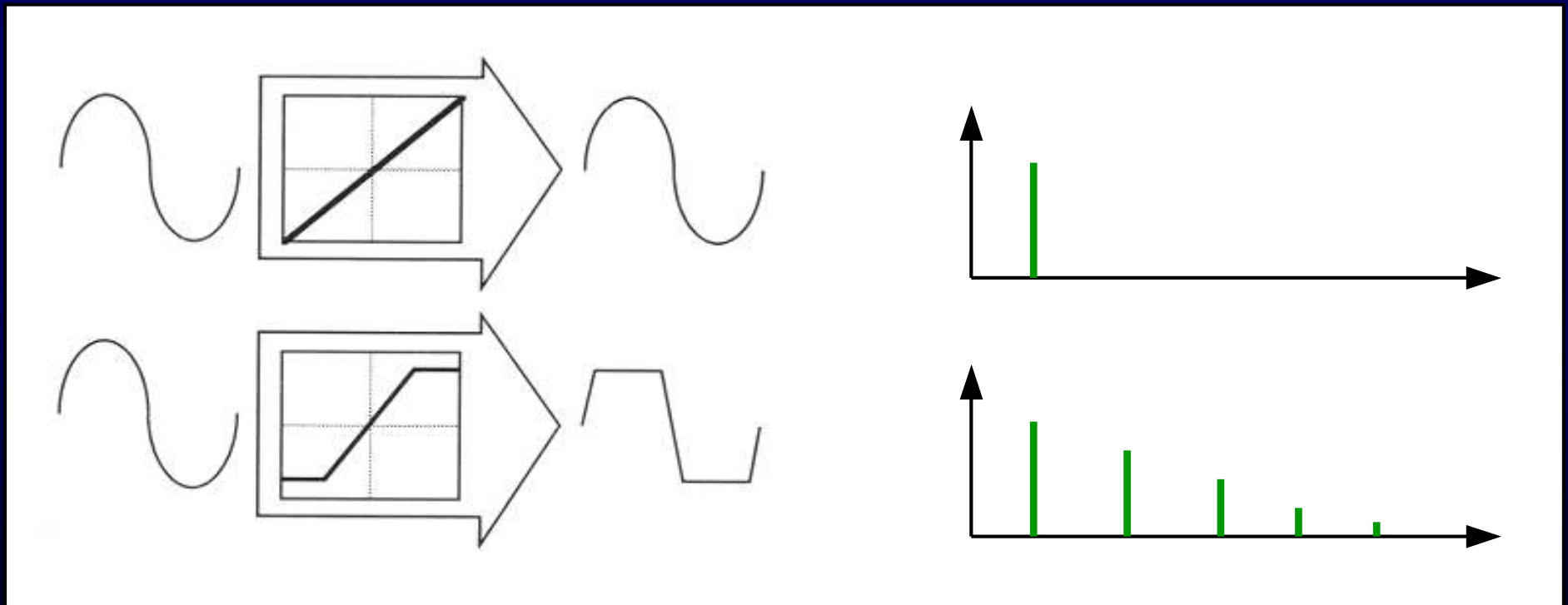
Przykład zniekształceń nieliniowych

Zniekształcenia sygnału wprowadzane przez układ o charakterystyce nieliniowej:



Przykład zniekształceń nieliniowych

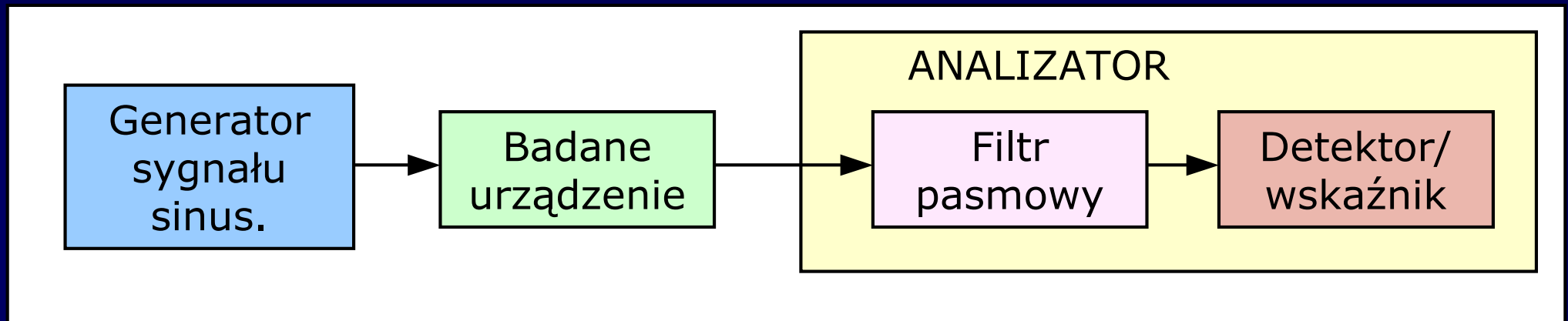
Zniekształcenie sinusa przez układ, w którego charakterystyce przenoszenia występują zakresy nasycenia – „przesterowanie” sygnału wyjściowego przy zbyt dużym poziomie wejściowym



Pomiary nieliniowości urządzenia

Chcemy ocenić, czy urządzenie jest liniowe.

Układ pomiarowy:



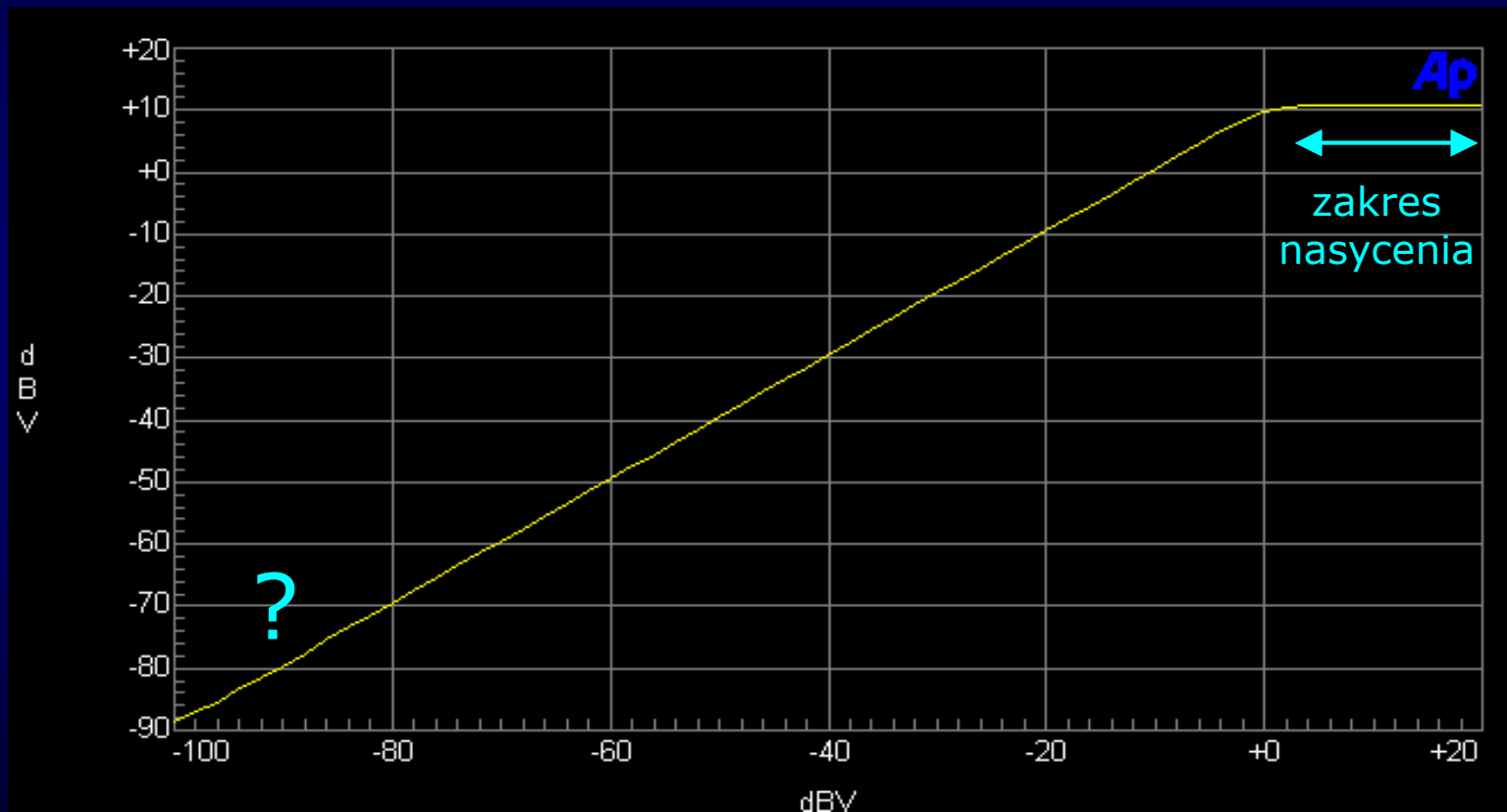
Częstotliwość – zwykle 1 kHz

Poziom sygnału zmieniany w szerokim zakresie,
np. od -100 dB do $+20$ dB (uwaga na poziom maksymalny, nie zniszczyć urządzenia!)

Pomiar tego typu nazywa się często *Input-Output Linearity*

Pomiary nieliniowości urządzenia

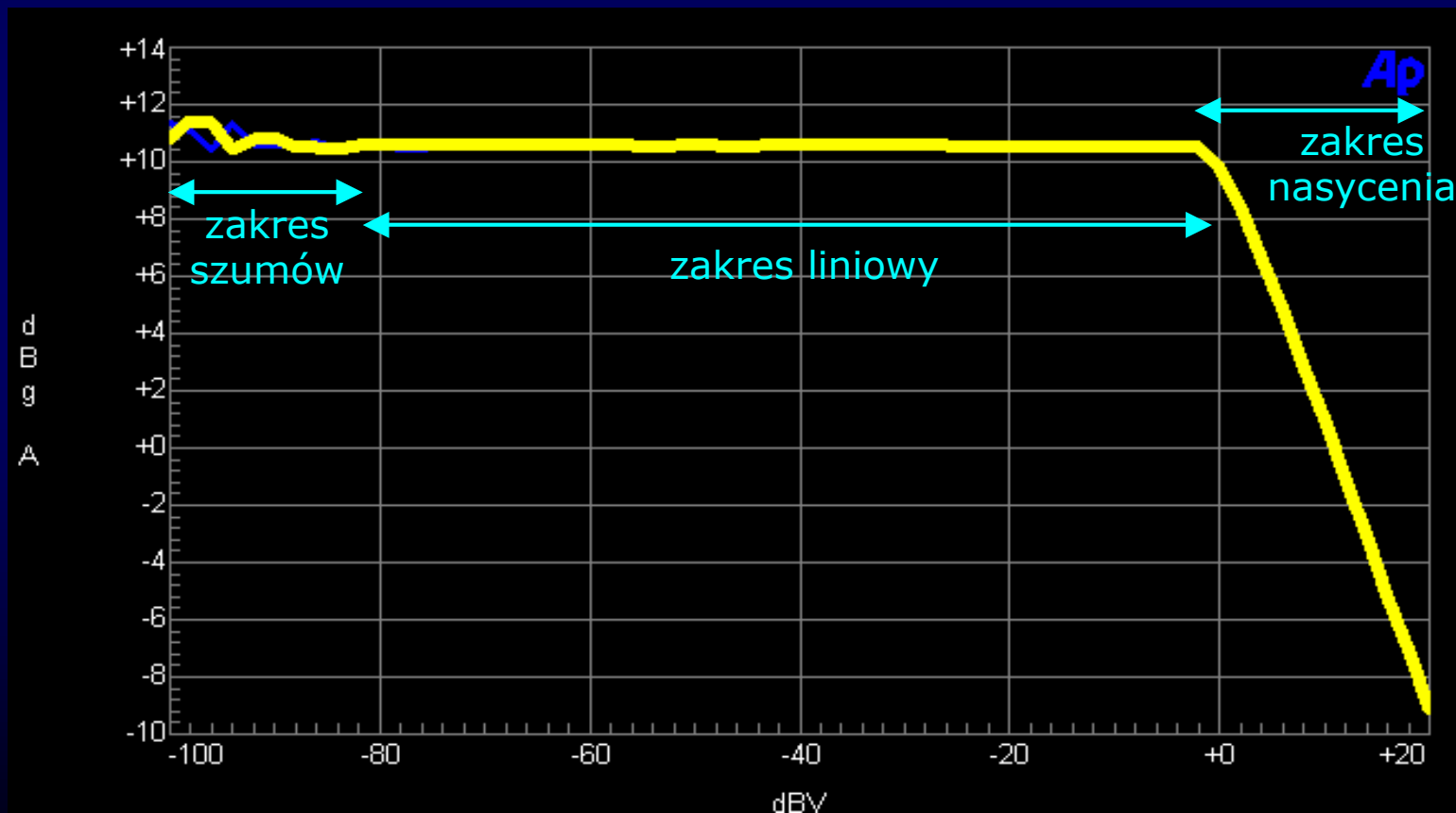
Wynik pomiaru nieliniowości: poziom sygnału wyjściowego w funkcji poziomu sygnału wejściowego



Z wykresu tego typu trudno dokładnie określić w jakich zakresach poziomów układ jest liniowy.

Pomiary nieliniowości urządzenia

Inna forma wykresu: różnica między poziomem wyjściowym a wejściowym, w funkcji poziomu wejściowego (dBg = dBr w odniesieniu do poziomu na generatorze)



Pomiary zniekształceń harmonicznych

Miarą zniekształceń nieliniowych są współczynniki zniekształceń harmonicznych.

Są one obliczane na podstawie pomiaru amplitudy składowych widma, które są wytwarzane przez urządzenie o charakterystyce nieliniowej.

Przebieg pomiaru zniekształceń harmonicznych:

- generator wytwarza sygnał sinusoidalny,
- urządzenie nieliniowe wprowadza do sygnału składowe harmoniczne,
- każda z dodanych składowych jest kolejno „wycinana” za pomocą filtru, mierzona jest jej amplituda,
- współczynnik zniekształceń harmonicznych jest obliczany na podstawie definicji.

Współczynnik zniekształceń harmoniczych

Współczynnik zniekształceń harmoniczych – THD (*Total Harmonic Distortion*)

Z definicji: stosunek energii harmoniczych wytworzonych przez urządzenie nieliniowe do energii wszystkich harmoniczych (łącznie z podstawową).

$$k_n = \sqrt{\frac{U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + \dots + U_n^2}{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2}} \cdot 100\%$$

U_m – amplituda m -tego prążka widmowego

Należy podać liczbę n prążków (np. THD do 5 harmoniczej).

Współczynnik zawartości harmonicznych

W praktyce można zastosować wzór przybliżony:

$$k_n = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + \dots + U_n^2}}{U_1} \cdot 100\%$$

Obliczenie stosunku energii harmonicznych wytworzonych przez urządzenie nieliniowe do energii składowej podstawowej.

Ten parametr nazywa się czasem **współczynnikiem zawartości harmonicznych**.

Dla wartości <20% obie metody dają zwykle zbliżone wyniki.

Współczynnik zawartości harmonicznych

Można obliczyć współczynnik zawartości i-tej harmonicznej – wpływ danej harmonicznej na całkowitą wartość THD:

$$k_i = \frac{U_i}{\sqrt{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2}} \cdot 100\%$$

Zwykle oblicza się ten współczynnik dla drugiej i trzeciej harmonicznej.

Czasami pozwala to wykryć źródło zniekształceń, np. tylko nieparzyste harmoniczne: funkcja przenoszenia jest symetryczna względem zera, powód: np. symetryczne obcinanie wysokich poziomów.

Przeliczanie wartości THD

Współczynnik THD można wyrażać w procentach lub w decybelach.

Przeliczanie z procentów na decybele (1% \equiv 40 dB):

$$\text{THD[dB]} = 20 \log \frac{\text{THD}[\%]}{100}$$

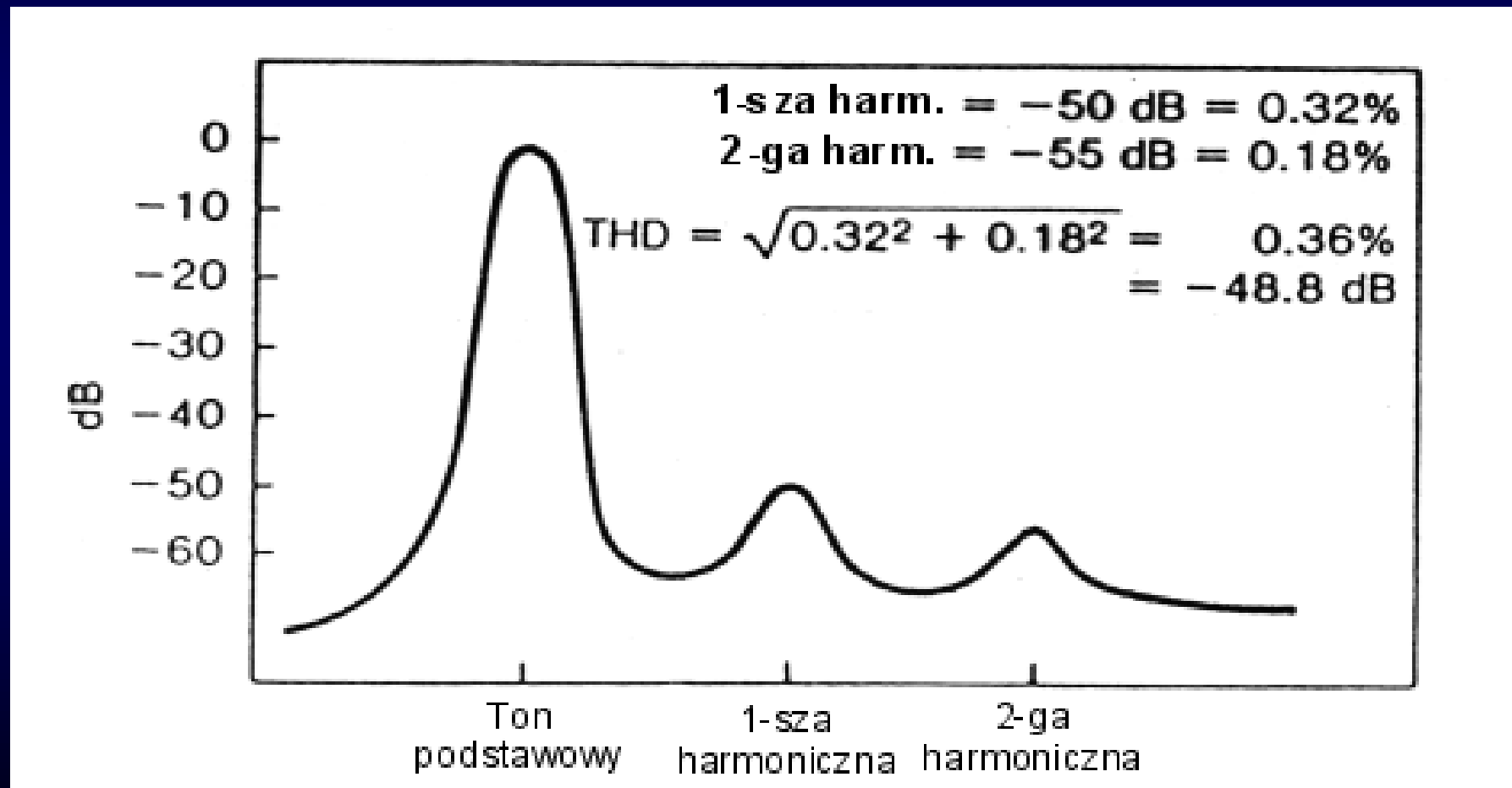
Przeliczanie z decybeli na procenty:

$$\text{THD}[\%] = 100 \cdot 10^{\frac{\text{THD[dB]}}{20}}$$

Przeliczając moc należy zamienić 20 na 10.

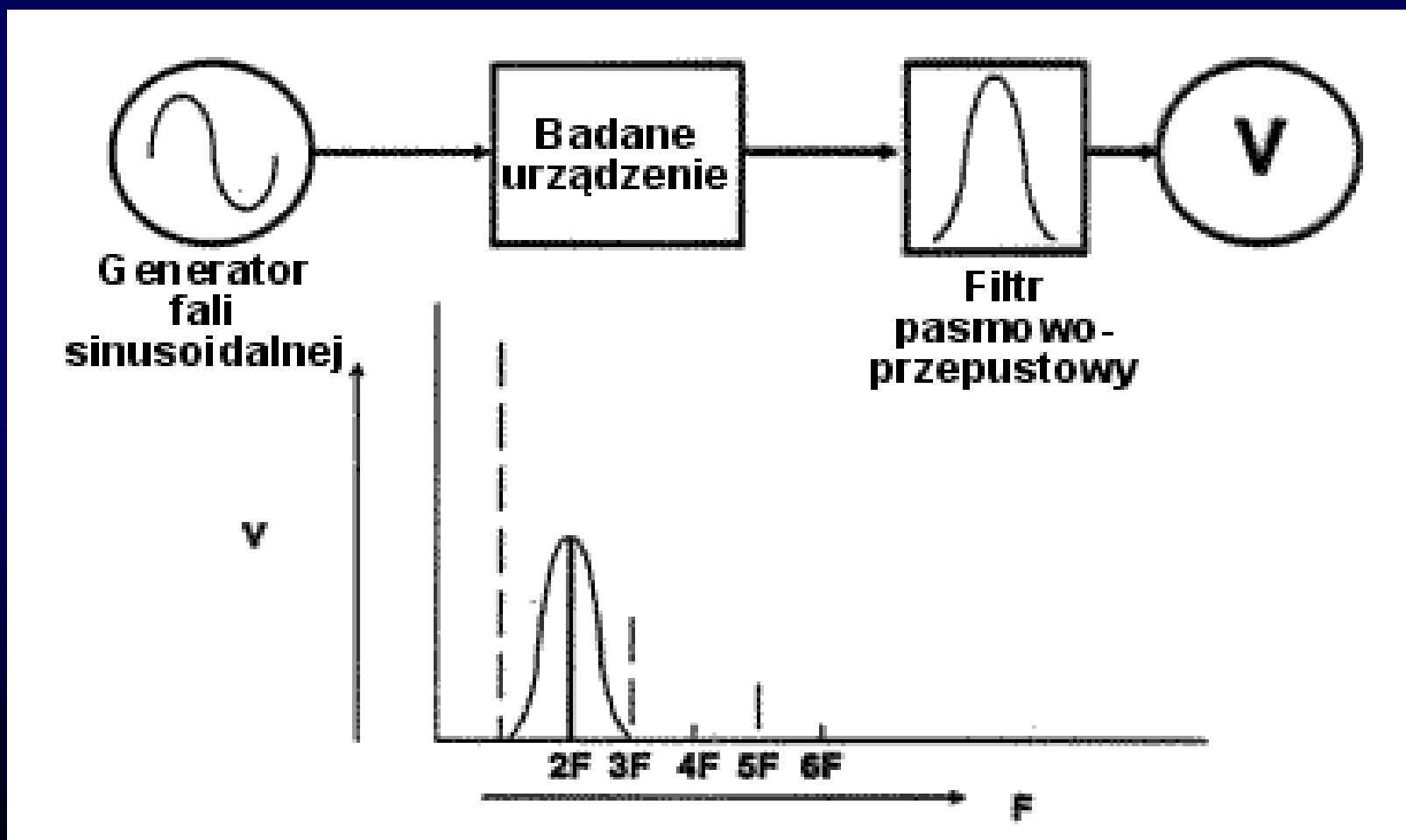
Przeliczenie wartości THD

Przykład obliczeń THD dla dwóch harmonicznych



Metoda pomiaru THD

Układ do pomiaru wartości THD:
filtr PP jest przestrajanany



Metoda pomiaru THD

Pomiar wartości THD jest kłopotliwy, wymaga:

- zmierzenia amplitudy składowej podstawowej oraz kolejnych harmoniczných, przy użyciu wąskopasmowego filtru,
- filtr musi być przestrajaný i precyzyjnie dostrajany,
- obliczenie wartości THD – w sposób matematyczny.

Z tego wynika:

- skomplikowana budowa przyrządu pomiarowego,
- długi czas pomiaru.

Współczynnik THD+N

Uproszczona metoda pomiaru współczynnika zniekształceń harmoniczných:

- filtr pasmowo-zaporowy o wąskim paśmie (*notch*) dostraja się do częstotliwości podstawowej, usuwając ją z sygnału,
- mierzy się poziom sygnału po odfiltrowaniu,
- oblicza się współczynnik zniekształceń harmoniczných jako stosunek sygnału z usuniętą składową podstawową do sygnału nie przefiltrowanego.

Współczynnik THD+N

Współczynnik zmierzony tą metodą uwzględnia nie tylko składowe widma wprowadzone przez urządzenie nieliniowe, ale również:

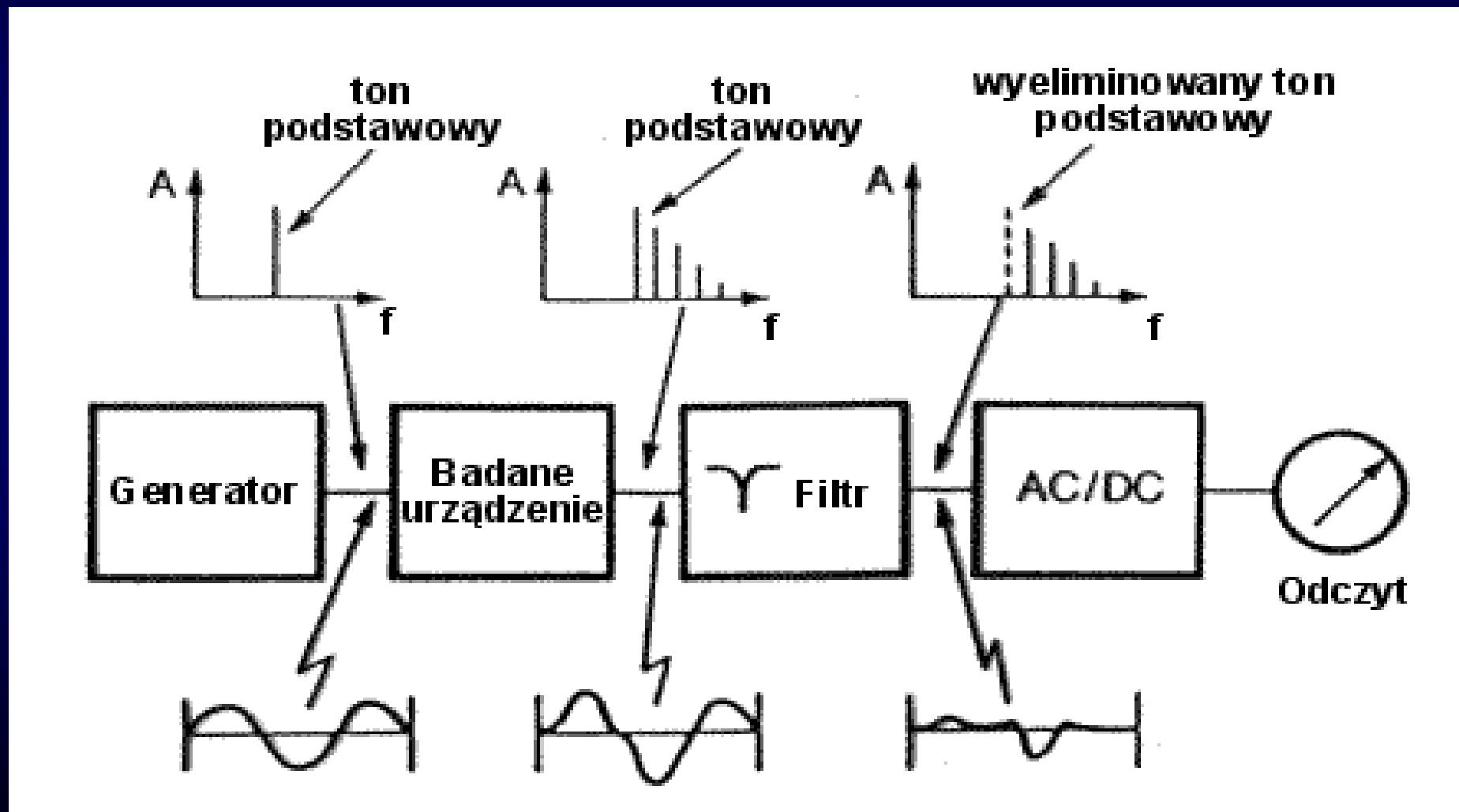
- szum,
- składowe widma związane np. z zakłóceniami sieciowymi (*hum*).

Z tego względu współczynnik ten określa się mianem *Total Harmonic Distortion and Noise* (THD+N).

Pomiar THD+N jest znacznie szybszy i prostszy niż pomiar „czystego” THD. Pomiar współczynnika zniekształceń harmonicznym prawie zawsze dotyczy THD+N.

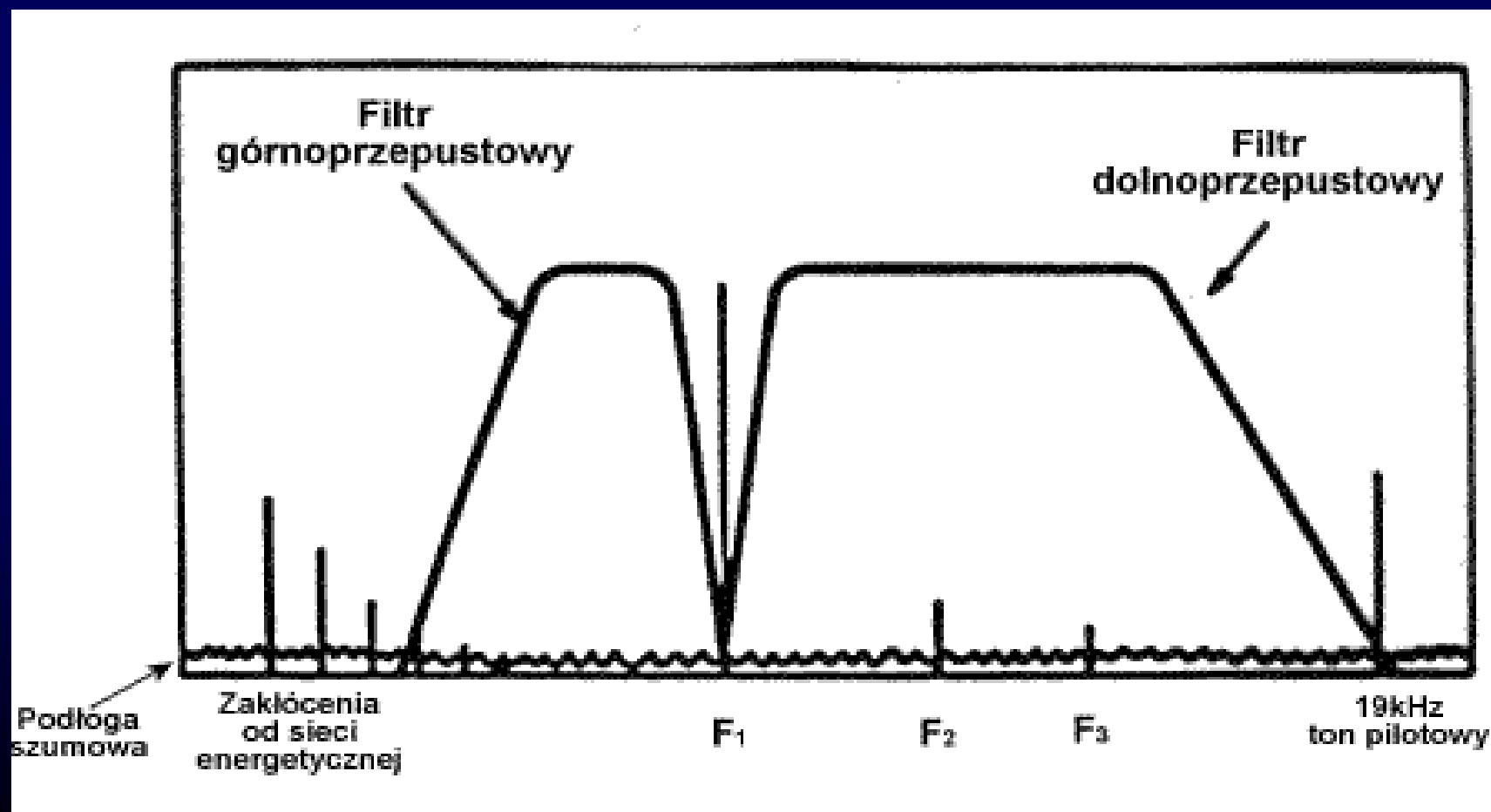
Metoda pomiaru THD+N

Układ do pomiaru THD+N



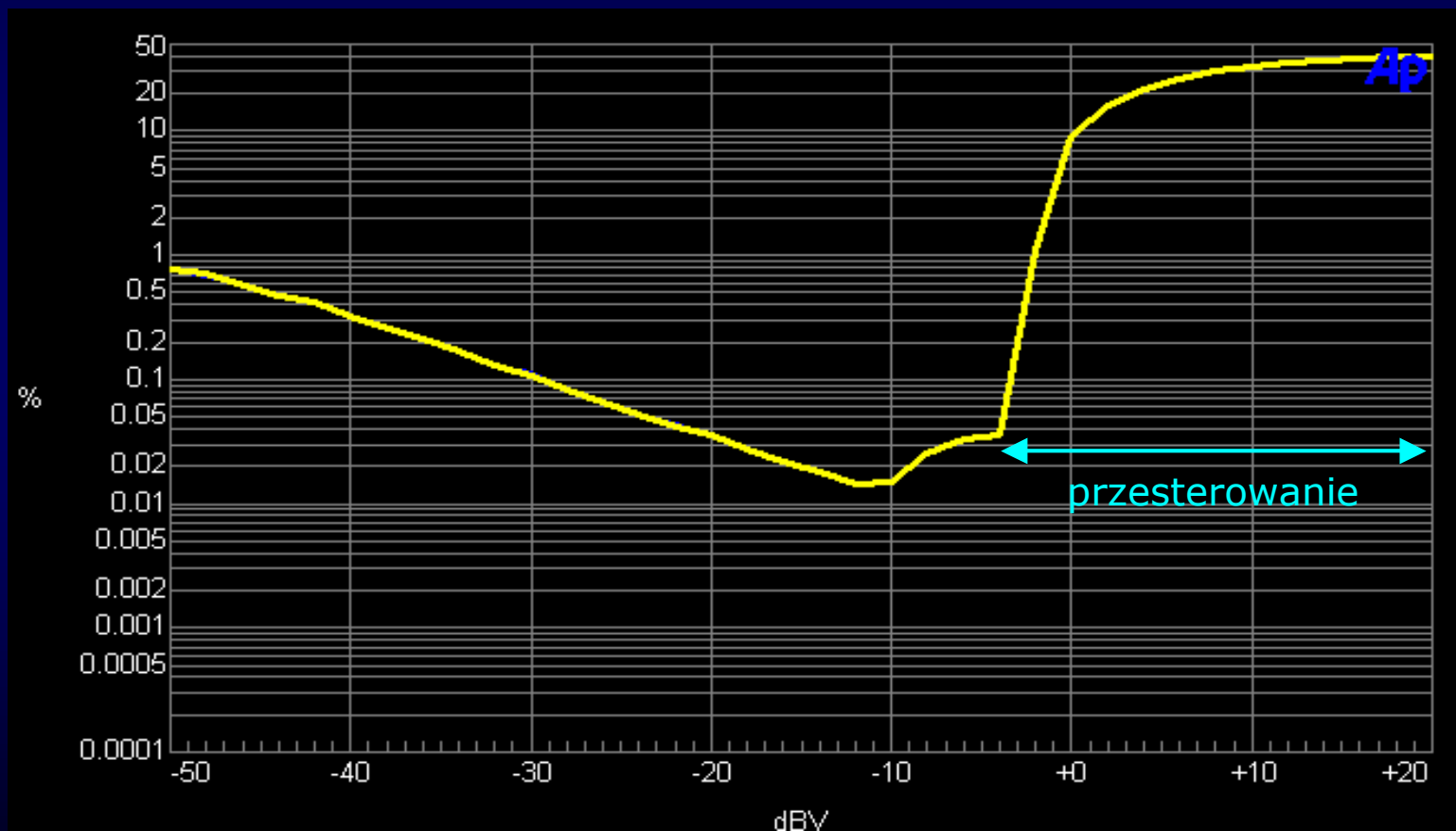
Metoda pomiaru THD+N

Filtr typu *notch*, usuwający składową podstawową oraz znane zakłócenia (filtr może być przestrajaný ręcznie lub automatycznie):



Wynik pomiaru THD+N

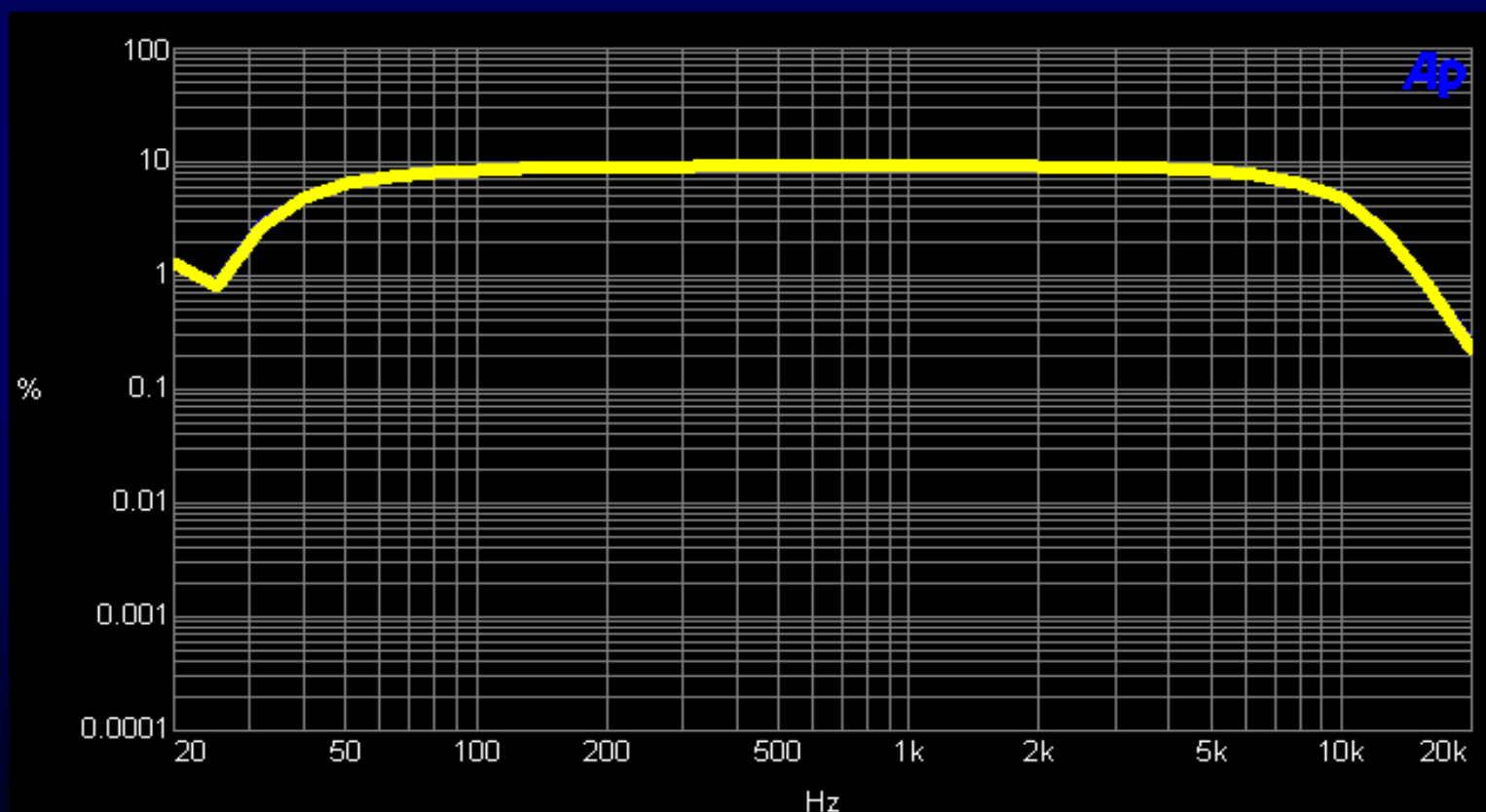
Wykres THD+N [%] w funkcji poziomu sygnału testowego, przy stałej częstotliwości (1 kHz):



Wynik pomiaru THD+N

Wykres THD+N w funkcji częstotliwości (stały poziom sygnału testowego)

Pasmo analizatora ograniczone do 22 kHz



Wymagania do pomiaru THD+N

Wymagania dotyczące urządzeń mierzących THD+N:

- sygnał z generatora o bardzo małych zniekształceniach harmonicznym,
- bardzo małe zniekształcenia wprowadzane przez filtry,
- dostępny zestaw filtrów do tłumienia zakłóceń,
- automatyczne przestrajanie filtru (dokładność) oraz częstotliwości i poziomu sygnału testowego,
- detektor mierzący „prawdziwą” wartość skuteczną.

Interpretacja wartości THD

Przykład specyfikacji:

- zniekształcenia harmoniczne: poniżej 1%

Taka wartość nic nam nie mówi. Nie wiemy:

- czy jest to wartość THD, czy THD+N z uwzględnieniem szumu,
- dla jakiego poziomu sygnału dokonano pomiaru,
- dla jakiej częstotliwości, lub w jakim zakresie częstotliwości dokonano pomiaru

Przykład poprawnej specyfikacji:

- THD+N: poniżej 1% dla +4 dBm

(zakładamy, że chodzi o częstotliwość 1 kHz).

Zniekształcenia intermodulacyjne

Wadą pomiaru THD(+N) jest to, że dla większych częstotliwości sygnału testowego, w paśmie analizatora jest zbyt mało harmonicznych.

Zamiast sygnału sinusoidalnego można zastosować **dwuton** (sygnał zawierający w widmie dwa prążki o częstotliwościach f_1 i f_2).

Zniekształcenia mierzone w ten sposób nazywa się **zniekształceniami intermodulacyjnymi – IMD** (*Intermodulation Distortion*), w niektórych przypadkach również zniekształceniami różnicowymi.

Zniekształcenia intermodulacyjne

Sygnał testowy: dwuton (f_1, f_2).

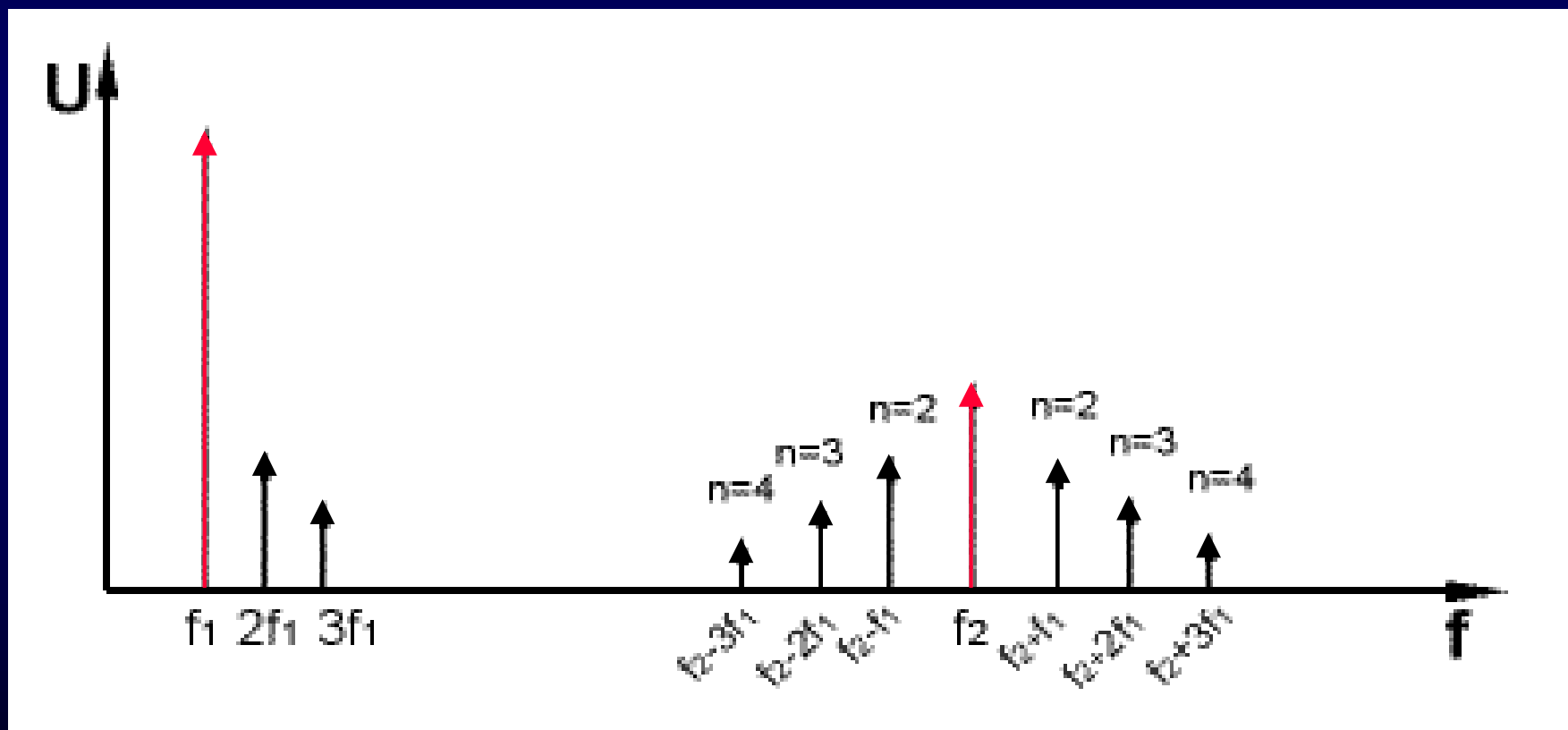
Urządzenie **liniowe** – w odpowiedzi na dwuton testowy pojawia się dwuton zawierający wyłącznie dwa prążki o częstotliwościach f_1, f_2 .

Urządzenie **nieliniowe** – pojawiają się **produkty intermodulacyjne** – prążki o częstotliwościach:

$$m \cdot f_1 \pm n \cdot f_2 \quad \begin{array}{l} m = 0, 1, 2, 3, \dots \\ n = 0, 1, 2, 3, \dots \end{array}$$

Zniekształcenia intermodulacyjne

Widmo sygnału powstałego przez przetworzenie dwutonu (f_1, f_2) przez urządzenie nieliniowe:



Zniekształcenia intermodulacyjne

Obliczenie współczynnika zniekształceń intermodulacyjnych:

$$m = \frac{\sqrt{\left[U_{(f_2-f_1)} + U_{(f_2+f_1)} \right]^2 + \left[U_{(f_2+2f_1)} + U_{(f_2-2f_1)} \right]^2}}{U_{f_2}} \cdot 100\%$$

U_f – amplituda prążka widma o częstotliwości f

Według Polskiej Normy: we wzorze uwzględnia się również dalsze składowe: $f_2 \pm 3f_1$ oraz $f_2 \pm 4f_1$

W praktyce nie liczy się współczynnika ze wzoru, ale mierzy się współczynnik modulacji amplitudy (AM).

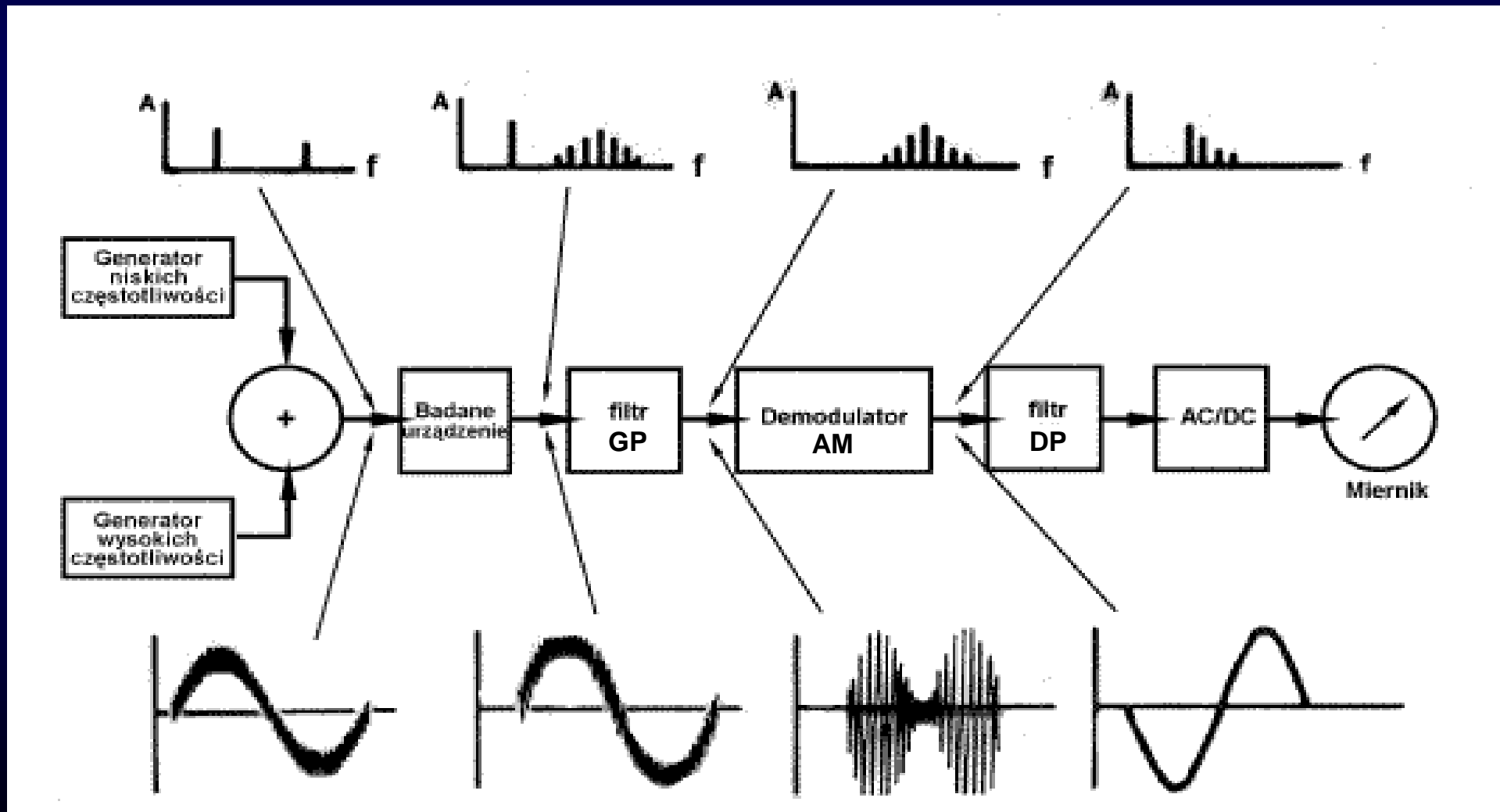
Pomiar zniekształceń intermodulacyjnych

Praktyczny układ pomiaru IMD:

- generator – dwa tony (f_1, f_2)
- badane urządzenie – następuje modulacja
- filtr GP (2 kHz) – usunięcie prążka f_1
- demodulator AM
- filtr DP (700 Hz) – usunięcie resztek nośnej
- pomiar poziomu rms pozostałego sygnału

Pomiar zniekształceń intermodulacyjnych

Układ do pomiaru zniekształceń intermodulacyjnych:



Zniekształcenia różnicowe

Sygnał testowy: dwuton, dwa prążki o jednakowych amplitudach i zbliżonej, dużej częstotliwości (np. 19 kHz i 20 kHz).

Taki pomiar nazywa się pomiarem zniekształceń różnicowych (*Difference Tone IMD*):



Zniekształcenia różnicowe

Obliczenia współczynnika zniekształceń różnicowych:

- drugiego rzędu

$$d_2 = \frac{A(f_2 - f_1)}{A(f_1) + A(f_2)} \cdot 100\%$$

- trzeciego rzędu

$$d_3 = \frac{A(2f_2 - f_1) + A(2f_1 - f_2)}{A(f_1) + A(f_2)} \cdot 100\%$$

$A(f)$ – amplituda prądu o częstotliwości f

Zniekształcenia różnicowe

W praktyce pomiar zniekształceń różnicowych dokonuje się w następującym układzie:

- generator – dwa tony o cz. f_1 i f_2 , o jednakowej amplitudzie
- badane urządzenie – powstają zniekształcenia
- filtr DP – pozostaje pasmo do 2,45 kHz
- filtr pasmowo-przepustowy o cz. środkowej ($f_2 - f_1$)
- pomiar poziomu rms w przefiltrowanym sygnale

Pomiary IMD – normy

Najważniejsze standardy dotyczące pomiaru IMD:

- **SMPTE IMD**
 - 60 Hz i 7 kHz [mogą być inne]
 - stosunek amplitud 4:1 [czasem 1:1]
 - pomiar wartości szczytowej (nie skutecznej)
- **DIN IMD**
 - 250 Hz i 8 kHz
 - stosunek amplitud 4:1
- **CCIF *Twin-Tone*** (różnicowe)
 - 13 kHz i 14 kHz (dla pasma do 15 kHz)
lub 18 kHz i 19 kHz (dla pasma do 20 kHz),
 - jednakowe amplitudy

Zniekształcenia transjentowe

TIM – *Transient Intermodulation Distortion*

DIM – *Dynamic Intermodulation Distortion*

Parametr opisujący zniekształcenia harmoniczne powstające w stanach przejściowych.

Często zniekształcenia powstają w przypadku np. gwałtownych zmian amplitudy sygnału wejściowego.

Takie zniekształcenia nie zostaną wykryte podczas pomiaru sygnałami (np. dwutonem) o łagodnie zmieniającej się amplitudzie.

Zniekształcenia transjentowe

Pomiar TIM/DIM – najczęściej stosowana metoda:

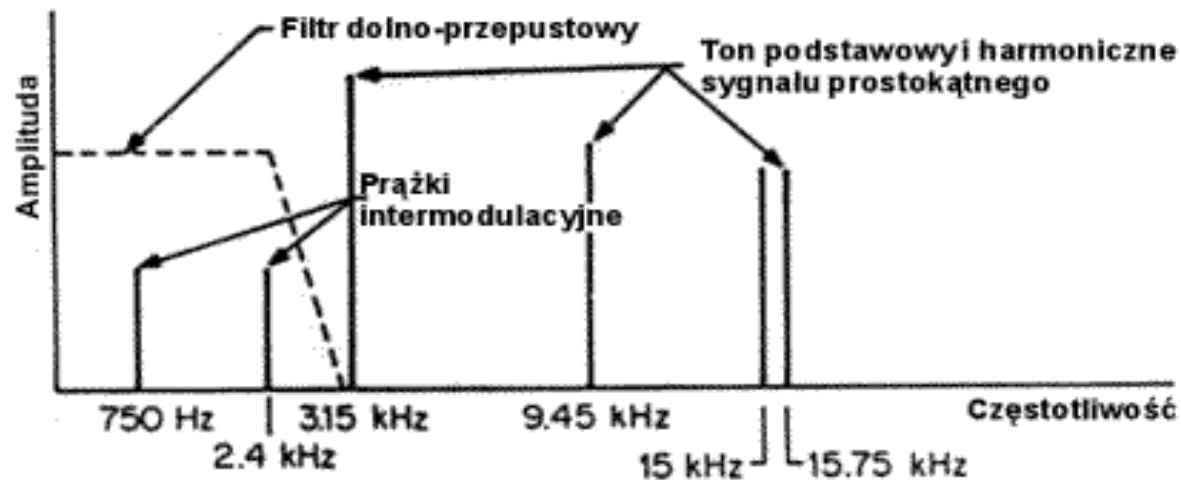
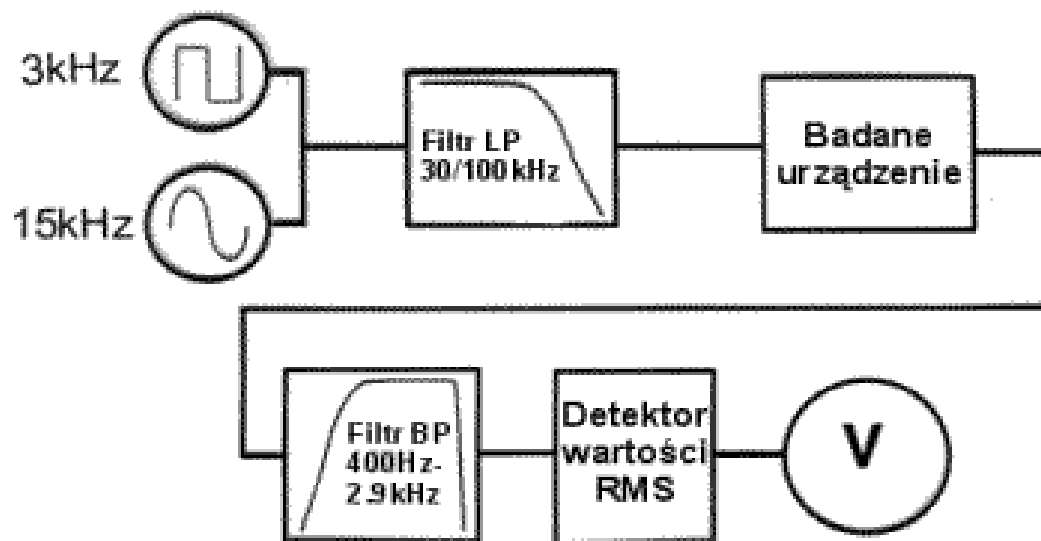
- sygnał testowy – suma dwóch sygnałów:
 - fala prostokątna $f_1 = 3,15 \text{ kHz}$ [DIMB: 2,96 kHz]
 - fala sinusoidalna $f_2 = 15 \text{ kHz}$ [DIMB: 14 kHz]
 - stosunek amplitud $A1:A2 = 4:1$
- sygnał testowy jest filtrowany przez filtr DP o częstotl. granicznej:
 - 30 kHz (DIM 30)
 - 100 kHz (DIM 100)

Fala prostokątna zapewnia gwałtowne zmiany poziomu.

Produkty intermodulacyjne: prążek sinusa z prążkami fali prostokątnej (podstawowa i nieparzyste harmoniczne).

Zniekształcenia transjentowe

Pomiar zniekształceń transjentowych TIM/DIM



Zn. harmoniczne – interpretacja

Interpretacja wartości zniekształceń harmoniczných (THD+N) oraz intermodulacyjnych (IMD):

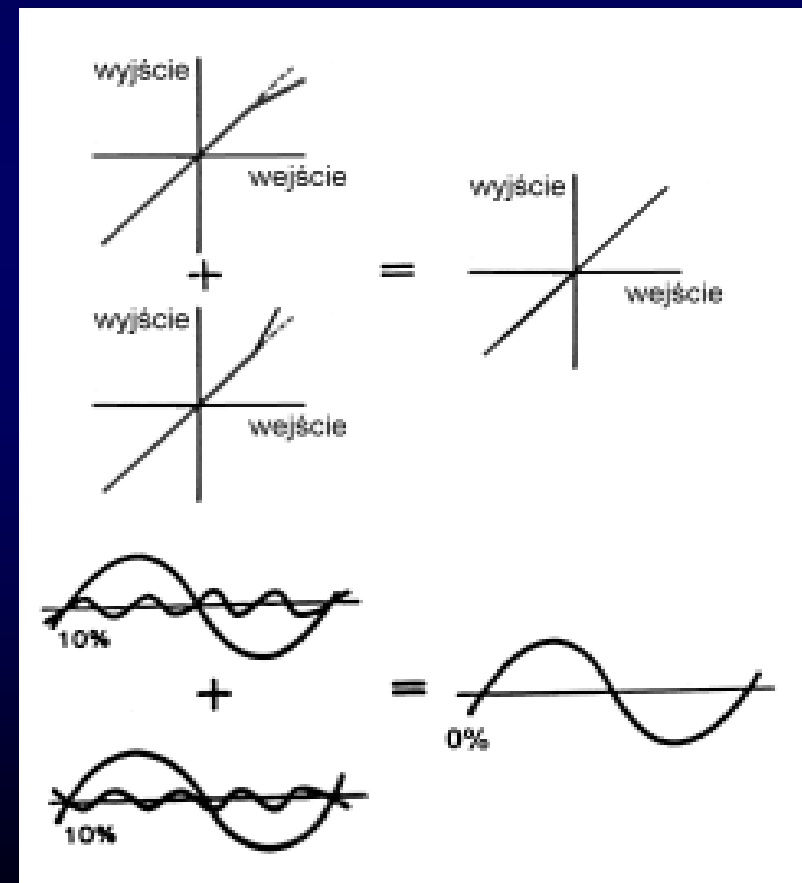
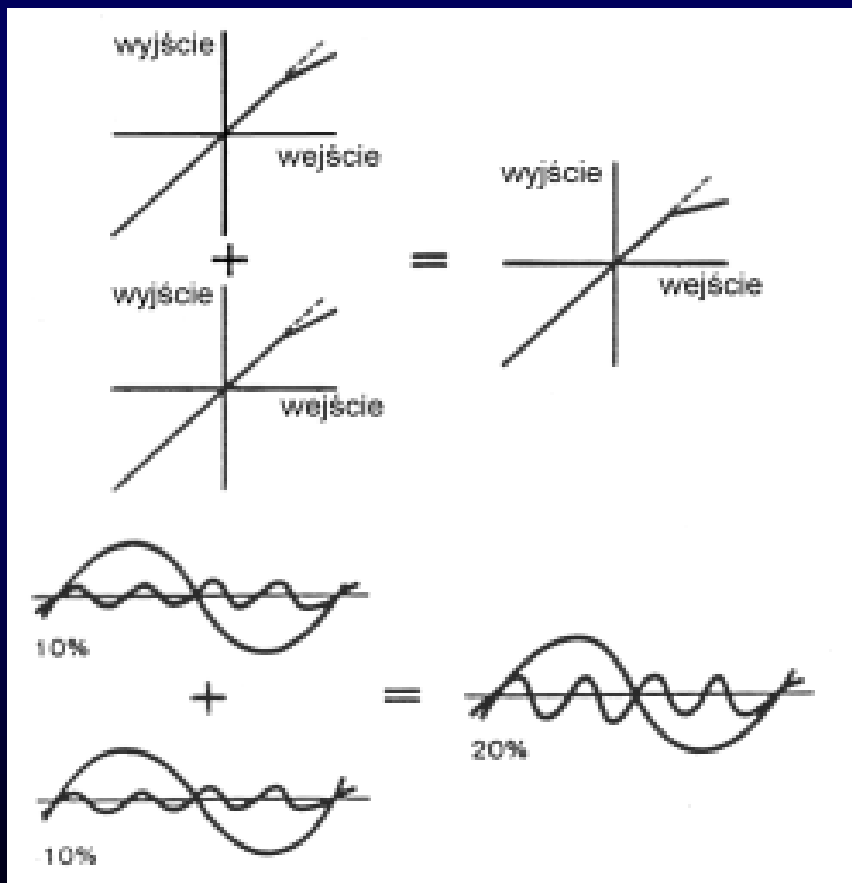
- im niższe wartości, tym lepiej
- wartość IMD powinna być mniejsza (w każdym razie nie większa) niż wartość THD+N
 - zniekształcenia IM są bardziej słyszalne niż zwykle
- dla większości urządzeń fonicznych, wartość zniekształceń poniżej 1% jest do przyjęcia.

Dodawanie i znoszenie się zniekształceń

O czym należy pamiętać badając zniekształcenia w układzie kilku urządzeń połączonych w łańcuch:

Zn. dodają się

Zn. znoszą się



Wykrywanie przesterowania

W niektórych urządzeniach fonicznych (np. wzmacniacze) nie chcemy dopuścić do tego, aby wystąpiło przesterowanie sygnału.

W tym celu należy:

- ustawić wzmacnienie urządzenia na minimalne,
- podać na wejście urządzenia sygnał testowy o dużym poziomie,
- zmierzyć THD+N na wyjściu urządzenia,
- zwiększać wzmacnienie urządzenia tak długo, aż zostanie zaobserwowany gwałtowny wzrost THD+N,
- za początek zakresu przesterowania uznaje się zwykle punkt, w którym THD+N osiąga 0,1%.

Pomiar poziomu szumu

Pomiar poziomu szumu w torze fonicznym jest dokonywany w sytuacji, w której na wejście toru nie jest podawany żaden sygnał.

Poziom szumów i zakłóceń jest mierzony na wyjściu toru fonicznego. Jest wyrażany najczęściej w dBu lub dBv.

Pasmo mierzonego szumu musi być ograniczone za pomocą filtru pasmowo-przepustowego, typowo:

- 20 Hz – 20 kHz
- 22 Hz – 22 kHz (norma CCIR 468)
- 300 Hz – 3,5 kHz: kanał dla sygnału mowy

Podając poziom szumu należy podać też pasmo częstotl.

Pomiar poziomu szumu

Pomiar poziomu szumu powinien uwzględniać uciążliwość szumu dla słuchacza.

Uciążliwość szumu jest większa w paśmie średnich częstotliwości (2-4 kHz), mniejsza dla niskich i wysokich częstotliwości (wynika to z krzywych słyszenia).

Aby uwzględnić to przy pomiarach szumu, należy użyć odpowiednich **filtrów wagowych** (inna nazwa: **filtry psofometryczne**).

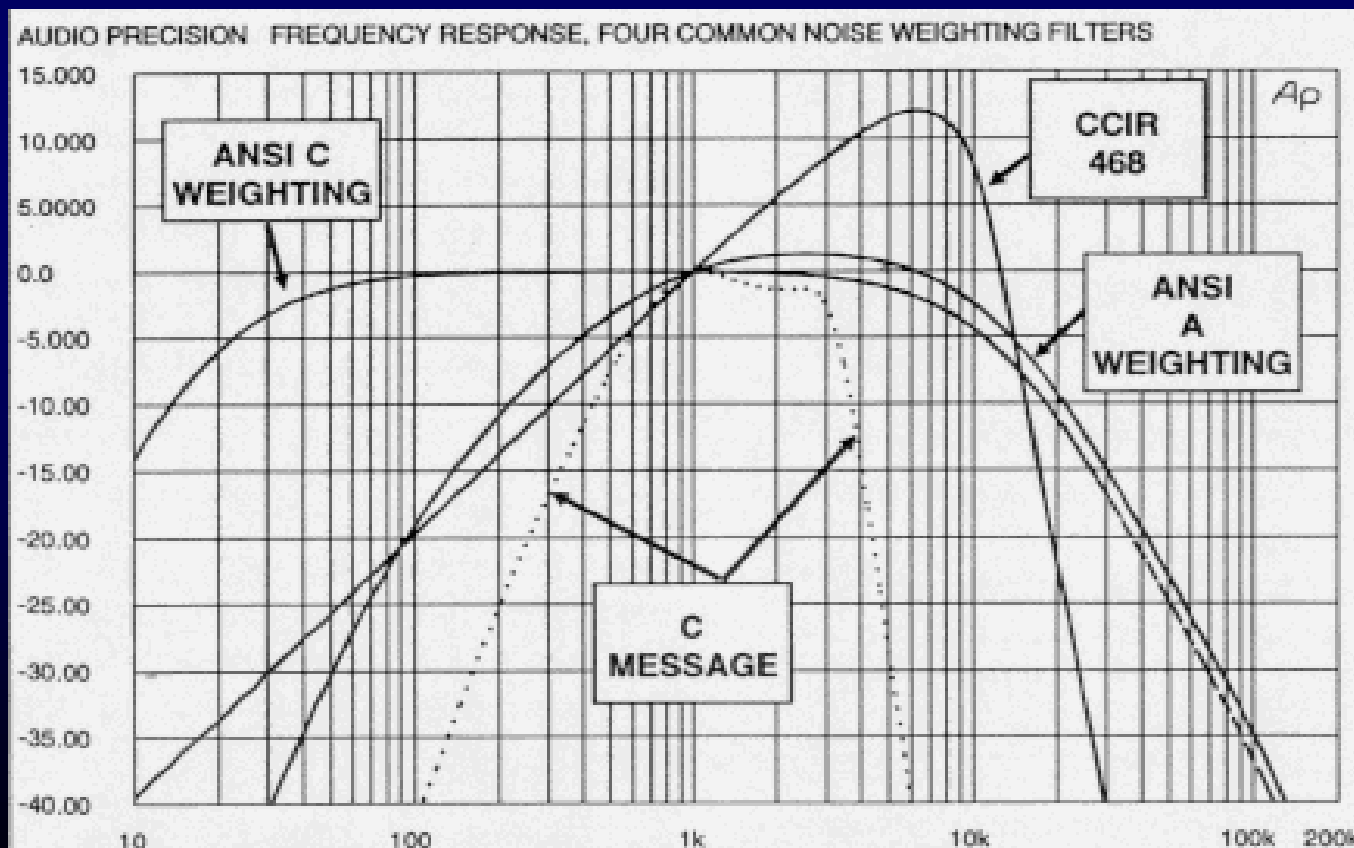
Wynik pomiaru przy użyciu tych filtrów lepiej oddaje uciążliwość szumu, zwłaszcza dla szumów wąskopasmowych.

Podając wynik pomiaru należy podać też typ charakterystyki wagowej.

Filtry wagowe do pomiarów szumu

Typowe charakterystyki filtrów wagowych:

- ANSI A – najczęściej używana
- ANSI C
- CCIR 468 (pomiar wartości quasi-szczytowej, nie rms)



Stosunek sygnału do szumu

Stosunek sygnału do szumu (SNR lub S/N – *Signal to Noise Ratio*):

stosunek pewnego poziomu sygnału do zmierzonego poziomu szumu.

Częściej: różnica między zmierzonym poziomem szumu a poziomem referencyjnym (0 dBr), wyrażona w dBr.

Poziom referencyjny może być:

- przyjęty arbitralnie,
- zmierzony dla sygnału testowego (najczęściej 1 kHz).

Zmierzony stosunek sygnału do szumu określa się często terminem: **dynamika urządzenia**.

Zakres dynamiki urządzenia: od A (poziom szumów) do B (poziom maksymalny).

Stosunek sygnału do szumu

Sposób pomiaru poziomu referencyjnego:

- dla poziomu nominalnego urządzenia,
- dla pełnego wysterowania urządzenia (mogą wystąpić zniekształcenia!),
- dla maksymalnego poziomu, przy którym współczynnik zniekształceń harmoniczných (THD+N) nie przekracza ustalonej wartości (np. 0,1%).

Po zmierzeniu poziomu referencyjnego:

- ustawia się ten poziom jako 0 dBr,
- wyłącza się sygnał testowy,
- dokonuje się pomiaru poziomu szumu w dBr,
- wartość bezwzględna poziomu szumu oznacza SNR.

Pomiar zakłóceń sieciowych

Zakłócenia sieciowe wynikają z wpływu częstotliwości sieci zasilającej (50 Hz w Europie, 60 Hz w USA).

Ocena wpływu zakłóceń – *hum-to-hiss ratio*:

- pomiar poziomu szumu w całym paśmie 20 Hz – 20 kHz (*hum*)
- pomiar poziomu szumu w paśmie 400 Hz – 20 kHz (usuwa się składową podstawową zakłóceń sieciowych i jej dwie pierwsze harmoniczne) – *hiss*,
- różnica tych dwóch pomiarów wyznacza *hum-to-hiss ratio* – poziom szumów od zakłóceń sieciowych
- w urządzeniach dobrej klasy wartość ta powinna być mniejsza od 1 dB.

Interpretacja poziomu szumu

Przykład nieprawidłowej specyfikacji:

- Poziom szumu: poniżej -90 dB

Nie wiemy: względem jakiego poziomu, w jakim paśmie, czy były użyte filtry wagowe, czy uwzględniono zakłócenia sieciowe.

Przykład poprawnej specyfikacji:

- Poziom szumu i zakłóceń (*hum and noise*):
poniżej -70 dBm (20 Hz – 20 kHz,
filtr wagowy ANSI A, stały poziom sygnału)

Interpretacja: im mniejszy poziom szumu (większy SNR), tym lepiej.

Przesłuch i separacja

Przesłuch i separacja dotyczą sytuacji, w której dźwięk jest przenoszony przez kilka kanałów.

Przesłuch (*crosstalk*) – przenikanie sygnału z jednego kanału do drugiego.

Jeżeli kanały przenoszą informacje związane ze sobą, np. lewy i prawy kanał sygnału stereofonicznego, mówimy o **separacji** (*separation*).

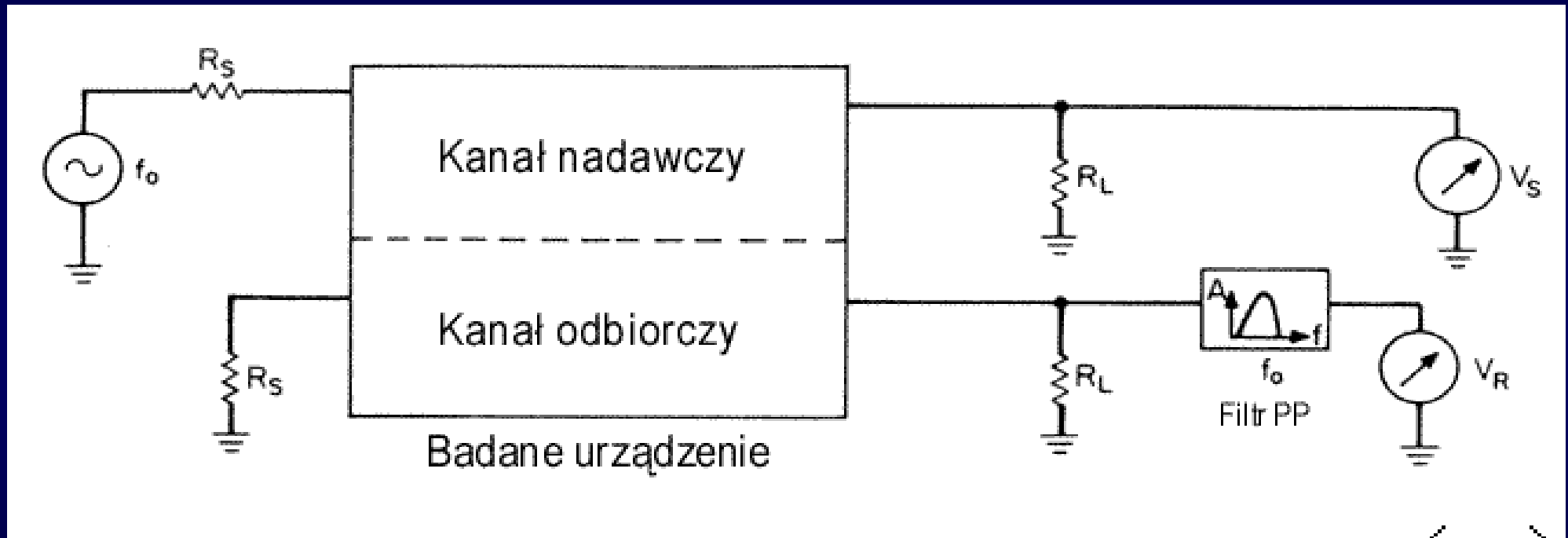
Pomiar przesłuchu i separacji

Metoda pomiaru przesłuchu i separacji:

- na wejście kanału źródłowego podawany jest testowy sygnał sinusoidalny o stałym poziomie,
- mierzony jest poziom V_S na wyjściu kanału źródłowego,
- na wejście kanału badanego nie jest podawany żaden sygnał,
- mierzony jest sygnał V_R na wyjściu kanału badanego (po przetworzeniu przez filtr BP nastrojony na częstotliwość generatora),
- przesłuch (separacja) jest miarą stosunku V_R/V_S (najczęściej wyrażany w decybelach).

Pomiar przesłuchu i separacji

Układ do pomiaru przesłuchu i separacji

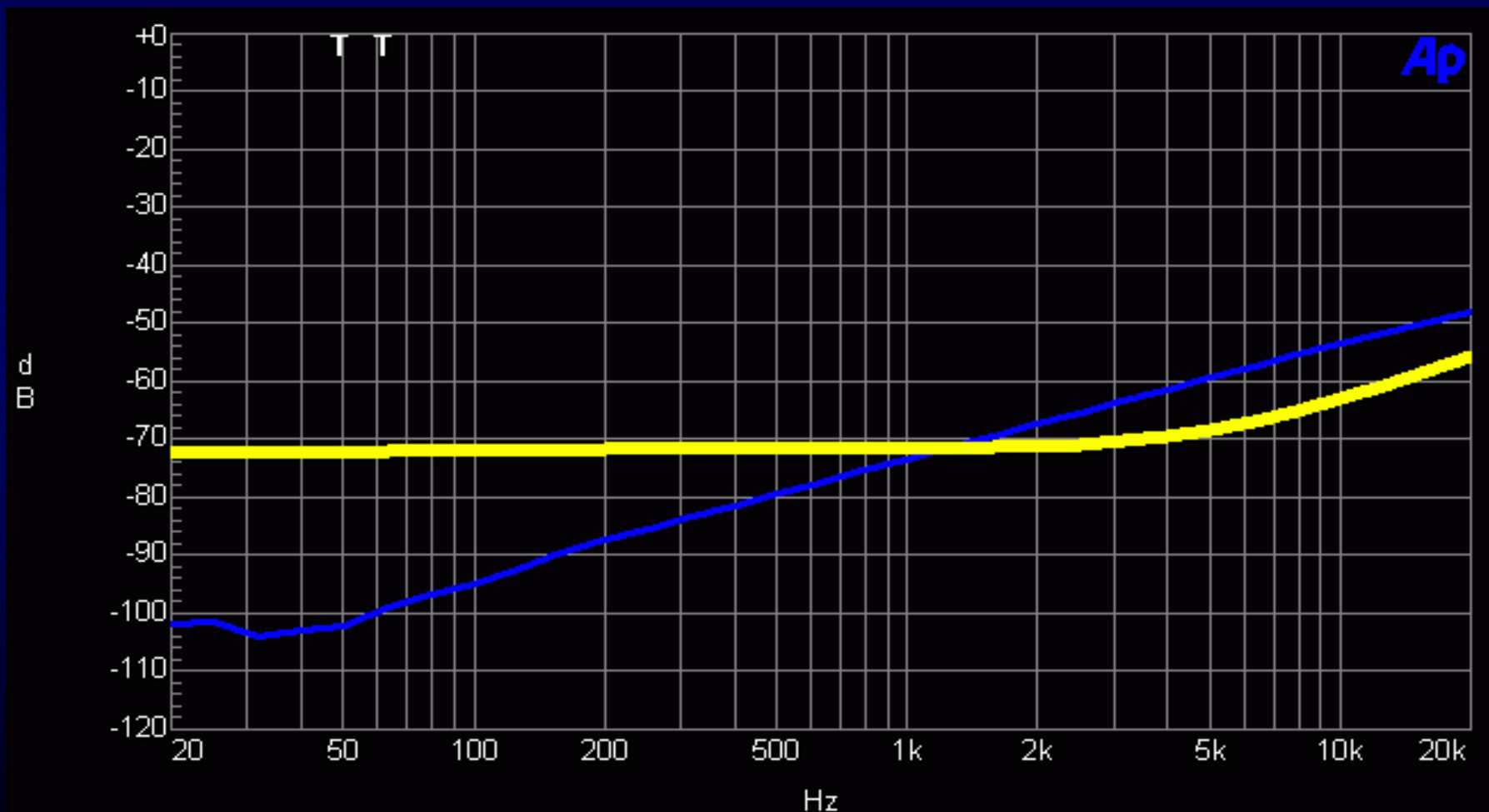


Pomiar separacji w torze stereofonicznym wykonuje się dwukrotnie, zamieniając kanały.

$$\text{przesłuch(dB)} = 20 \log \left(\frac{V_R}{V_S} \right)$$

Pomiar przesłuchu i separacji

Wyniki pomiaru przesłuchu i separacji w funkcji częstotliwości sygnału testowego



Przesłuch i separacja – interpretacja

Interpretacja wartości przesłuchu i separacji:

- mniejsza wartość oznacza lepszą separację
- wartość < -50 dB jest zwykle wystarczająca (zalecane wartości poniżej -70 dB)
- przy dobrym odizolowaniu kanałów można uzyskać wartości rzędu -100 dB
- separacja kanałów stereo (testy psychoakustyczne):
 - w zakresie cz. 500 Hz – 2 kHz: do zachowania prawidłowego obrazu stereofonicznego wystarcza separacja od -25 do -30 dB
 - na krańcach zakresu częstotliwości akustycznych wystarcza gorsza separacja

Pomiar mocy wyjściowej

Moc wyjściowa (np. wzmacniacza) „mierzona” jest przez pomiar napięcia na wyjściu i odniesienie do impedancji:

$$P = \frac{U^2}{R}$$

R jest impedancją wyjścia, np. wyjście głośnikowe: 8Ω , 4Ω , 2Ω , wyjście słuchawkowe: 32Ω .

Wartość mocy zależy od sposobu pomiaru napięcia U :

- moc ciągła
- moc chwilowa (muzyczna, szczytowa)
- moc całkowita systemu (rzeczywista moc użyteczna zależy od sprawności wzmacniacza)

Moc ciągła

Moc ciągła, *averaged continuous power*, czasami *rms power*

- mierzona jest wartość skuteczna (RMS) amplitudy
- poziom sygnału: maksymalny, nie przekraczający ustalonej wartości THD+N (np. 0,1%)
- wartość R jest impedancją wyjścia
- urządzenie musi być w stanie dostarczać zmierzoną moc w sposób ciągły, np. przez 30 minut
- należy podać częstotliwość i poziom sygnału testowego
- jedyna wiarygodna miara mocy wyjściowej!!!

Moc ciągła

Warunki pomiaru mocy wg normy FTA (USA):

- pomiar średniej mocy ciągłej w watach
- obciążenie wyjścia: 8Ω albo należy podać
- sygnał tej samej mocy podawany na wszystkie kanały
- należy podać zakres mierzonych częstotliwości
- należy podać wielkość zniekształceń THD+N
- sygnał o mocy $1/8$ wartości znamionowej musi być podawany przez urządzenie w ciągu 1 godziny przed pomiarem

Moc muzyczna (szczytowa, chwilowa)

- moc muzyczna (PMPO – *peak music power output*)
- moc szczytowa (*peak power*)
- moc chwilowa

Różne pojęcia na określenie mocy mierzonej w sposób niestandardowy i dowolny, np.:

- pomiar wartości szczytowej zamiast skutecznej
- maksymalna wartość pomiaru, nawet jeśli jest krótkotrwała (np. kilka milisekund)
- bez brania THD+N pod uwagę (np. 10%)
- czasami przy użyciu niestandardowych sygnałów testowych, np. szumu różowego lub nawet muzyki

Moc muzyczna a ciągła

Moc muzyczna jest bez znaczenia, ponieważ:

- jest zawyżona względem mocy ciągłej
- nie oddaje możliwości urządzenia – nie jest ono w stanie dawać takiej mocy w sposób ciągły i bez zniekształceń
- warunki pomiaru są niestandardowe i dobierane dowolnie przez producenta.

Wniosek:

- Moc muzyczna nie jest rzeczywistym parametrem urządzenia, a jedynie terminem marketingowym.
- Nie należy go mierzyć i podawać.
- Należy ignorować ten parametr w specyfikacji.

Specyfikacja mocy

Przykład poprawnej specyfikacji:

- Moc ciągła: 100 W na kanał, 8Ω, THD+N 0,1%, 1 kHz, obciążenie obu kanałów

Wszystkie istotne dane zostały podane.

Przykład nieprawidłowej specyfikacji:

- Moc muzyczna: 50 W

Jaka moc ciągła? (ok. 24W) Jakie warunki (poziom, częstotliwość, THD+N)? Na kanał czy sumarycznie?

Pomiar częstotliwości

Pomiar częstotliwości – metoda 1 – pomiar okresu sygnału

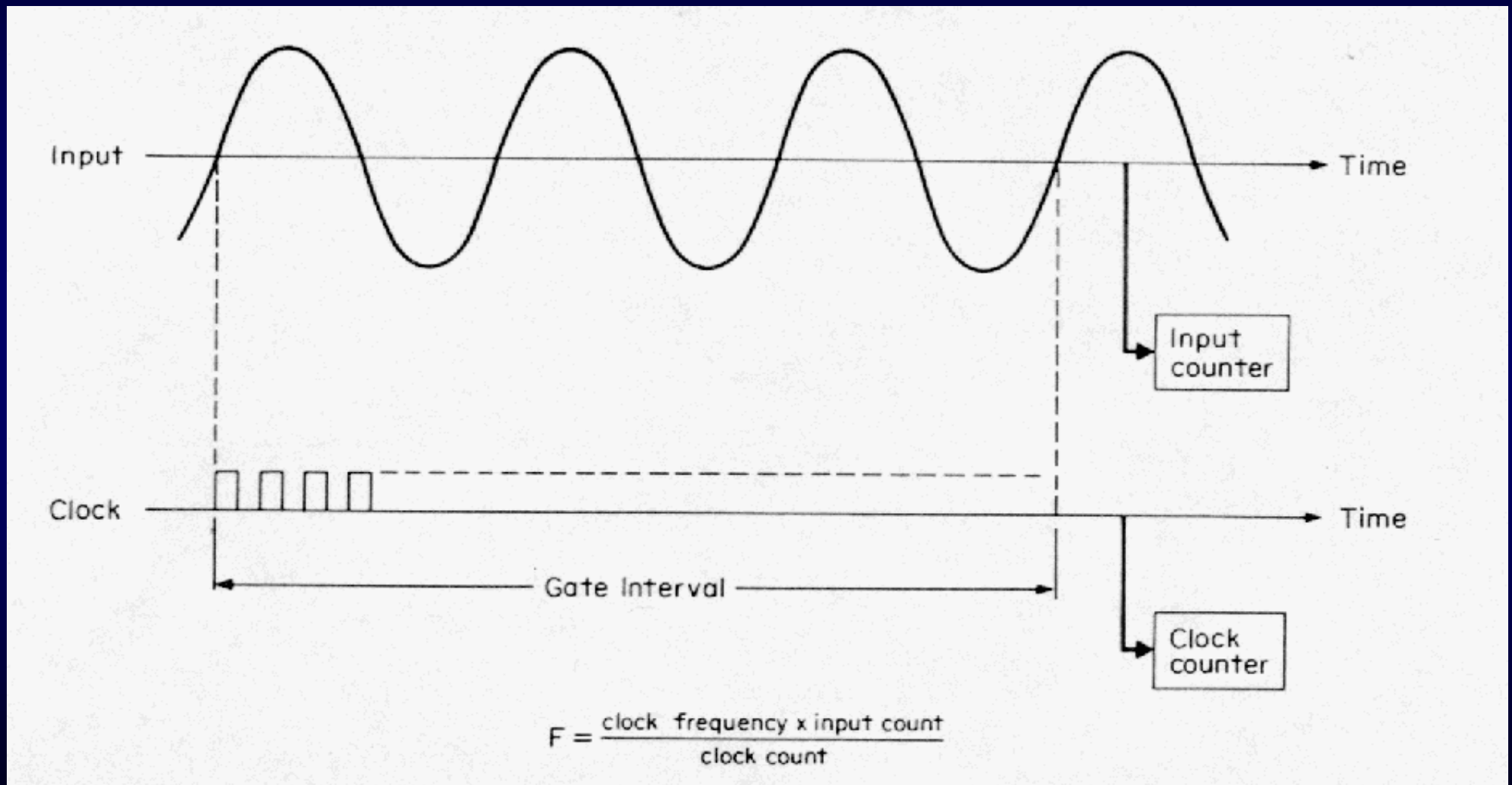
- Generator kwarcowy wysyła impulsy o bardzo dużej częstotliwości.
- W chwili wykrycia przejścia przez zero w badanym sygnale, otwierana jest bramka, a impulsy są zliczane przez rejestr.
- W chwili wykrycia kolejnego przejścia przez zero, bramka jest zamykana, koniec zliczania impulsów.
- Znając częstotliwość impulsów można obliczyć okres sygnału.
- Częstotliwość sygnału jest odwrotnością okresu.

Pomiar częstotliwości

Pomiar częstotl. – metoda 2 – uśrednianie okresu sygnału

- Generator kwarcowy wysyła impulsy o b. dużej cz.
- W chwili wykrycia przejścia przez zero w badanym sygnale, otwierana jest bramka, a impulsy są zliczane przez rejestr A.
- Każde przejście przez zero powoduje zapisanie impulsu do rejestru B
- W chwili wykrycia kolejnego przejścia przez zero, jeżeli minął założony czas otwarcia bramki, jest ona zamykana, koniec zliczania impulsów.
- Znając częstotliwość impulsów można obliczyć okres sygnału, na podstawie ilorazu impulsów A/B .
- Częstotliwość sygnału jest odwrotnością okresu.

Pomiar częstotliwości



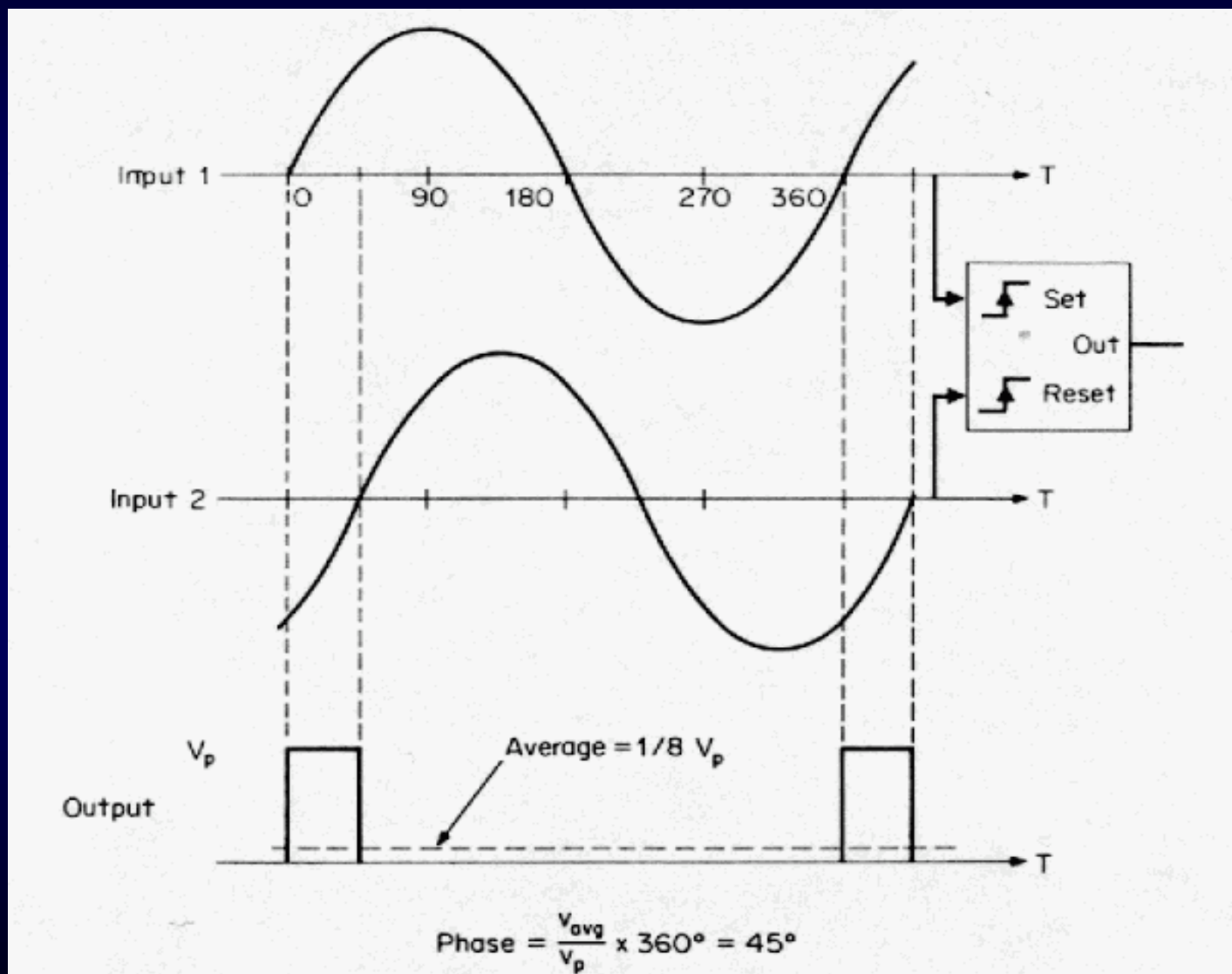
Pomiar fazy

Klasyczna metoda pomiaru przesunięcia fazowego: za pomocą oscyloskopu i figur Lissajous.

Metoda współczesna: pomiar przesunięcia czasowego pomiędzy dwoma sygnałami:

- przejście przez zero dla 0° pierwszego sygnału **włącza** impuls,
- przejście przez zero dla 0° drugiego sygnału **wyłącza** impuls,
- powtórzenie pomiaru dla pełnego cyklu fali,
- na podstawie uśrednienia impulsów oblicza się przesunięcie czasowe oraz przesunięcie fazowe.

Pomiar fazy



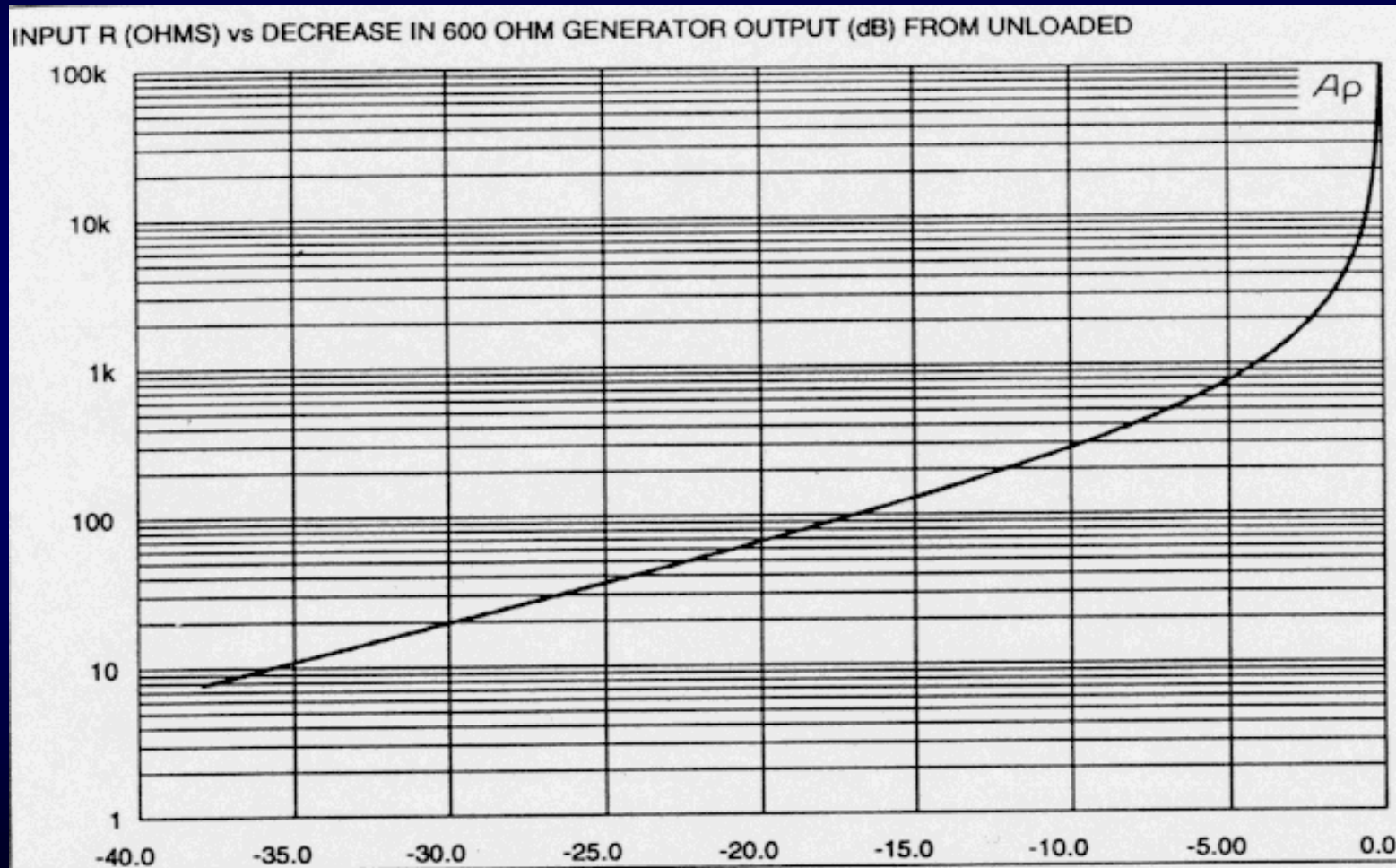
Pomiar impedancji wejściowej

Estymacja impedancji wejściowej urządzenia:

- pomiar poziomu na wyjściu generatora o impedancji 600Ω ,
- podłączenie badanego urządzenia do wyjścia generatora,
- ponownie pomiar poziomu sygnału na wyjściu generatora – będzie on mniejszy po obciążeniu wyjścia,
- obliczenie różnicy poziomów z obu pomiarów,
- odczytanie szacunkowej impedancji z normogramu.

Pomiar impedancji wejściowej

Normogram do estymacji impedancji wejściowej



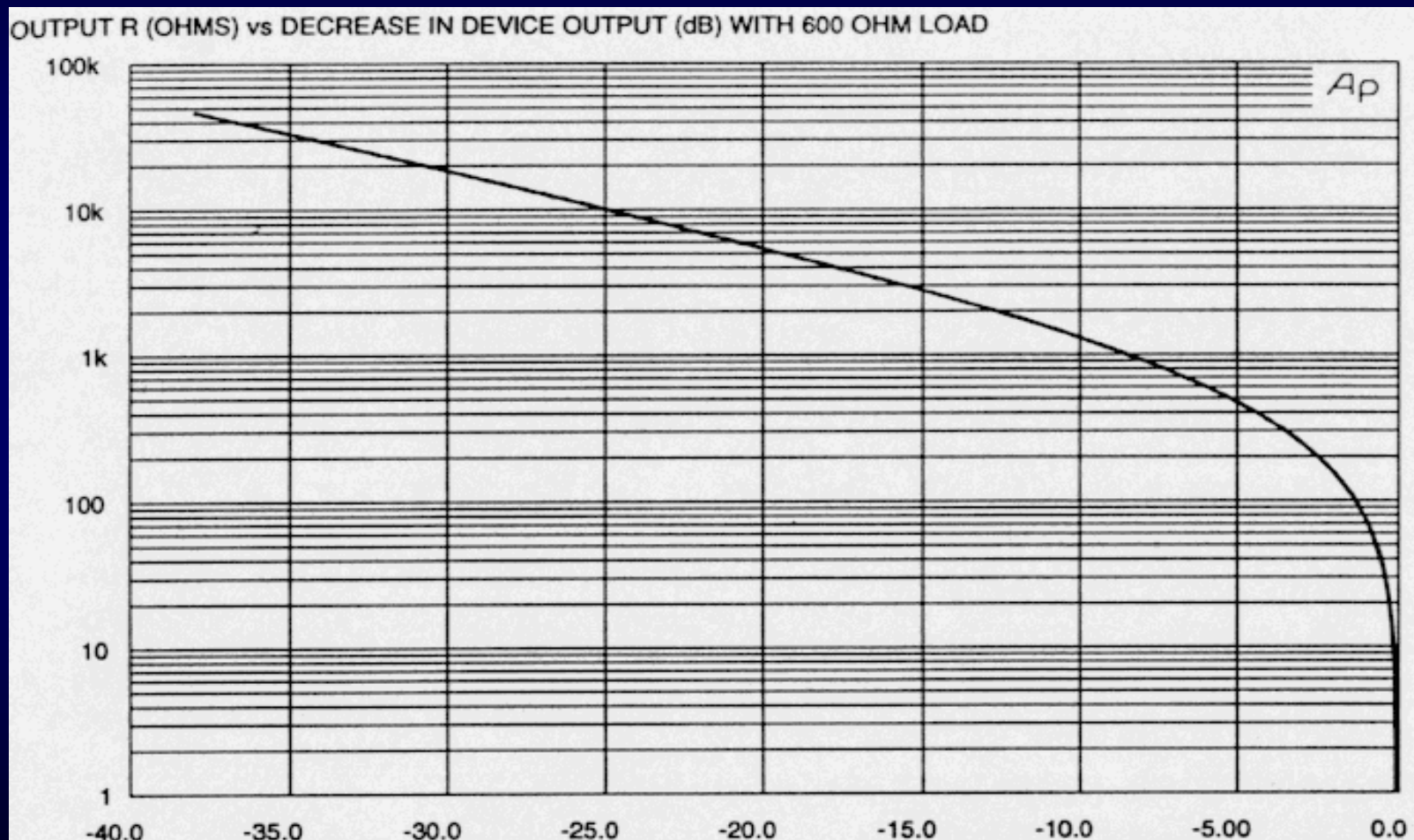
Pomiar impedancji wyjściowej

Estymacja impedancji wyjściowej urządzenia:

- odłączenie wszystkich urządzeń, poza analizatorem, od wyjścia badanego urządzenia,
- podanie sygnału testowego na wejście urządzenia,
- pomiar poziomu na wyjściu urządzenia,
- dołączenie do wyjścia badanego urządzenia impedancji obciążającej $600\ \Omega$ (powinna być dostępna w analizatorze),
- ponowny pomiar poziomu sygnału na wyjściu,
- obliczenie różnicy poziomów z obu pomiarów,
- odczytanie szacunkowej impedancji z normogramu.

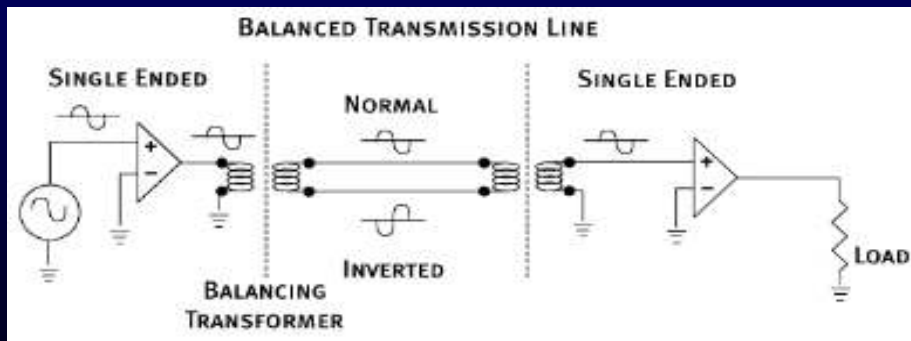
Pomiar impedancji wyjściowej

Normogram do estymacji impedancji wyjściowej



Pomiar CMRR

- Niektóre urządzenia studyjne wykorzystują połączenia symetryczne (*balanced*), np. przez gniazda XLR
- Sygnał użytkowy przesyłany jest w trybie różnicowym (*differential mode*) – sygnały w dwóch liniach są w przeciwfazie
- Szum pojawiający się w linii transmisyjnej jest w trybie wspólnym (*common mode*)
- Sygnał na wyjściu jest różnicą sygnału w obu liniach
- Tryb wspólny jest wytłumiany



Pomiar CMRR

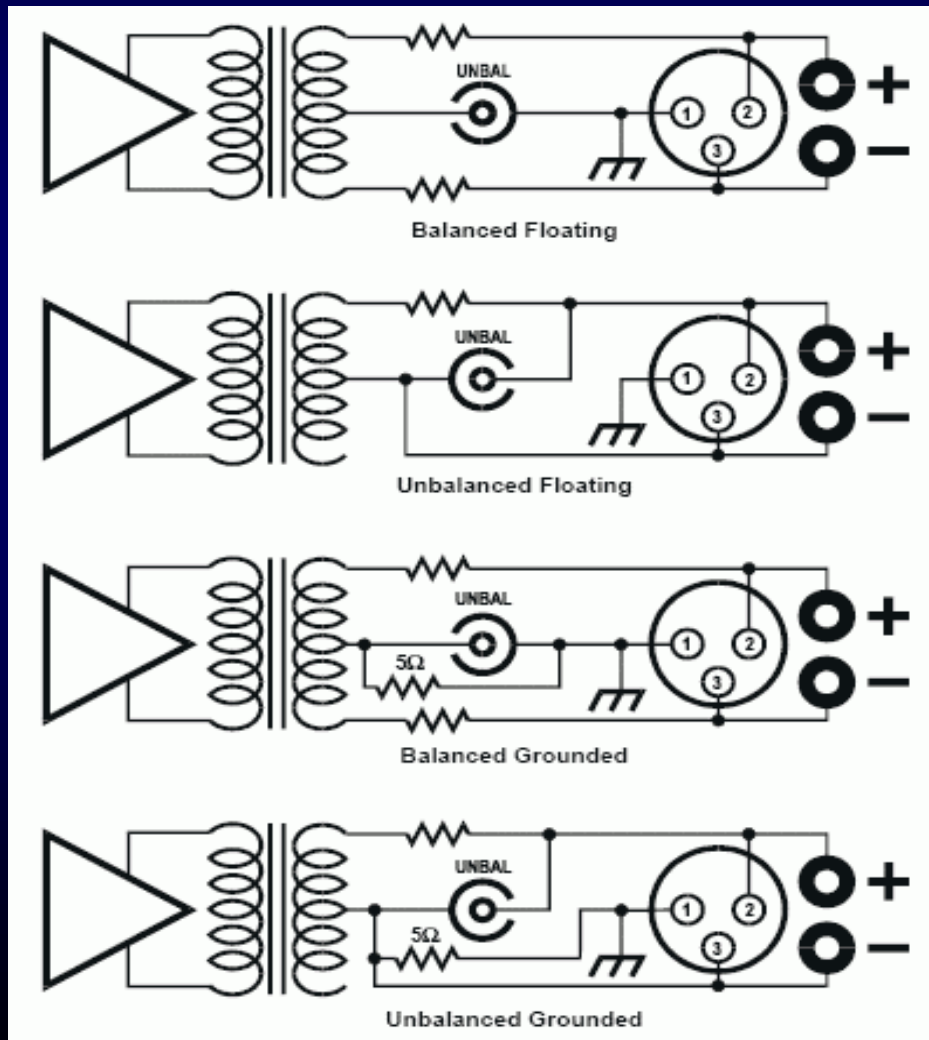
- Sygnał sinusoidalny, np. 1kHz
- Pomiar 1: w trybie różnicowym, wyznaczenie wzmocnienia A_d
- Pomiar 2: w trybie wspólnym (sygnał w fazie w obu liniach), wyznaczenie wzmocnienia A_{cm}
- Współczynnik CMRR – *Common mode rejection ratio*

$$CMRR = 20 \log \left(\frac{A_d}{A_{cm}} \right)$$

- Współczynnik wyznacza wielkość tłumienia zakłóceń w linii symetrycznej, powinien być jak największy
- Należy podać poziom i częstotliwość sygnału testowego

Pomiar CMRR

Pomiar wymaga odpowiedniej konfiguracji obciążenia (impedancji) w generatorze.



Pomiary „czarnej skrzynki”

Mamy pewne urządzenie foniczne – „czarna skrzynka”.

Chcemy zbadać jego parametry.

Należy zacząć od ustalenia „bezpiecznego” poziomu sygnału wejściowego.

Niektóre urządzenia mogą zostać uszkodzone przez podanie na wejście sygnału o zbyt dużym poziomie (np. głośniki wysokotonowe).

Pomiary „czarnej skrzynki”

Ustalenie „bezpiecznego” poziomu wejściowego:

- do wejścia urządzenia dołączamy generator, ustawiamy sygnał sinusoidalny o małym poziomie i częstotliwości 1 kHz,
- do wyjścia urządzenia podłączamy miernik, mierzymy napięcie lub poziom [dBu],
- powoli zwiększamy poziom wejściowy, aż na wyjściu otrzymamy 0 dBu,
- jeżeli to możliwe, zwiększamy nadal poziom wejściowy, aż zaobserwujemy wejście w stan nasycenia,
- zapisujemy poziom wejściowy i wyjściowy odpowiadający końcowi zakresu liniowego.

Nie powinniśmy przekraczać ustalonego poziomu wejściowego przy dalszych pomiarach.

Pomiary „czarnej skrzynki”

Podając na wejście urządzenia sygnał testowy o poziomie wyznaczonym w poprzednim kroku, możemy zbadać:

- charakterystykę częstotliwościową urządzenia, zmieniając częstotliwość tonu testowego (jeżeli zaobserwujemy wzrost poziomu sygnału na wyjściu, należy zmniejszyć poziom sygnału testowego),
- zniekształcenia harmoniczne (THD+N) w funkcji częstotliwości i poziomu (ostrożnie z przekraczaniem wyznaczonego poziomu maksymalnego),
- poziom szumu i dynamikę,
- przesunięcie fazowe,
- przesłuch (separację),
- inne potrzebne testy.

Pomiary korektorów częstotliwości

Korektor częstotliwości (*equaliser*) – urządzenie, które z założenia nie posiada płaskiej charakterystyki częstotliwościowej w paśmie akustycznym.

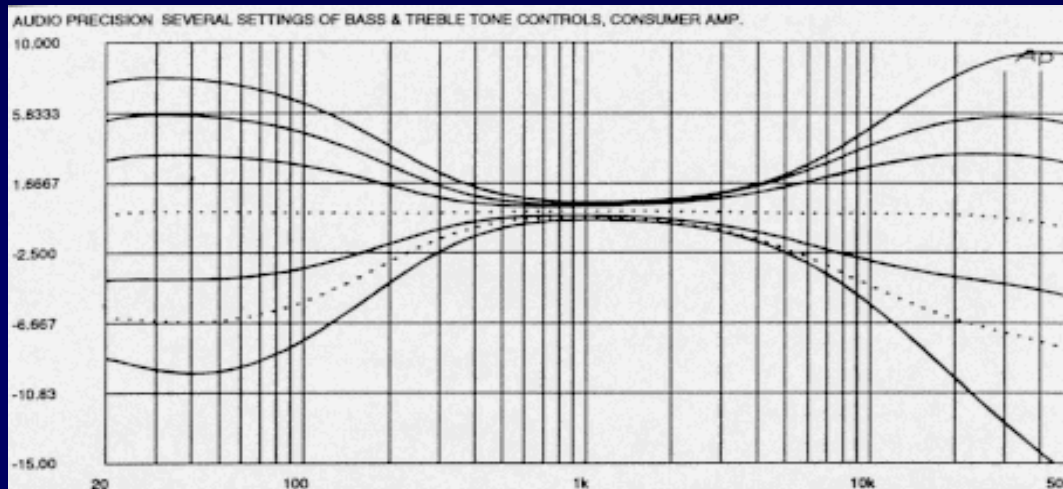
- Proste korektory: układy regulacji tonów niskich (*bass*) i wysokich (*treble*).
- Korektory pasmowe – regulacja w większej liczbie pasm częstotliwości.

Najczęściej charakterystyki częstotliwościowe wszystkich korektorów wchodzących w skład jednego urządzenia są przedstawiane na wspólnym wykresie.

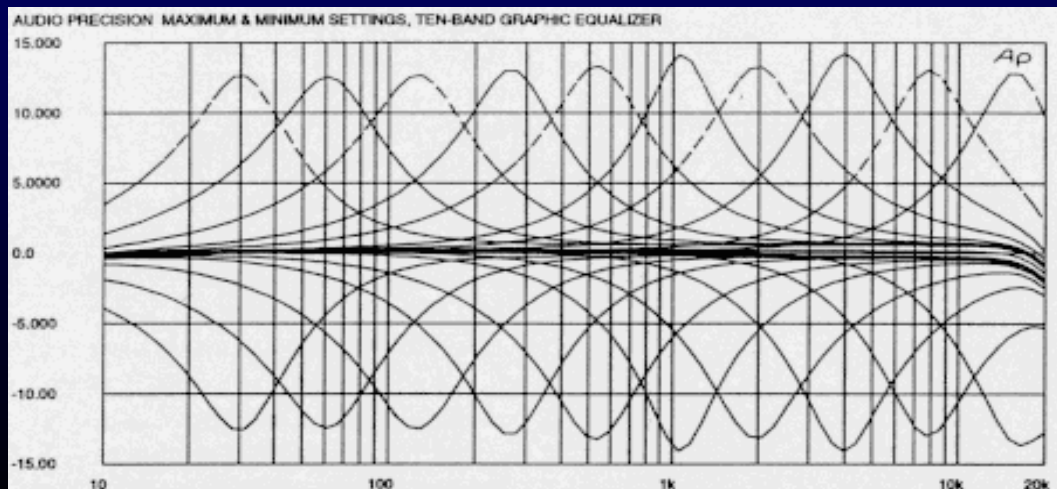
Pomiary korektorów częstotliwości

Rodziny charakterystyk korektorów częstotliwości:

- tony niskie/wysokie



- korektor pasmowy



Pomiary korektorów głośności

Z krzywych słyszenia wynika, że przy zmniejszaniu poziomu dźwięku, ucho szybciej traci czułość dla niskich i wysokich częstotliwości, niż w zakresie środkowych częstotliwości.

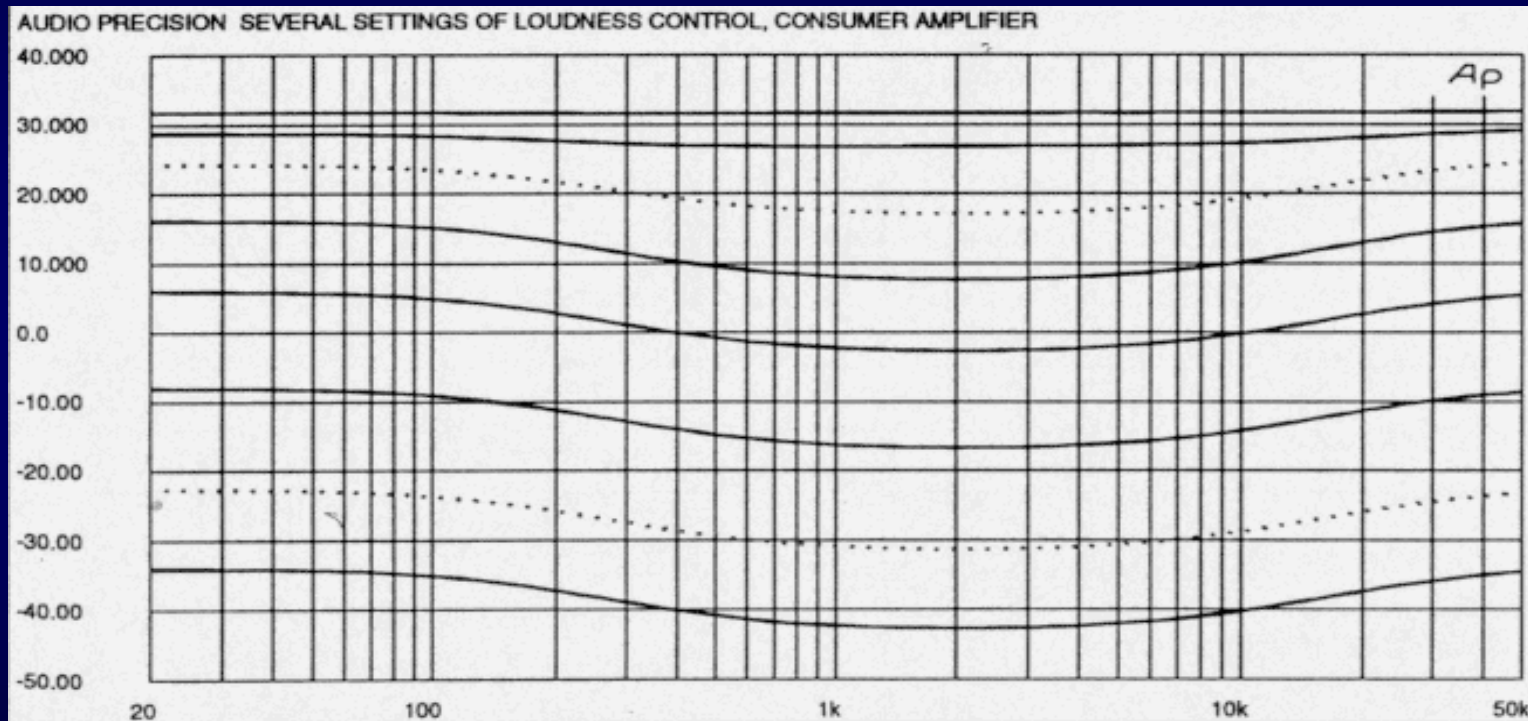
Układy korekcji głośności (*loudness control*): dla sygnałów o niskim poziomie zwiększają wzmocnienie w zakresie niskich i wysokich częstotliwości.

Pomiar korektorów głośności: pomiar charakterystyki częstotliwościowej dla kilku różnych poziomów sygnału testowego, lub dla kilku różnych ustawień wzmocnienia urządzenia.

Wyniki pomiarów przedstawiane są na wspólnym wykresie.

Pomiary korektorów głośności

Rodzina charakterystyk częstotliwościowych korektorów głośności (dla różnych stopni wzmacnienia):



Pomiary kompanderów

Kompandery – urządzenia foniczne (analogowe lub cyfrowe), które z założenia posiadają nieliniową charakterystykę wzmacnienia.

Proste kompandery posiadają następującą charakterystykę wzmacnienia:

- odcinek liniowy (wzmocnienie 1:1),
- odcinek pracy urządzenia (wzmocnienie wg zadanego współczynnika kompensacji – *ratio*).

Granice odcinków wyznacza próg kompensacji (*threshold*)

Bardziej złożone układy:

- kompandery wieloodcinkowe
- kompandery pasmowe (zakresy częstotliwości)

Charakterystyki komponderów

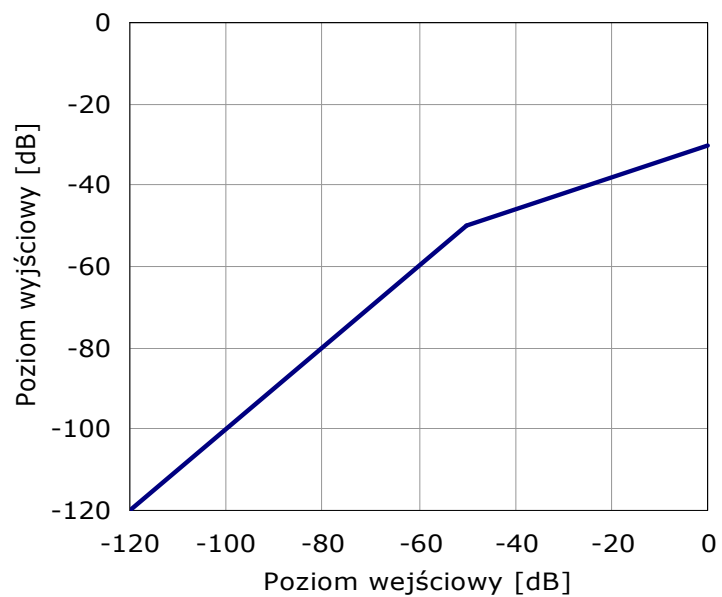
Współczynnik kompensacji – stosunek przyrostu poziomu wejściowego do przyrostu poziomu wyjściowego.

W zależności od współczynnika kompensacji dla „odcinka pracy” kompondera, układy dzielimy na:

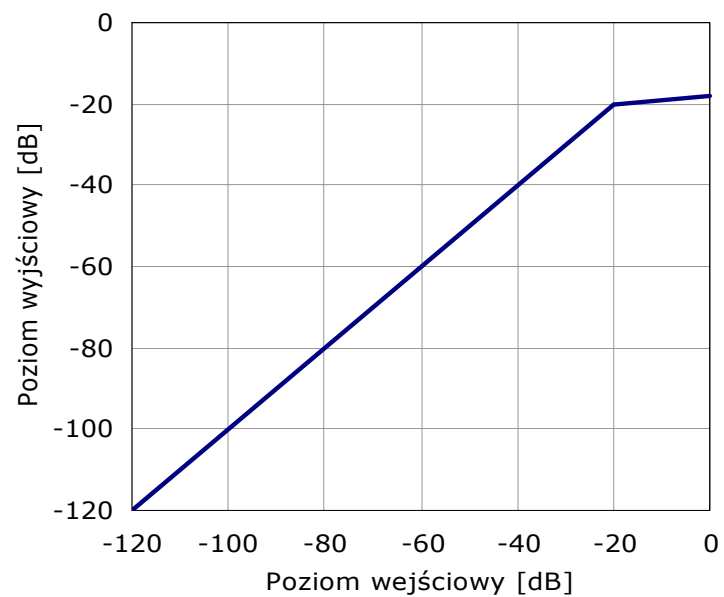
- kompresory (więcej niż 1:1),
- ograniczniki (duży współczynnik),
- ekspandery (mniej niż 1:1),
- bramki szumów (mały współczynnik).

Kompresory zwykle wykorzystują detektor wartości skutecznej, ograniczniki – wartości szczytowej.

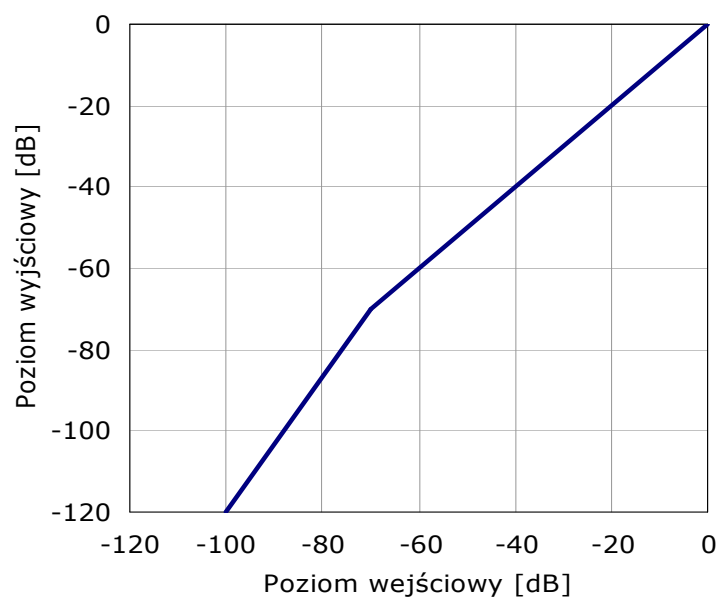
Kompresor



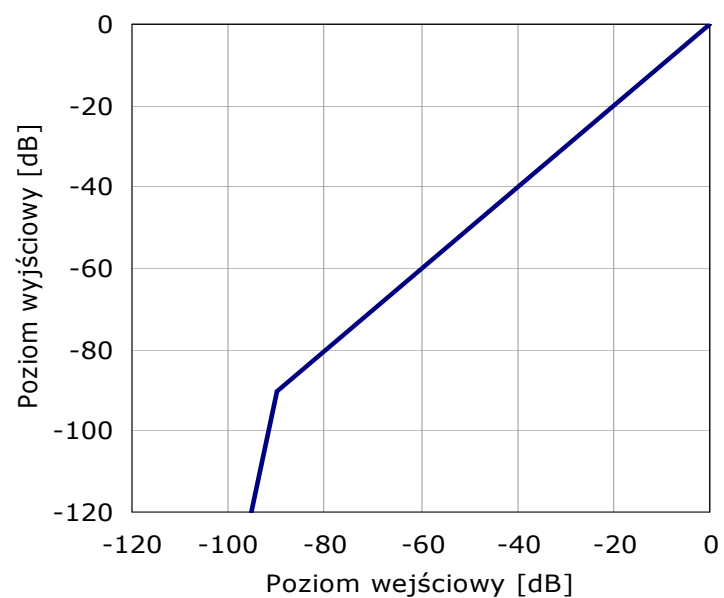
Ogranicznik



Ekspander



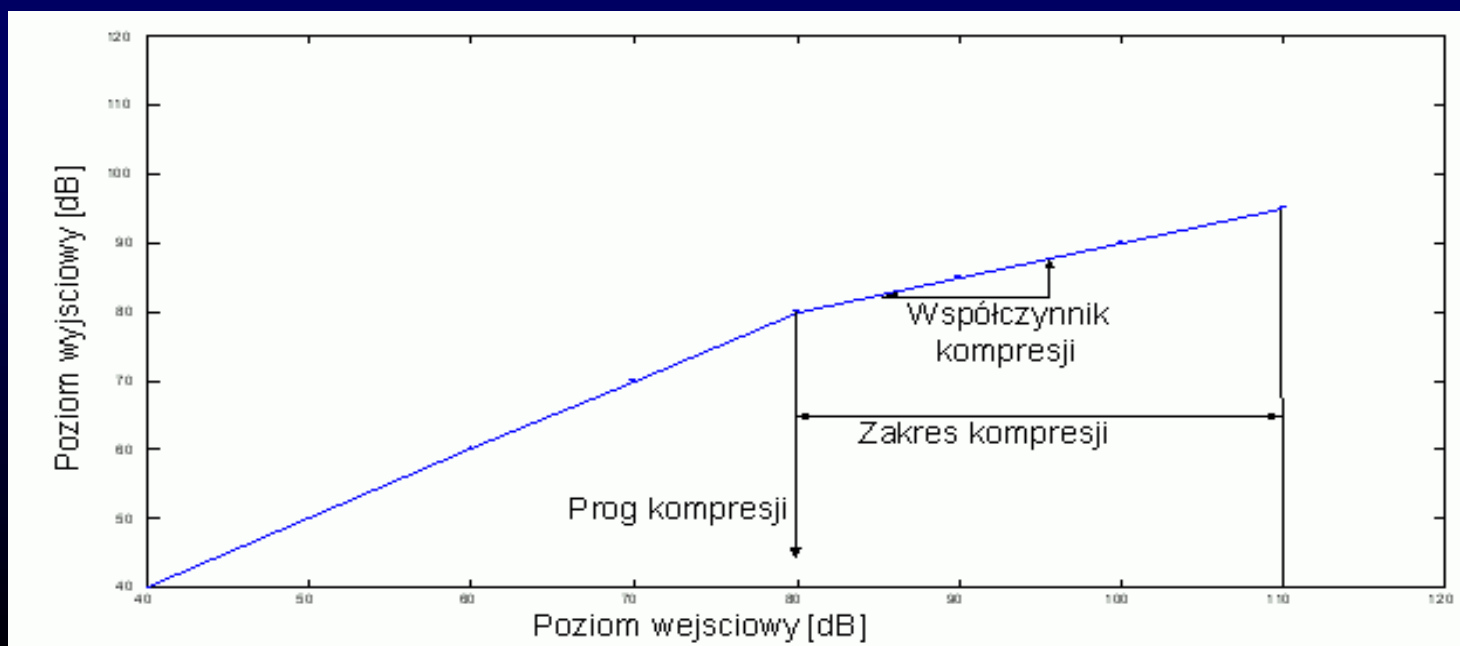
Bramka



Charakterystyka statyczna komandera

Charakterystyka statyczna – obserwowana w jednym punkcie czasu. Pomiar jest analogiczny do pomiaru liniowości urządzenia:

- na wejście podaje się sygnał sinusoidalny z generatora (typowo 1 kHz, chyba że jest to kompander pasmowy), o zmiennym poziomie
- mierzy się poziom sygnału na wyjściu i wykreśla się go w funkcji poziomu wejściowego



Charakterystyka statyczna kompandera

Pomiar charakterystyki statycznej kompandera pozwala zbadać:

- czy charakterystyka w odcinku „liniowym” jest liniowa
- czy charakterystyka w zakresie kompansji jest zgodna z założeniami (próg i współczynnik kompansji).

Zwykle w pobliżu punktu progowego charakterystyka jest „zaokrąglona” (nie ma gwałtownej zmiany nachylenia charakterystyki) – nie jest to błąd!

Należy używać właściwego detektora w analizatorze (wartość skuteczna lub szczytowa).

Charakterystyka dynamiczna kompensacji

Charakterystyka dynamiczna układu kompensacji jest obserwowana w pewnym odcinku czasu.

Opisuje ona reakcję układu na gwałtowne zmiany poziomu sygnału wejściowego:

- przejście z odcinka liniowego do zakresu kompensacji,
- przejście z zakresu kompensacji do liniowego

Charakterystykę dynamiczną kompensacji ustala się poprzez parametry układu.

Nieprawidłowe parametry układu kompensacji mogą powodować słyszalne zniekształcenia dźwięku, określane jako „pompowanie” lub „oddychanie”.

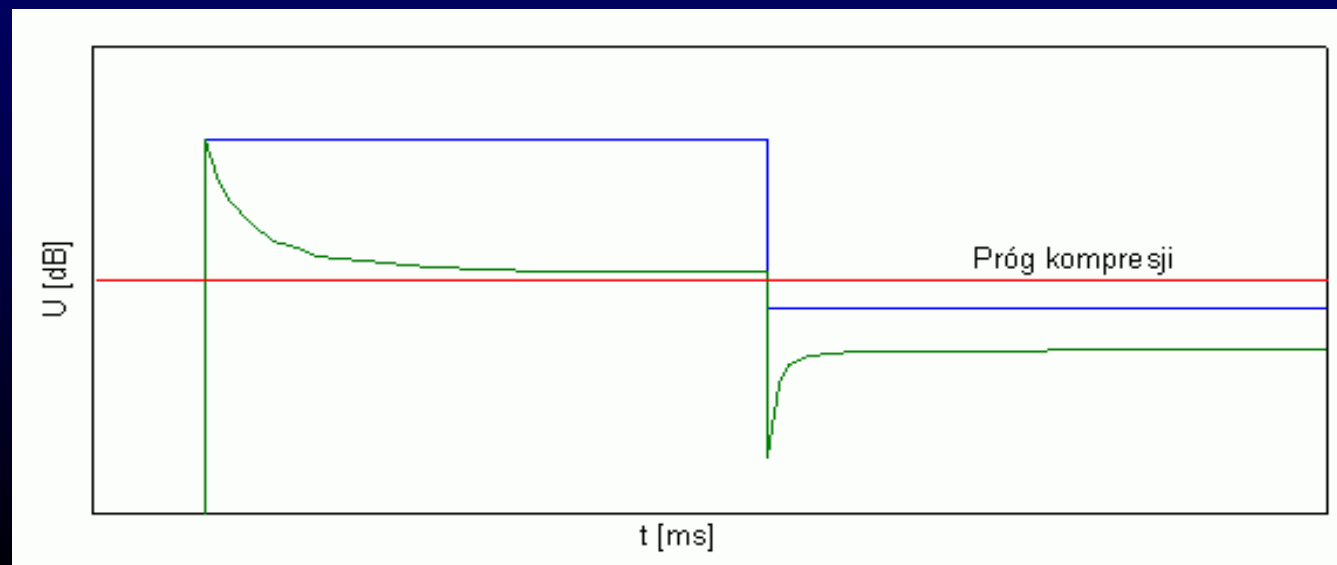
Parametry dynamiczne kompanderów

Parametry definiujące charakterystykę dynamiczną kompandera:

- czas ataku (*attack time*) – T_A
- czas zwolnienia (*release time*) – T_R

Są to czasy reakcji układu na zmianę poziomu sygnału i zmianę zakresu pracy układu.

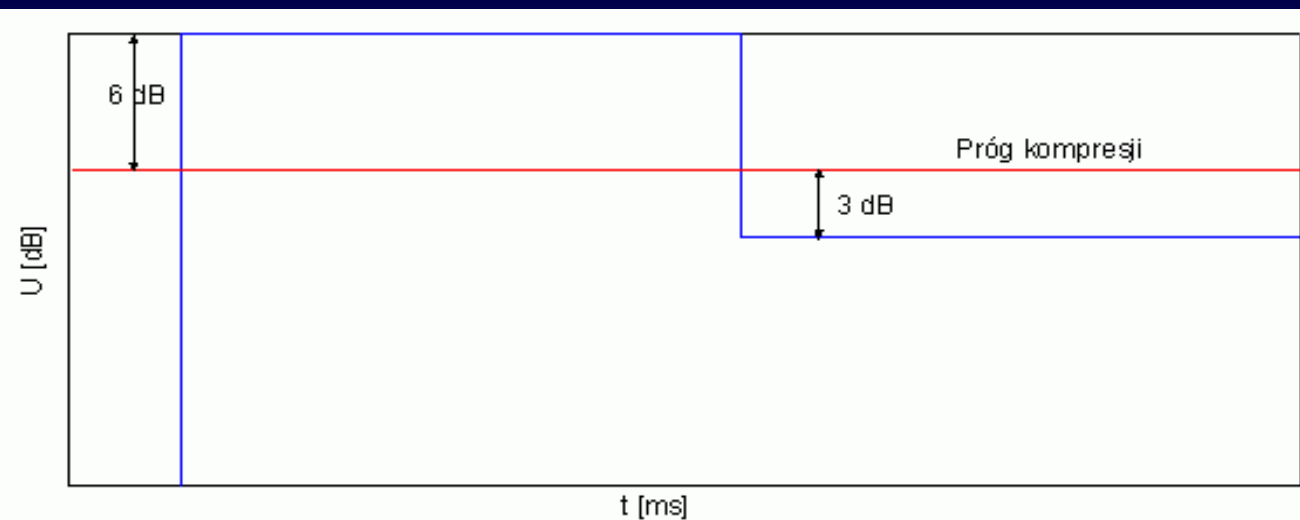
Związane są one z **czasem uśredniania** w detektorach poziomu (wartości szczytowej lub skutecznej).



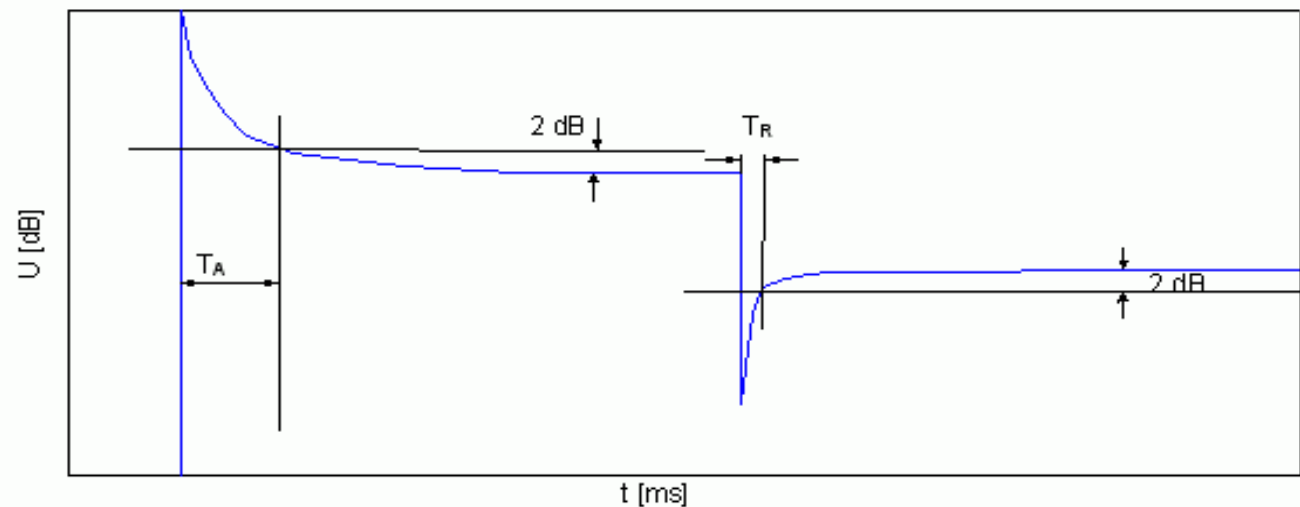
Parametry dynamiczne kompanderów

Pomiar czasu ataku i zwolnienia wg zaleceń IEC

Sygnał testowy



Sygnał z wyjścia kompresora



Parametry dynamiczne kompanderów

W praktyce czas ataku i zwolnienia w kompanderach powinien być regulowany przez użytkownika.

Pomiar czasu ataku i zwolnienia:

- w kompanderach o nieznanymi wartościami czasu ataku i zwolnienia – pozwala zmierzyć te wartości
- w układach o regulowanych parametrach dynamicznych – sprawdzenie poprawności działania układu

Sygnal pomiarowy – skokowe zmiany poziomu, np. „paczki” szumu (*burst*).

Analizator – powinien mieć funkcję wyznaczania i wykreślenia obwiedni sygnału.

Pomiary kompanderów

Inne parametry kompanderów (np. zniekształcenia harmoniczne) mierzy się tak samo, jak dla typowych układów.

Problem występuje w przypadku pomiaru szumów.

Zwykle wyznacza się pewien poziom referencyjny sygnału, względem którego podaje się poziom szumu.

Układ kompresji powoduje stłumienie sygnału o dużym poziomie. Wskutek tego zmierzony klasyczną metodą stosunek sygnału do szumu będzie zaniżony.

Konieczne jest stosowanie specjalnych technik pomiaru szumu w kompanderach lub wyłączenie kompandera przy pomiarach urządzeń złożonych.

Kołysanie i drżenie dźwięku (wow & flutter)

Zniekształcenia związane z nierównomiernością przesuwu taśmy w magnetofonach lub płyty w gramofonach klasyfikuje się w zależności od częstotliwości modulacji:

- $< 0,2$ Hz – „pływanie dźwięku”, powolne zmiany wysokości tonów
- $0,2 - 10$ Hz: kołysanie (*wow*), słyszalne jako „jęczący dźwięk”,
- > 10 Hz: drżenie (*flutter*), słyszalne jako „chrypiący dźwięk” (duża liczba składowych pojawia się w widmie sygnału).

W języku angielskim parametr opisujący zniekształcenia tego typu nazywa się „*wow and flutter*” (W&F).

Pomiar kołysania i drżenia

Metoda pomiaru kołysania i drżenia:

- z taśmy/płyty pomiarowej odtwarzany jest ton testowy o częstotliwości 3 kHz lub 3,15 kHz,
- zmodulowany częstotliwościowo sygnał jest przetwarzany przez dyskryminator – mierzy odchyłkę (dewiację) częstotliwości od wartości średniej
- sygnał jest przetwarzany przez filtr wagowy o paśmie od 2,4 kHz do 4 kHz (korekcja ze względu na uciążliwość modulacji dla słuchacza),
- zmierzona odchyłka częstotliwości jest zamieniana na sygnał napięcia, mierzony przez detektor wartości skutecznej lub szczytowej.

Pomiar kołysania i drżenia

- Sygnał testowy musi być zarejestrowany przez urządzenie o bardzo małym drzeniu i kołysaniu.
- Należy zmierzyć parametr w kilku miejscach taśmy (początek, środek, koniec).
- Pomiar średniej częstotliwości umożliwia jednocześnie zmierzenie prędkości przesuwu taśmy.

Normy dla nierównomierności przesuwu:

- magnetofony kasetowe powszechnego użytku: $\pm 0,5\%$
- sprzęt profesjonalny: $\pm 0,2\%$

Drżenie szerokopasmowe

Drżenie szerokopasmowe (*scrape flutter*) – modulacje częstotliwości obejmujące szeroki zakres częstotliwości: powstają składowe widmowe do ok. 5 kHz.

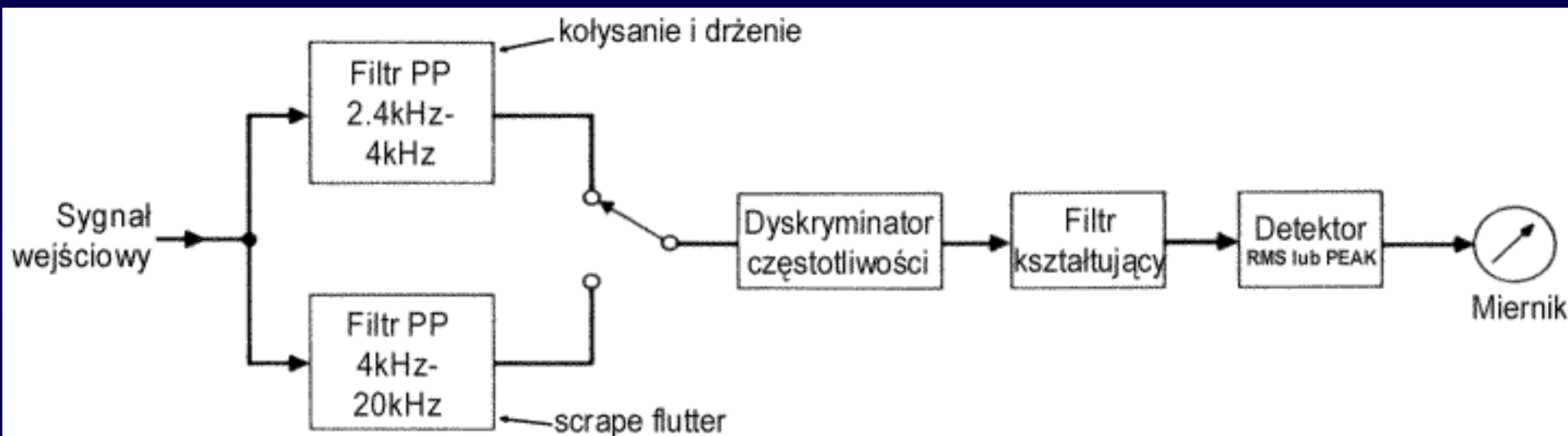
Efekt *scrape flutter* wywołany jest najczęściej przez rozciąganie się taśmy oraz ślizganie się taśmy na rolkach i głowicach.

Metoda pomiaru jest analogiczna jak w *wow & flutter*, ale:

- ton testowy 12 kHz,
- filtr wagowy: pasmo 4 kHz – 20 kHz

Pomiar kołysania, drżenia i *scrape flutter*

Układ pomiarowy:



Bibliografia

- Bob Meltzer: *Audio Measurement Handbook* <http://www.ap.com/download/file/24>
- David Mathew: *How to Write (and Read) Audio Specifications* <http://www.ap.com/download/file/472>
- Gary Davis, Ralph Jones: *The Sound Reinforcement Handbook*
Yamaha, 1988
- Audio Precision: *System TWO User's Manual* <http://www.ap.com/download/file/53>
- L. Korniluk: *Miernictwo elektroakustyczne – interaktywne lekcje* <http://sound.eti.pg.gda.pl/student/elearning/pomiary.html>
- Wikipedia