

WPROWADZENIE

Generatory, analizatory,
sygnały testowe i jednostki

Scenariusze pomiarowe

1. Pomiary urządzeń elektroakustycznych:

- urządzenie w formie „skrzynki”
- na wejściach i wyjściach: sygnał elektryczny, przenoszący informację o dźwięku
- urządzenia:
 - analogowe,
 - cyfrowe,
 - przetworniki A/C i C/A
- przykłady: konsolety, wzmacniacze, procesory efektów, rejestratory, karty dźwiękowe

Scenariusze pomiarowe

2. Pomiar przetworników elektroakustycznych („pomiar akustyczne”)

- głośniki, mikrofony, słuchawki
- po jednej stronie: sygnał **akustyczny** (fala dźwiękowa)
- po drugiej stronie: analogowy sygnał elektryczny
- wymagane pomieszczenie pomiarowe eliminujące odbite fale dźwiękowe (idealnie: komora bezechowa)

Scenariusze pomiarowe

3. Pomiar akustyczne w pomieszczeniach

- pomiar czasu pogłosu pomieszczenia
- pomiar izolacyjności odgrody (np. ścian)
- pomiar zrozumiałości mowy w pomieszczeniu
- ocena systemów nagłośnieniowych

4. Testy subiektywne

- ocena jakości dźwięku poprzez odsłuch i przydzielanie liczbowej oceny (grupa ekspertów, analiza statystyczna)
- zastosowania: ocena jakości zestawów głośnikowych, ocena dźwięku w pomieszczeniu, itp.

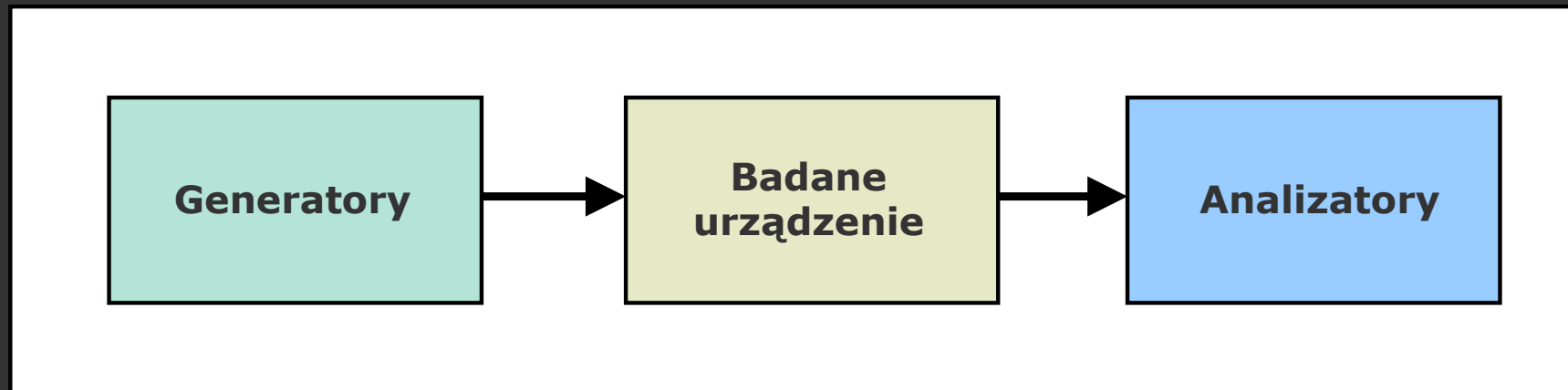
Cel pomiarów

Po co wykonujemy pomiary?

- Sprawdzamy czy sprzęt spełnia nasze wymagania (np. czy zniekształcenia nieliniowe są $<$ progu).
- Porównujemy różny sprzęt i wybieramy ten o najlepszych parametrach.
- Sprawdzamy czy urządzenie działa poprawnie (diagnostyka).
- Szukamy przyczyny nieprawidłowego działania lub usterki.
- Badamy parametry skonstruowanego przez siebie urządzenia.

System pomiarowy

- **Generator** – wytwarza sygnał testowy (zwykle sinus)
- Badane urządzenie (*device under test* – **DUT**) przetwarza sygnał testowy z wejścia i wysyła go na wyjście.
- **Analizator** – mierzy sygnał odebrany z wyjścia badanego urządzenia i porównuje z sygnałem testowym.



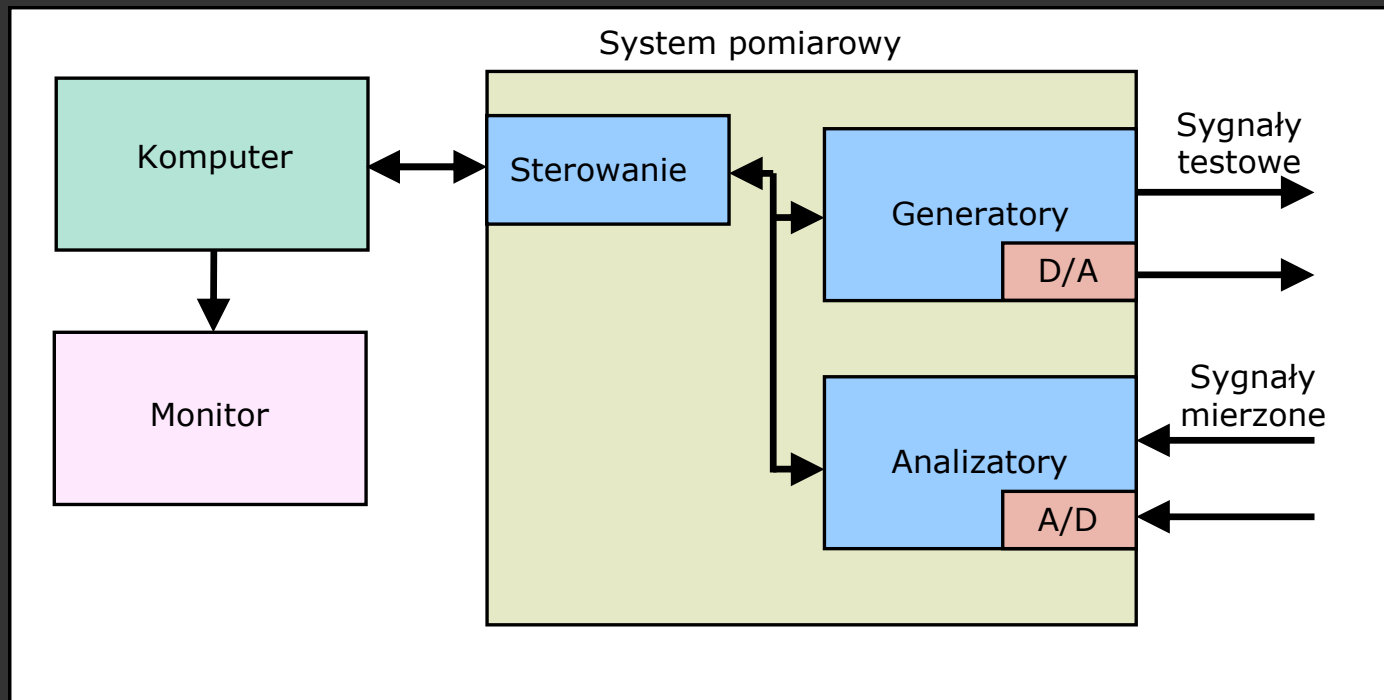
System pomiarowy

- „Klasyczna” metoda pomiaru: generator i analizator są osobnymi urządzeniami.
- Podejście obecnie stosowane raczej w pomiarach akustycznych. W p. elektroakustycznych używa się systemów zintegrowanych.
- Wada tego podejścia: konieczność ręcznego strojenia generatora i samodzielnego odczytywania wyników.
- Czasami musimy dokonać pomiarów „niestandardowych”, np. podłączyć cyfrowy oscyloskop do wyjścia DUT. Dlatego warto mieć samodzielny generator.

Zintegrowany system pomiarowy

Większość współczesnych systemów pomiarowych:

- „skrzynka” zawierająca generatory i analizatory, a także zestaw wejść i wyjść w różnych formatach
- urządzenie jest podłączane do komputera przez USB
- oprogramowanie steruje pracą systemu: zmiana ustawień, odczyt wyników, automatyzacja, itp.



Zintegrowany system pomiarowy

„Tradycyjne” podejście:

- ręcznie ustawić generator,
- odczytać wynik i przepisać na kartkę,
- powtórzyć dla wszystkich punktów pomiarowych,
- narysować wykres charakterystyki. ☹️☹️☹️

Używając systemu zintegrowanego:

- wczytać plik z testem i uruchomić go,
- wydrukować wynik. 😊
- (System samodzielnie przestraja generator i analizator oraz tworzy wykres.)

Przykład systemu zintegrowanego

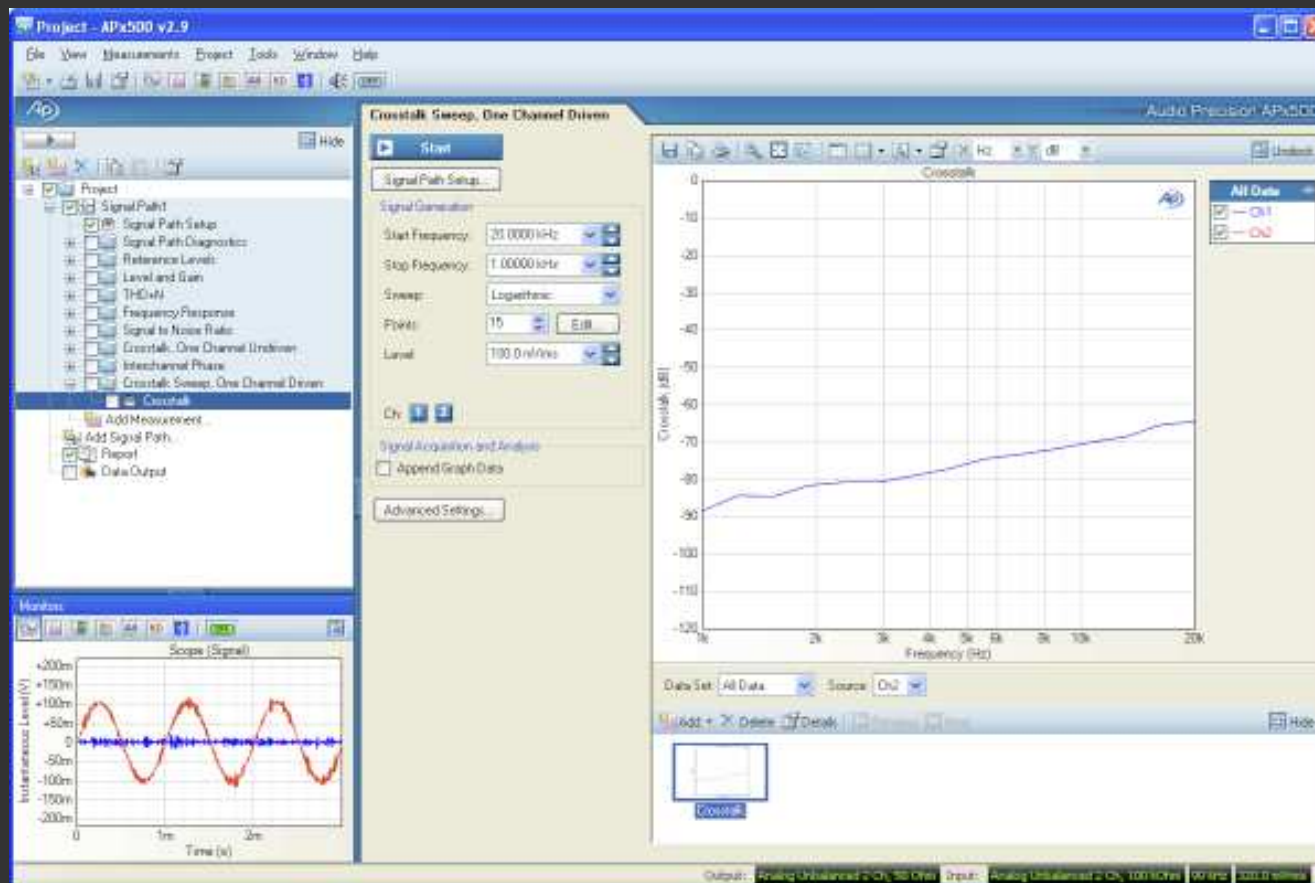
Audio Precision APx585 (na wyposażeniu Katedry – Lab. 5)

- 8 kanałów
- wejścia/wyjścia analogowe: niesymetryczne (BNC) i symetryczne (prześciówka na XLR, itp.)
- wejścia/wyjścia cyfrowe: XLR (AES/EBU), optyczne (TOSLINK), SPDIF, HDMI Audio



Przykład systemu zintegrowanego

Cała obsługa systemu APx585 odbywa się za pomocą oprogramowania zainstalowanego na komputerze.



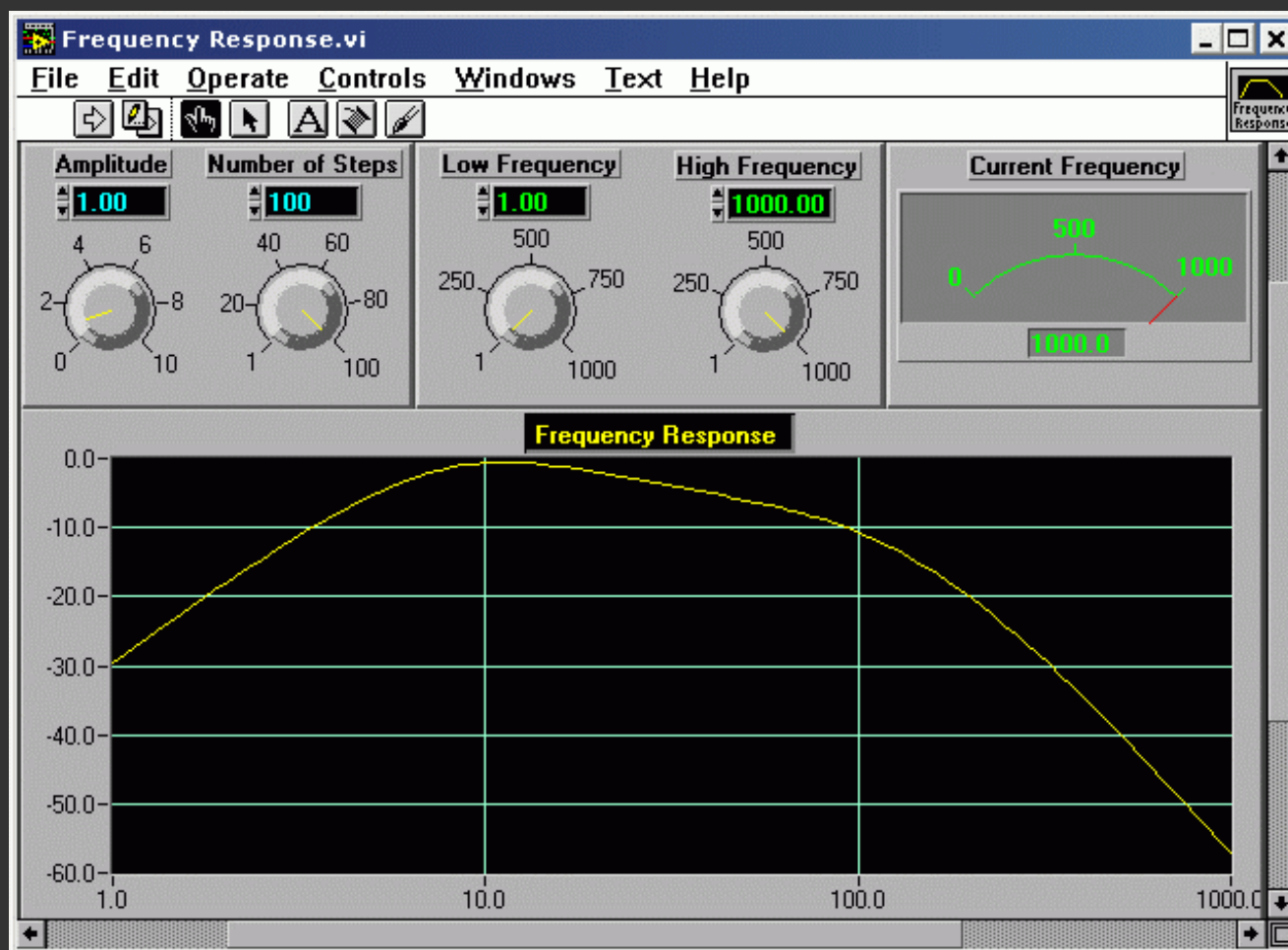
LabView

LabView – komercyjny system firmy *National Instruments*.

- System oparty na oprogramowaniu.
- Inne podejście: samodzielnie budujemy system pomiarowy (dobre do niestandardowych pomiarów).
- Schematy buduje się w sposób graficzny, umieszczając na schemacie i łącząc bloki funkcjonalne.
- Dane pomiarowe mogą być uzyskiwane z różnych interfejsów.
- Możliwość przeprowadzania dowolnej analizy danych.

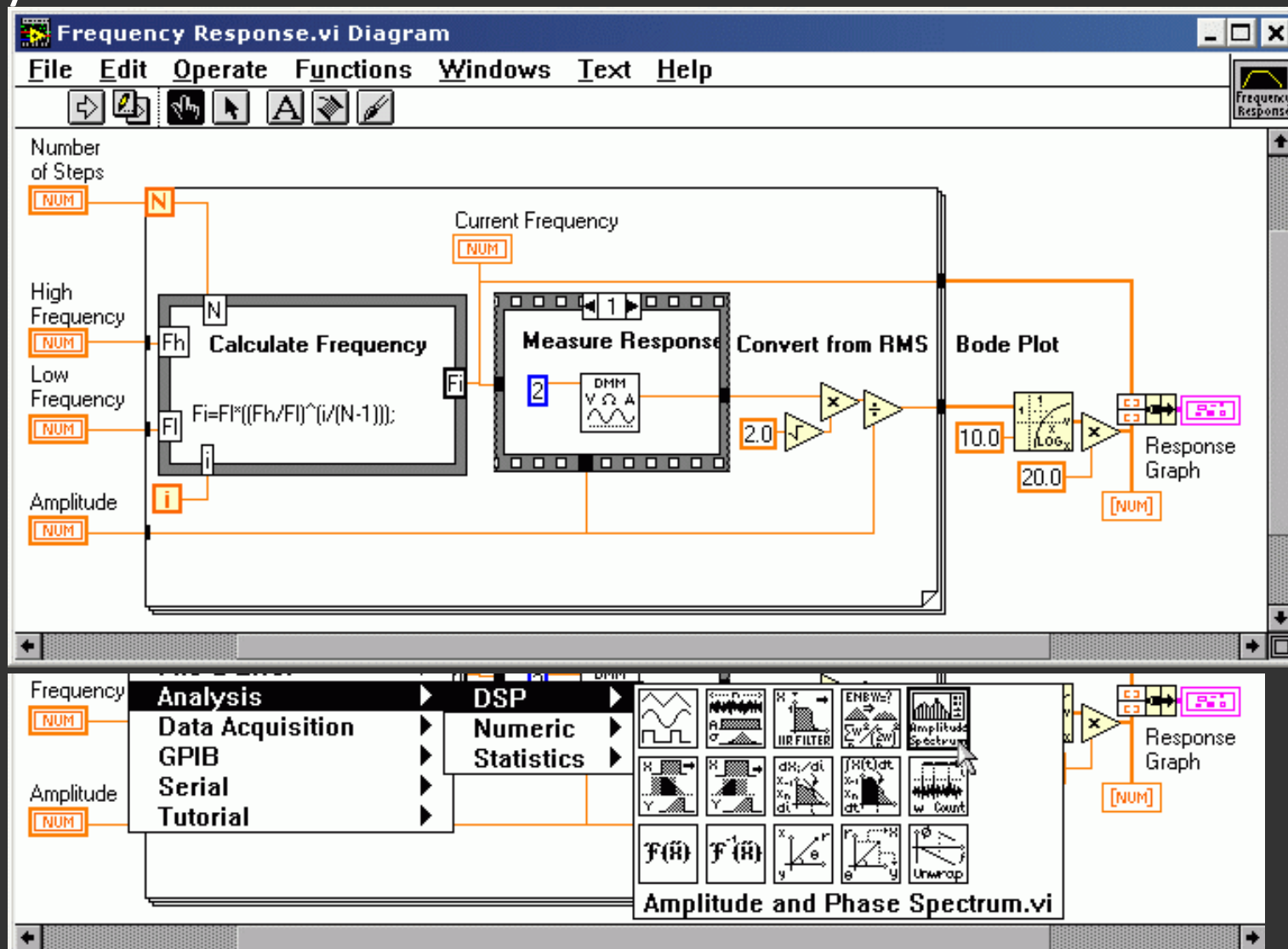
LabView - panel czołowy

Wirtualny przyrząd LabView składa się z dwóch części.
Panel czołowy zawiera elementy sterujące urządzeniem
i prezentujące wyniki pomiarów.



LabView - diagram

Diagram prezentuje „wnętrze” przyrządu – tutaj łączy się wszystkie bloki.



Wymagania stawiane systemom pomiarowym

- Dokładność („klasa” przyrządu) – nie tylko dokładność pomiaru, ale też brak wprowadzania zniekształceń.
- Wszechstronność – ile typowych testów możemy wykonać tym przyrządem?
- Ergonomia – ile wysiłku trzeba włożyć aby uzyskać wyniki? Na ile czytelnie są prezentowane wyniki?
- Automatyzacja – zapisywanie scenariuszy testowych do plików, możliwość tworzenia skryptów do wykonywania zestawu powtarzanych testów.
- Elastyczność – czy możemy rozszerzyć możliwości o dodatkowe moduły i funkcje?

Klasa systemu pomiarowego

Stara zasada mówi:

system pomiarowy musi być co najmniej o klasę lepszy niż to, co ten system mierzy.

Co to znaczy „o klasę lepszy”?

- Klasa nie jest wprost zdefiniowana.
- Profesjonalne systemy pomiarowe (takie jak APx585) są certyfikowane pod kątem dokładności pomiarów.
- Możemy więc się spodziewać, że taki system będzie o klasę lepszy niż urządzenie studyjne, które mierzymy.

Klasa systemu pomiarowego (c.d.)

Co się stanie jeżeli złamiemy tę zasadę?

Przykład: mierzymy urządzenie za pomocą laptopa z programem Audacity.

- Generator (komputer, program, przetwornik C/A) może nie generować „czystego” sinusa – może on zawierać dodatkowe składowe harmoniczne i szum.
- Badane urządzenie wprowadza własne zniekształcenia.
- Analizator (przetwornik A/C, komputer, program) może wnieść kolejne zniekształcenia.

Klasa systemu pomiarowego (c.d.)

Co tak naprawdę pomierzyliśmy?

zniekształcenia = $Z(\text{generator}) + Z(\text{urządzenie}) + Z(\text{analizator})$

Co chcieliśmy pomierzyć?

zniekształcenia = $Z(\text{urządzenie})$

Nie jesteśmy w stanie rozdzielić zniekształceń badanego urządzenia i systemu pomiarowego!

Przyrząd „o klasę lepszy” zapewnia że:

- $Z(\text{generator}) = 0$,
- $Z(\text{analizator}) = 0$.

Klasa systemu pomiarowego (c.d.)

- Czy to znaczy, że nie wolno (nigdy przenigdy) łamać tej zasady?
- „Zasady są po to, żeby je łamać”.
- OK, ale bądźmy świadomi konsekwencji. Wyniki pomiarów mogą (ale nie muszą) być gorsze niż w rzeczywistości (zniekształcenia są zaniżone).
- Można łamać tę zasadę przy „testach przesiewowych”, gdy chcemy na szybko sprawdzić czy urządzenie jest w porządku.
- Jeżeli wynik jest znacznie lepszy niż limit, to możemy uznać że jest OK. Jeżeli wynik jest gorszy lub „na granicy”, wymagany jest normalny pomiar.

Generatory

- Zadaniem generatora sygnałowego jest wytworzenie sygnału testowego, który może być wysłany na wejście badanego urządzenia.
- Wymagania stawiane generatorom:
 - brak wprowadzania zniekształceń (np. jeżeli sinus, to bez żadnych składowych harmoniczných),
 - stabilność amplitudy i częstotliwości – **BARDZO WAŻNE!**
 - szybkość ustalania po zmianie parametrów,
 - szeroki zakres częstotliwości i amplitudy,
 - pożądane: możliwość automatycznego przestrajanania.

Sygnaly testowe

Podstawowym sygnałem testowym w pomiarach elektroakustycznych jest **sygnał sinusoidalny** („sinus”).

Dlaczego?

- Prosty sygnał, łatwy do generowania i do analizy.
- Energia skupiona wokół jednej częstotliwości („jeden prążek widmowy”).
- Trzy parametry: amplituda, częstotliwość i faza.
- Zniekształcenia nieliniowe (dodatkowe harmoniczne) są łatwe do wykrycia, nawet „na ucho”.
- Pomiar całego pasma częstotliwości wymaga powtórzenia pomiaru dla wielu punktów (np. 30).

Generatory przestrajane

Generator tego typu może mieć automatycznie przestrajaną częstotliwość i amplitudę.

- **Przestrajanie krokowe** (*stepped sweep*) – wartość zmienia się skokowo. Definiujemy zakres i liczbę punktów. Stosowane gł. w p. elektroakustycznych.
- **Przestrajanie ciągłe** (*continuous sweep*) – wartość zmienia się w sposób ciągły, liniowo lub logarytmicznie. Powstały efekt nazywa się sygnałem świergotowym (*chirp*). Stosowane głównie w p. akustycznych.

Sygnaly testowe

Inne sygnaly testowe stosowane w p. elektroakustycznych:

- **dwuton** (suma dwóch sinusów) – p. zniekształceń intermodulacyjnych,
- sygnał **prostokątny** – p. zniekształceń transjentowych (powstających przy zmianie amplitudy),
- **wieloton** – suma wielu (5-31) sinusów, stosowany do szybkich pomiarów całego pasma częstotliwości metodą cyfrową,
- **szumy** – w pomiarach „skrzynek” stosowane bardzo rzadko.

Sygnały testowe

Sygnały stosowane w pomiarach akustycznych:

- szum
 - różowy (analizatory tercjowe i oktawaowe),
 - biały (analizatory FFT)
 - wąskopasmowy – stosowany zamiast sinusa
- sygnał sinusoidalny
- sygnał prostokątny (zn. transjentowe głośników)

Niektóre osoby uważają, że w p. akustycznych szum wąskopasmowy jest lepszy niż sinus, który nie jest w stanie wytworzyć stabilnego pola akustycznego.

Płyty testowe

Płyty testowe (CD, DVD) oraz inne nośniki cyfrowe mogą zastąpić generatory w specyficznych sytuacjach.

- Pomiar odtwarzaczy CD i DVD – nie ma gdzie „podpiąć” generatora, więc używamy płyty jako źródła sygnału. Stosujemy profesjonalne płyty (zwykle dostarczane z systemem), zawierające zbiór potrzebnych sygnałów.
- Testy odsłuchowe – specjalistyczny zbiór fragmentów nagrań mowy oraz muzyki (różne gatunki) pozwalający na ocenę jakości dźwięku przez grupę słuchaczy-ekspertów.

Jeżeli można podłączyć generator, należy unikać stosowania płyt jako źródła sygnałów testowych.

Analizator

Analizator realizuje następujące funkcje.

- Wstępne przetwarzanie (*input signal conditioning*) – polega zazwyczaj na przepuszczeniu sygnału przez filtry, usuwające niepożądane składowe sygnału.
- Detekcja amplitudy, zwykle wartości skutecznej.
- W niektórych systemach: przetwarzanie wyniku pomiaru, np. porównanie z sygnałem testowym, obliczenie wsp. zniekształceń harmoniczných, itp.
- Przekazanie wyników do systemu, który prezentuje je użytkownikowi.

Analizator - wstępne przetwarzanie

Zadaniem wstępnego przetwarzania (*signal conditioning*) jest przygotowanie sygnału do pomiaru. Typowe operacje:

- filtracja ograniczająca pasmo do częstotliwości akustycznych 20 Hz – 22 kHz
- filtry wąskopasmowe pozostawiające tylko pasmo wokół częstotliwości ustawionej na generatorze
- filtry usuwające szczególne pasma częstotliwości, np. zakłócenia od sieci energetycznej
- dowolne inne filtry ustawione przez użytkownika

Dodatkowe funkcje analizatorów

Tradycyjne analogowe analizatory potrafią jedynie zmierzyć i pokazać mierzoną wartość.

Współczesne (cyfrowe) systemy pomiarowe potrafią więcej:

- prezentacja postaci czasowej sygnału (oscylloskop),
- analiza widmowa (FFT),
- nakładanie wielu pomiarów na jeden wykres,
- opcje zoomowania, kursory do pomiaru wartości,
- przetwarzanie wyników (skrypty),
- tworzenie raportów gotowych do wydruku lub w PDF.

Obciążenie (impedancja) urządzenia

- Gdy normalnie używamy badane urządzenie, do jego wejścia i wyjścia są zwykle podłączone inne urządzenia, które obciążają złącza pewną impedancją.
- Aby warunki pomiarowe były zbliżone do naturalnych, system pomiarowy musi obciążać wejścia i wyjścia badanego urządzenia w taki sam sposób.
- Dlatego system pomiarowy posiada zazwyczaj możliwość ustawienia impedancji obciążenia (*termination resistance*).

Połączenia symetryczne i niesymetryczne

Należy pamiętać o podłączeniu urządzenia do właściwego gniazda w systemie pomiarowym. Zazwyczaj mamy dostępne dwa standardy połączeń analogowych (i nie wolno ich mylić).

- Połączenia **symetryczne** (*balanced*) – dwie linie sygnałowe i jedna masa na jeden kanał. Zazwyczaj złącza typu XLR. Typowe połączenia w sprzęcie profesjonalnym.
- Połączenia **niesymetryczne** (*unbalanced*) – jedna linia sygnałowa i jedna (wspólna) masa na kanał. Znacznie częściej stosowane w sprzęcie konsumenckim (złącza Jack, RCA – „Cinch”, BNC).

Jednostki amplitudy

Amplituda sygnału analogowego (w skali liniowej) jest wyrażana w woltach (V). Jest kilka możliwości.

- Wartość **skuteczna** (RMS) – omówiona na następnym slajdzie. Stosowana w większości przypadków!
- Wartość **szczytowa** (U_p) lub **międzyszczytowa** (U_{pp}) - rzadko stosowana, głównie przy wykrywaniu przesterowań.
- Wartość **średnia** (U_a) – była stosowana w starszych analizatorach, obecnie praktycznie nie używana.

Wartość skuteczna amplitudy

Wartość skuteczna (RMS – *root mean square*):

- **R** – *root* – pierwiastek kwadratowy
- **M** – *mean* – średniej
- **S** – *square* – kwadratu sygnału

Wartość skuteczna jest skorelowana z energią sygnału, a więc i z subiektywną głośnością sygnału.

Dla sygnału sinusoidalnego: $U_{rms} = U_p / \sqrt{2}$

$$U_p = 1,000 \text{ V} \quad \rightarrow \quad U_{rms} = 0,707 \text{ V}$$

$$U_p = 1,414 \text{ V} \quad \rightarrow \quad U_{rms} = 1,000 \text{ V}$$

„Pomiar” mocy

Systemy pomiarowe audio podają również moc w watach. W rzeczywistości, moc jest obliczana z pomiaru napięcia U :

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

R jest impedancją wejścia lub wyjścia, na którym jest mierzone napięcie U .

Aby podawana moc miała sens, należy użyć rzeczywistej wartości R i podać ją w specyfikacji.

Amplituda w decybelach

Wynik pomiaru można przedstawić w decybelach, jako logarytmiczną miarę stosunku zmierzonej wartości do wartości odniesienia. Istnieje kilka wartości referencyjnych.

- **dBu**: $L = 20 \log_{10}(U/U_r)$, gdzie $U_r = 0,7746 \text{ V}$.
Skąd taka wartość? Jest to napięcie powodujące wydzielenie mocy $P = 1 \text{ mW}$ na obciążeniu $R = 600 \Omega$.
Najczęściej używana jednostka decybelowa.
- **dBV**: $L = 20 \log_{10}(U)$, czyli napięcie względem $U_r = 1 \text{ V}$.
Proste przekształcenie, ale brak fizycznej interpretacji.
Raczej nie stosowane w profesjonalnym sprzęcie.
- **dBm**: decybele mocy, $L = 10 \log_{10}(P/P_r)$, $P_r = 1 \text{ mW}$,
moc jest przeliczana z napięcia ($P = U^2/R$), $R = 600 \Omega$.

Skąd się wzięło 600 Ω ?

- Dawno, dawno temu, w profesjonalnym sprzęcie audio, impedancja wejść i wyjść musiała być dopasowana, aby nie występowały straty mocy.
- Przyjęto standard 600 Ω , choć niektóre kraje stosowały 150 Ω lub 300 Ω .
- Pomiar mocy w dBm odnosił się do $R = 600 \Omega$.
- To już zaszłość. We współczesnym sprzęcie stosuje się inne (różne) wartości impedancji.
- Wyniki podawane w dBm nie są zatem prawidłowe, ponieważ rzeczywiste $R \neq 600 \Omega$.
- Wniosek: nie należy używać dBm, tylko dBu!

Decybele „względne”

- Jednostki względnej dBr (lub po prostu dB) używamy wtedy, gdy wartość odniesienia nie jest istotna.
- Często interesują nas tylko różnice między zmierzonymi wartościami (np. pomiar SNR).
- Wynik dla ustalonego punktu (zwykle dla 1 kHz) przyjmujemy za „zero” (0 dBr).
- Wartości dla innych punktów podajemy względem „zera”
 - wystarczy odjąć „zwykłe” decybele, np.:
 - dla 1 kHz: $U = 56 \text{ dBm} = 0 \text{ dBr}$
 - dla 20 Hz: $U = 53,5 \text{ dBm} = (53,5 - 56) = -2,5 \text{ dBr}$

Amplituda sygnału cyfrowego

W przypadku sygnału cyfrowego:

- amplituda w skali liniowej: wartość z zakresu od -2^{N-1} do $2^{N-1}-1$, gdzie N jest rozdzielczością bitową; niewygodny sposób, zależy od rozdzielczości
- amplituda względna: **FFS** (*fraction of full scale*): wartość w skali liniowej podzielona przez maksymalną wartość zakresu (2^{N-1})
- wartość decybelowa: L [**dBFS**] = $20 \log_{10}(\text{FFS})$
maksymalna wartość (1 FFS) to 0 dBFS

Odstęp między liczbą a jednostką

Dygresja. Bardzo częsty błąd w pracach studentów: brak odstępu między liczbą a jednostką. Zasada pisowni:

- **zawsze** stawiamy odstęp między liczbą a oznaczeniem jednostki, które jest skrótowcem jej nazwy:
 - poprawnie: **1 kHz, 5 V, -20 dB, 600 Ω**
 - niepoprawnie: 1kHz, 5V, -20dB, 600Ω
- nie stawiamy odstępu między liczbą a symbolem:
 - poprawnie: **50%, 25°C**
 - niepoprawnie: 50 %, 25 °C

Źródło: Rada Języka Polskiego, <http://tinyurl.com/jednostki-odstep>