

*Pomiary w technice studyjnej*

# WPROWADZENIE

# SYSTEMY POMIAROWE

# Pomiary w technice studyjnej

---

Cel dokonywania pomiarów urządzeń:

- sprawdzenie jak urządzenie działa w określonych warunkach,
- ocena przydatności urządzenia w danym zastosowaniu,
- porównanie działania różnych układów,
- identyfikacja układów wymagających dostrojenia lub naprawy,
- pomiar właściwości zbudowanych przez siebie urządzeń.

# Pomiary w elektroakustyce

---

Najważniejsze rodzaje pomiarów studyjnych:

- **Pomiary toru fonicznego**
  - sygnałem testowym jest sygnał elektryczny lub cyfrowy z generatora.
- **Pomiary w przestrzeniach otwartych**
  - sygnałem testowym jest fala akustyczna, w pomiarach wykorzystuje się mikrofony i głośniki.
- **Pomiary w przestrzeniach ograniczonych**
  - jw., ale należy brać pod uwagę odbicia fali od ścian pomieszczenia
- **Pomiary toru wizyjnego**
  - testowe sygnały wizyjne z generatorów i płyt

# Przeznaczenie systemów pomiarowych

---

Podział systemów pomiarowych ze względu na funkcję:

- **Systemy pomiarowe** – ich działanie polega na porównywaniu wyniku pomiaru z wartością przyjętą za wzorcową.
- **Systemy kontrolne** – ich zadaniem jest obserwacja czy wynik pomiaru zawiera się w zadanym przedziale wartości granicznych.
- **Systemy diagnostyczne** – jeśli pomierzona wartość nie mieści się w zadanym przedziale wartości granicznych, system ma zadanie stwierdzić jaka jest tego przyczyna.

# Systemy pomiarowe

---

Podział systemów pomiarowych ze względu na przeznaczenie:

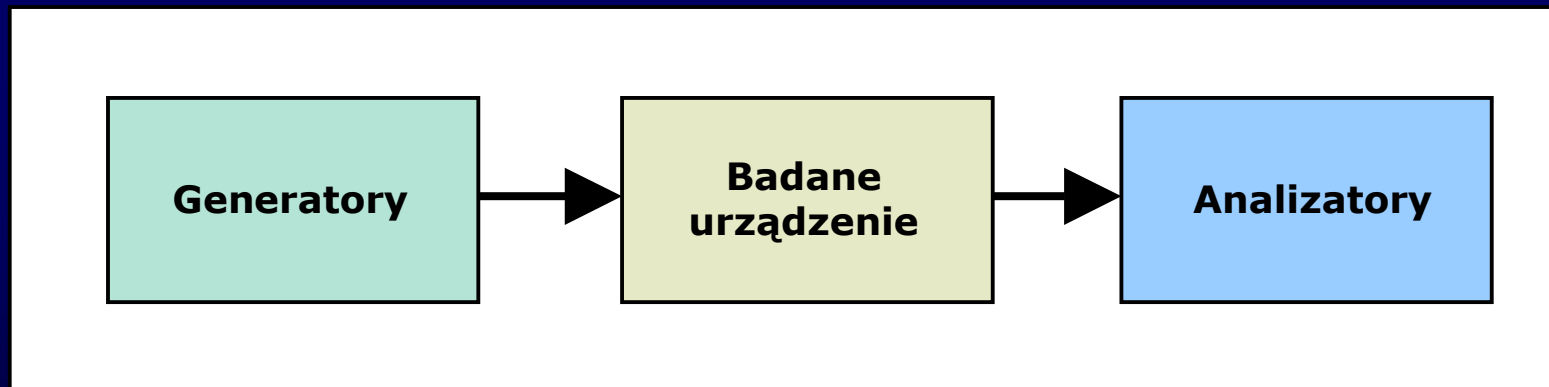
- **laboratoryjne** – bardzo wysoka dokładność pomiaru,
- **produkcyjne** – nacisk położony jest na niezawodność oraz szybkość pomiaru,
- **serwisowe** – ergonomia, wielofunkcyjność oraz automatyka pomiarów.

# Układ pomiarowy

---

Ogólny schemat układu pomiarowego:

- **generatory** – wytwarzają sygnały testowe,
- **badane urządzenie** (ang. DUT – *Device Under Test*),
- **analizatory** – analiza sygnałów testowych przetworzonych przez badane urządzenie.



Jakość generatorów ma decydujący wpływ na jakość sygnałów testowych, a więc i na dokładność pomiarów.

# Klasa układu pomiarowego

---

Generalna zasada:

przrządy pomiarowe (generator i analizator) muszą być o klasę lepsze niż badane urządzenie.

Przykład **złego** układu pomiarowego:

komputer z nieprofesjonalną kartą dźwiękową stosowany do pomiaru parametrów innego urządzenia.

Niska jakość przetworników C/A i A/C karty dźwiękowej, wysoki poziom szumu.

Przykład **dobrego** układu pomiarowego:

Specjalizowany przyrząd pomiarowy, np. System TWO, współpracujący z komputerem za pomocą odpowiedniego interfejsu.

# Kryteria oceny jakości

---

Kryteria oceny jakości systemów pomiarowych:

- dokładność pomiaru (klasa przyrządu)
- szybkość uzyskiwania danych
- ergonomia obsługi
- niezawodność
- sposób zobrazowania wyników
- wielofunkcyjność
- automatyka pomiarów
- możliwość przechowywania danych pomiarowych
- wielkość urządzenia
- odporność na uszkodzenia
- możliwość rozbudowy

# Konstrukcje przyrządów pomiarowych

---

Współczesne przyrządy pomiarowe można pod względem konstrukcji podzielić na kilka grup:

- **Przyrządy specjalizowane** – jednofunkcyjne i wielofunkcyjne.
- **Przyrządy współpracujące z komputerem** – komputer jako interfejs pomiędzy użytkownikiem a przyrządem.
- **Systemy komputerowe** – komputer zaangażowany w proces przetwarzania sygnałów pomiarowych, procesy sterujące, komunikację z użytkownikiem.
- **Przyrządy wirtualne** – oprogramowanie komputerowe, współpracujące z układem pomiarowym.

# Komputerowe systemy pomiarowe

---

Współczesne przyrządy pomiarowe są najczęściej wielofunkcyjnymi urządzeniami komputerowymi.

Budowa typowego komputerowego przyrządu pomiarowego:

- **układ pomiarowy** – generatory, analizatory, przetworniki;
- **oprogramowanie:**
  - sterowanie pracą przyrządu,
  - analiza wyników,
  - zapis wyników i ustawień przyrządu.

# Komputerowe systemy pomiarowe

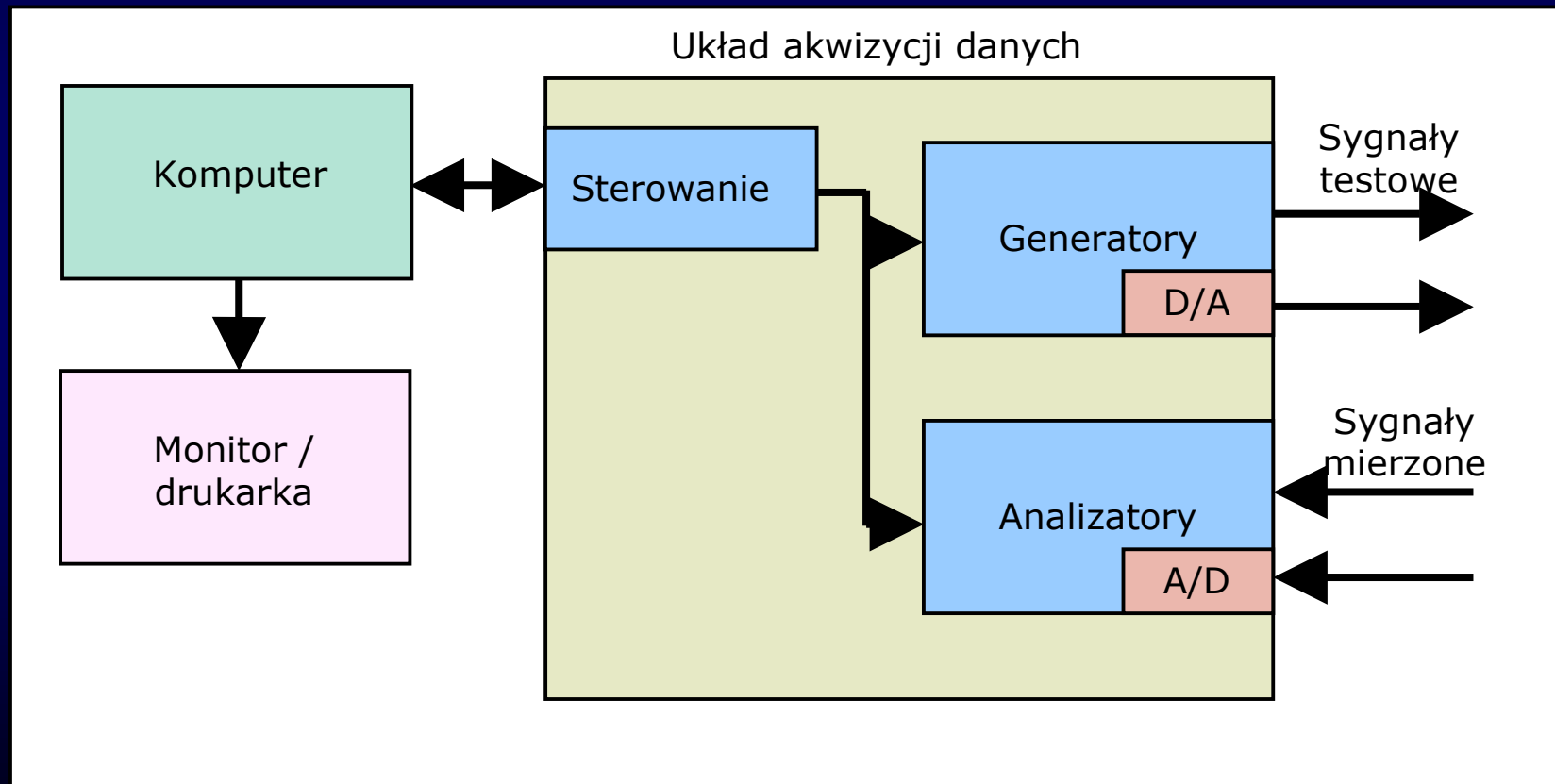
---

Ze względu na konfigurację, komputerowe systemy pomiarowe możemy podzielić na:

- **systemy dedykowane** – samodzielne urządzenia,
- **systemy z zewnętrznym układem akwizycji danych**  
– zewnętrzny układ pomiarowy + karta interfejsu do komunikacji z komputerem, który pełni rolę interfejsu użytkownika,
- **systemy oparte w całości na komputerze**  
– „komputer” wewnątrz przyrządu pełni rolę układu pomiarowego, oprogramowanie tworzy interfejs użytkownika.

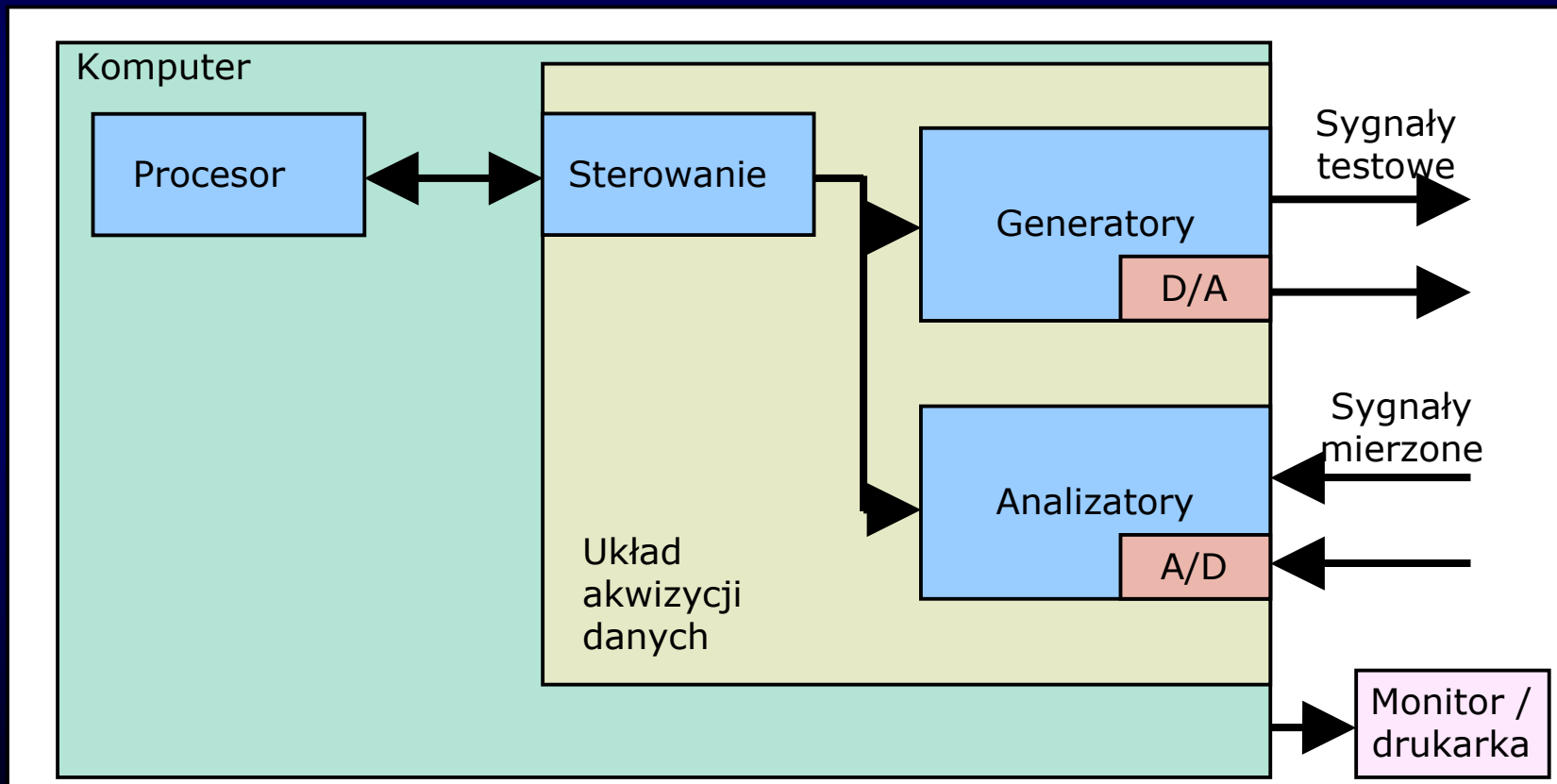
# Analizatory komputerowe

Schemat systemu komputerowego z zewnętrznym układem akwizycji danych



# Analizatory komputerowe

Schemat systemu komputerowego z wewnętrznym układem akwizycji danych



# Interfejs użytkownika

---

Interfejs użytkownika komputerowych systemów pomiarowych powinien spełniać następujące wymagania.

- Wygląd interfejsu powinien przypominać klasyczne urządzenia pomiarowe – pokręta, przełączniki, wyświetlacze, itp.
- Łatwa analiza wyników pomiarów.
- Możliwość zachowywania wyników pomiarów.
- Zapamiętywanie ustawień najczęściej wykonywanych pomiarów.
- Automatyzacja (np. skrypty).
- Elastyczność, ergonomia, prosta obsługa.

# System TWO

---

System TWO firmy *Audio Precision* jest przykładem komputerowego systemu pomiarowego z zewnętrznym układem akwizycji danych. Składniki systemu:

- zewnętrzny układ pomiarowy (generatory, analizatory, przetworniki),
- karta komputerowa (PCI, PCMCIA) – wymiana danych,
- oprogramowanie APWin – sterowanie układem

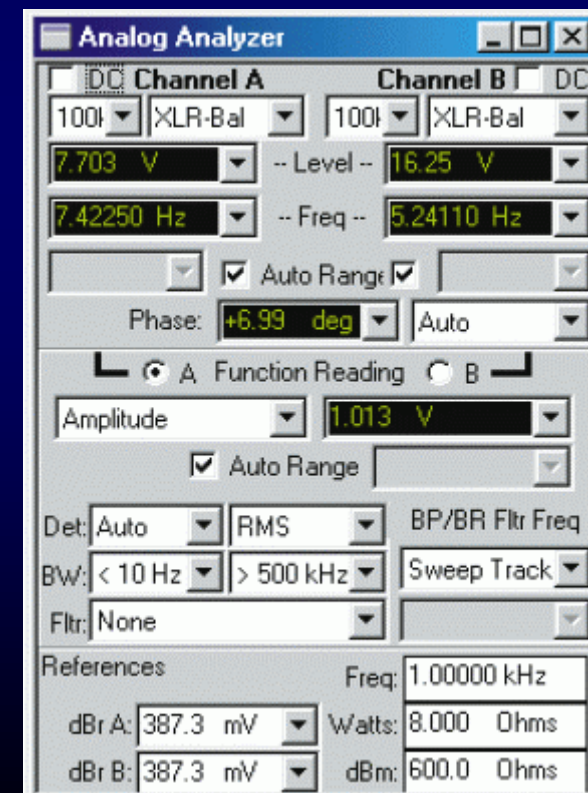
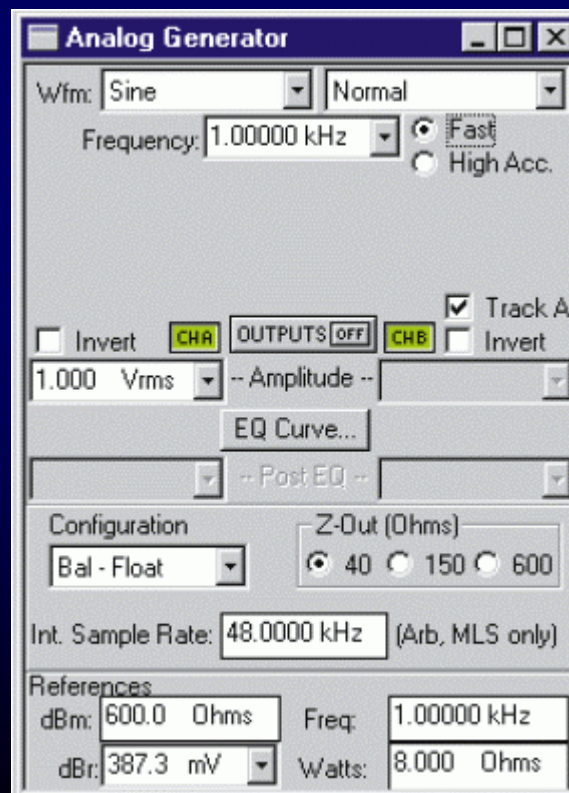


# System TWO – APWin

Oprogramowanie APWin steruje działaniem Systemu TWO:

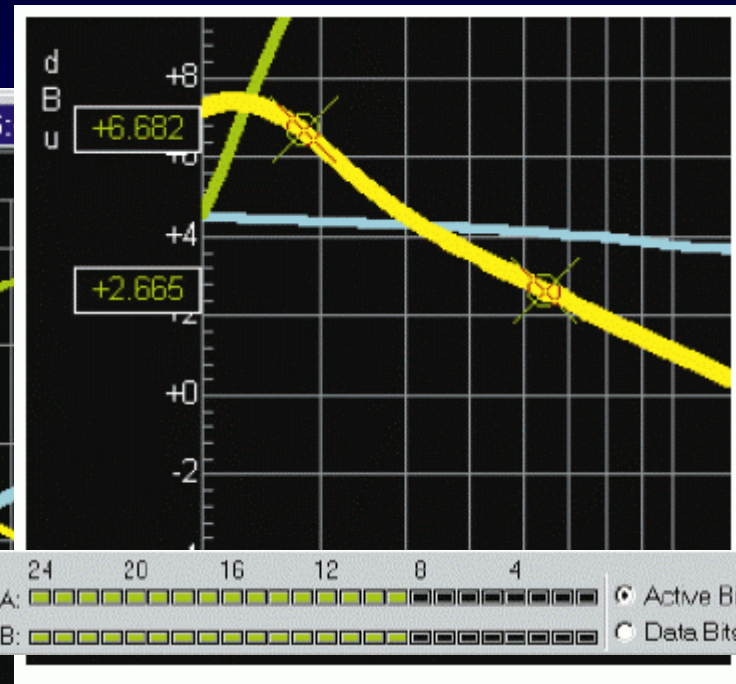
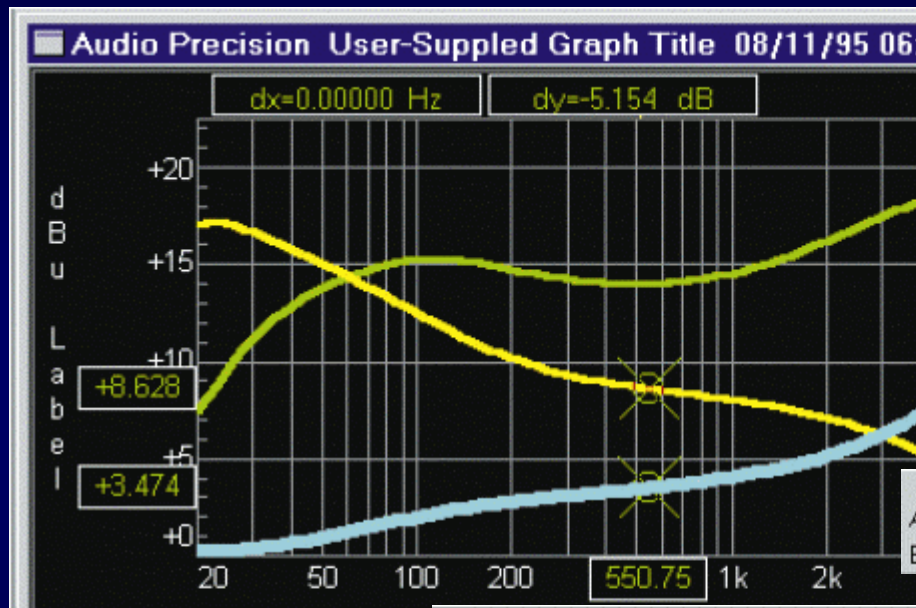
- nastawy generatorów i analizatorów (panele)
- analiza wyników – wykresy, tabele, eksport danych

Przykładowe panele:



# System TWO – APWin

## Prezentacja wyników pomiarów



	Gen.Freq	Anlr.Level A
0	20.0000 kHz	.9992 V
1	5.02500 kHz	.9994 V
2	1.26200 kHz	1.003 V
3	317.000 Hz	.9992 V
4	79.6250 Hz	.9992 V
5	20.0000 Hz	.9998 V



# System TWO

---

Najważniejsze cechy urządzeń typu System TWO:

- wysoka dokładność,
- duża liczba dostępnych testów,
- możliwość łatwego wykonania najczęstszych testów (odczyt pliku z nastawami testu),
- możliwość tworzenia własnych testów,
- duże możliwości analizy wyników,
- automatyzacja (testy w trybie *sweep*, skrypty)

# LabView

---

*LabView* firmy *National Instruments* jest systemem (oprogramowaniem) służącym do tworzenia wirtualnych przyrządów pomiarowych – przyrządów działających na ekranie komputera.

Współpracuje z różnymi typami interfejsów pomiarowych.

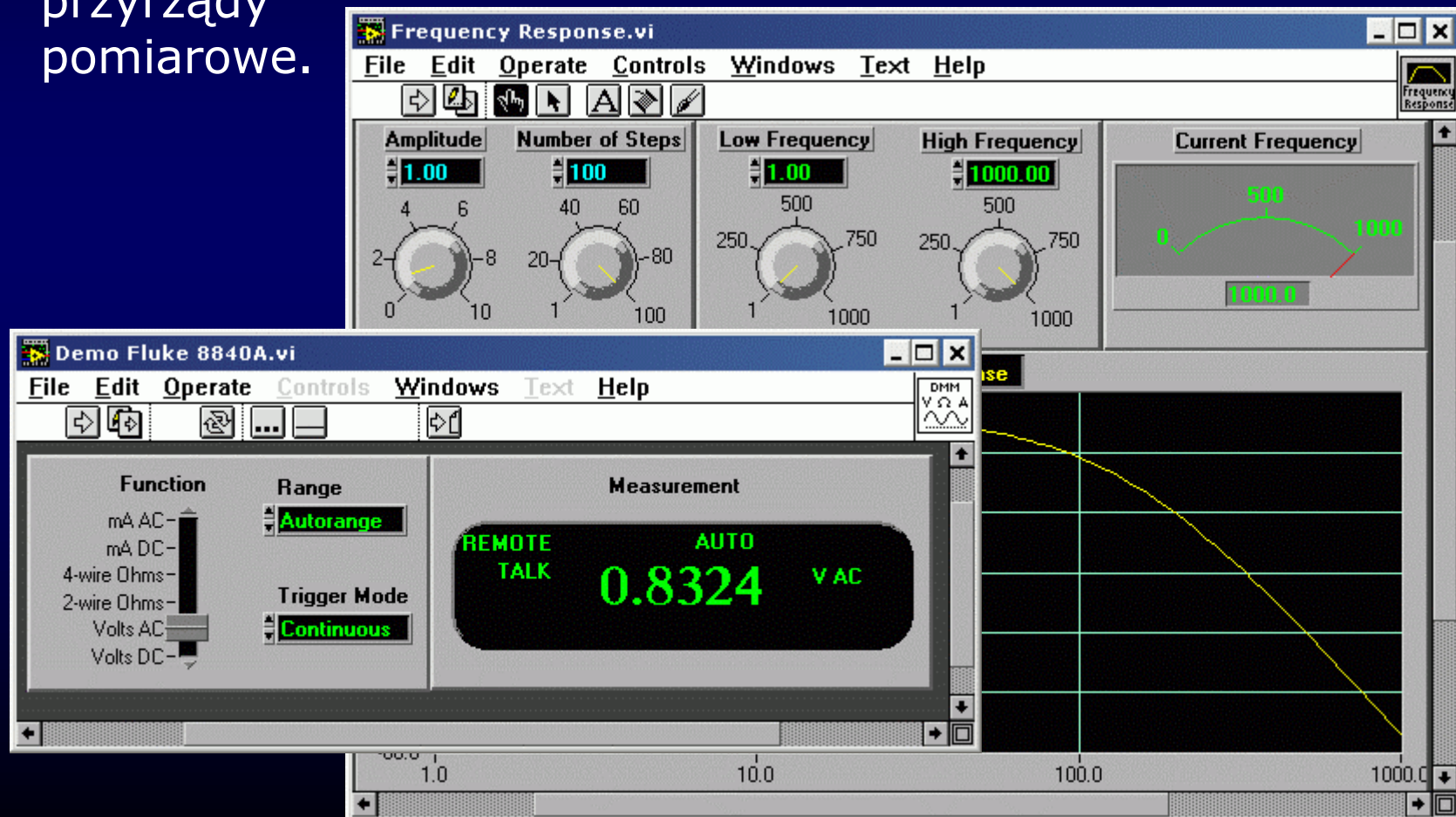
Możliwość pomiarów przy użyciu:

- gotowych układów pomiarowych (wczytanych z pliku)
- samodzielnie zbudowanych układów pomiarowych – układy budowane są z dostępnych bloków funkcjonalnych, przy użyciu interfejsu graficznego.

Program komercyjny, [www.ni.com/labview/](http://www.ni.com/labview/)

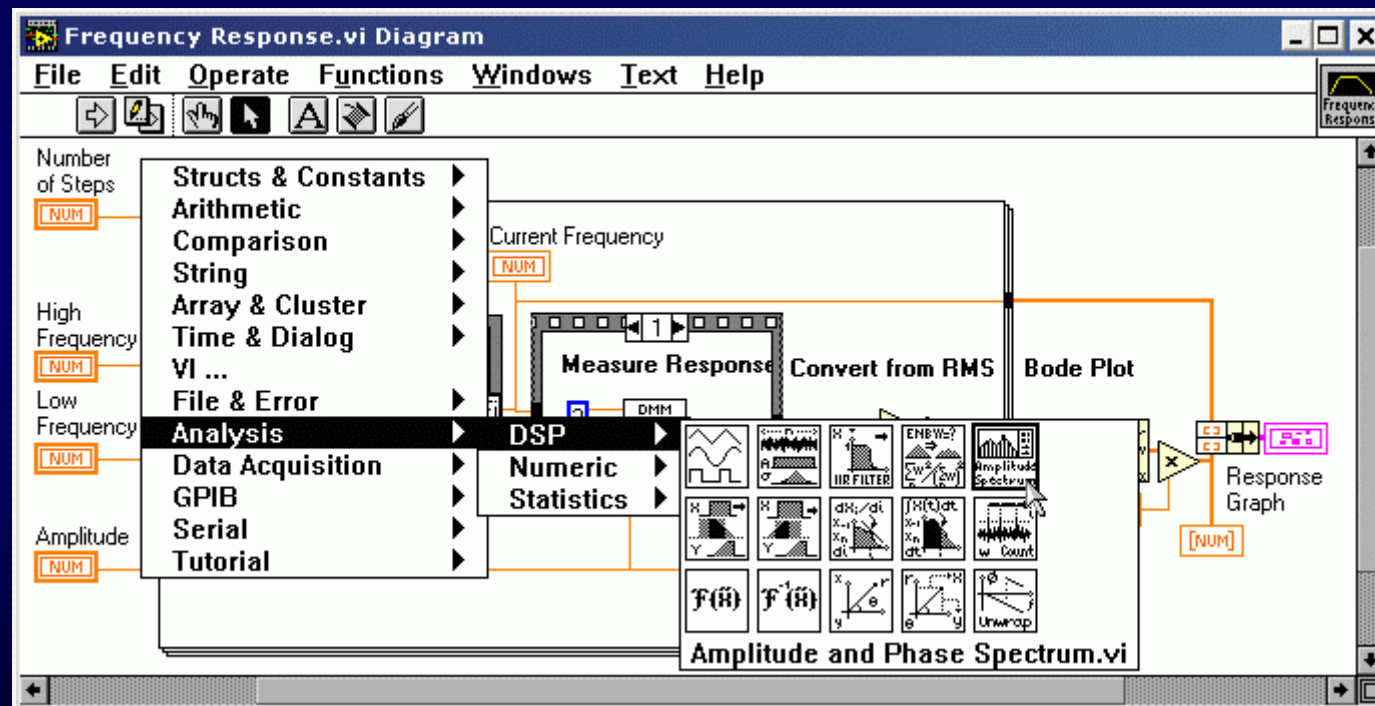
# LabView - panel

Wygląd panelu czołowego urządzenia w systemie *LabView*. Interfejs wirtualnego urządzenia naśladuje rzeczywiste przyrządy pomiarowe.



# LabView - schemat

Schemat (*diagram*) przyrządu pomiarowego – „wnętrze” wirtualnego urządzenia, budowane z bloków.



# Sygnaly testowe

---

Podstawowe sygnaly testowe w pomiarach elektroakustycznych:

- sygnał sinusoidalny (najczęściej)
- szum – biały, różowy, wąskopasmowy
- wielotony (złożenie kilku sinusoid)
- impulsy
- fala prostokątna

Źródła sygnałów testowych:

- generatory
- płyty testowe

# Płyty testowe Audio CD

---

## Rodzaje płyt testowych Audio CD/DVD:

- płyty do testowania, regulacji oraz pomiarów sekcji elektroakustycznej odtwarzaczy CD i DVD
- płyty do testowania oraz regulacji optycznej i mechanicznej części odtwarzaczy CD i DVD
- testowe płyty do ogólnych pomiarów audio:
  - płyty z sygnałami testowymi do pomiarów audio
  - płyty przeznaczone do sprawdzania oraz kalibracji urządzeń audio
- płyty testowe do pomiarów akustycznych
- płyty testowe dla inżynierów dźwięku
- płyty testowe do oceny jakości dźwięku w testach odsłuchowych

## Wymagania dotyczące płyt testowych

---

Płyty testowe CD/DVD powinny spełniać nast. wymagania.

- Sygnały zgodne z co najmniej jednym międzynarodowym standardem przemysłowym:
  - EBU (*European Broadcasting Union*)
  - CCIR (*International Radio Consultative Committee*)
  - IEC (*International Electrotechnical Commission*).
- Nagrania zawierające możliwie wiele sygnałów (różne poziomy i częstotliwości).
- Sygnały o dużej precyzji i szerokim zakresie dynamiki.
- Każdy sygnał powinien występować odpowiednio długo oraz w praktycznej sekwencji.
- Sygnały testowe umożliwiające użytkownikowi przeprowadzenie kontroli charakterystyk lub warunków metodą słuchową.

# Wymagania dotyczące generatorów sygnału

---

Generatory sygnałów testowych muszą spełniać następujące wymagania.

- Stabilność częstotliwości w czasie.
- Stabilność amplitudy w czasie.
- Małe zniekształcenia (np. sinus – brak dodatkowych składowych w widmie).
- Krótki czas ustalania – po zmianie częstotliwości.
- Szeroki zakres częstotliwości (pasmo akustyczne).
- Szeroki zakres dynamiki (zmian amplitudy).

# Generatory sygnału sinusoidalnego

---

- **Generator analogowy** (oscylator), np. generator RC
  - b. małe zniekształcenia
  - długi czas ustalania, konieczność dostrajania amplitudy
- **Generator funkcyjny** (*function generator*)
  - krótki czas ustalania, stabilność amplitudy
  - duże zniekształcenia (fala trójkątna)
- **Synteza częstotliwości** (*frequency synthesizer*)
  - dokładność częstotliwości (oscylator kwarcowy)
  - dość duże zniekształcenia, zbędne składowe
- **Synteza fali** (*waveform synthesizer*)
  - dokładność częstotliwości
  - duże zniekształcenia, zależne od przetwornika C/A

## Kalibracja amplitudy

---

Amplituda sygnału sinusoidalnego z generatora jest najczęściej podawana jako **wartość skuteczna – RMS**:

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

Wartość skuteczna jest skorelowana z subiektywną głośnością sygnału.

Dla sygnału sinusoidalnego:

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

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

## Kalibracja amplitudy

---

Dla sygnałów innych niż sinusoidalny często stosuje się następującą konwencję:

wartość amplitudy ustawiona na generatorze jest równa wartości skutecznej sygnału sinusoidalnego, który ma taką samą wartość szczytową jak generowany sygnał.

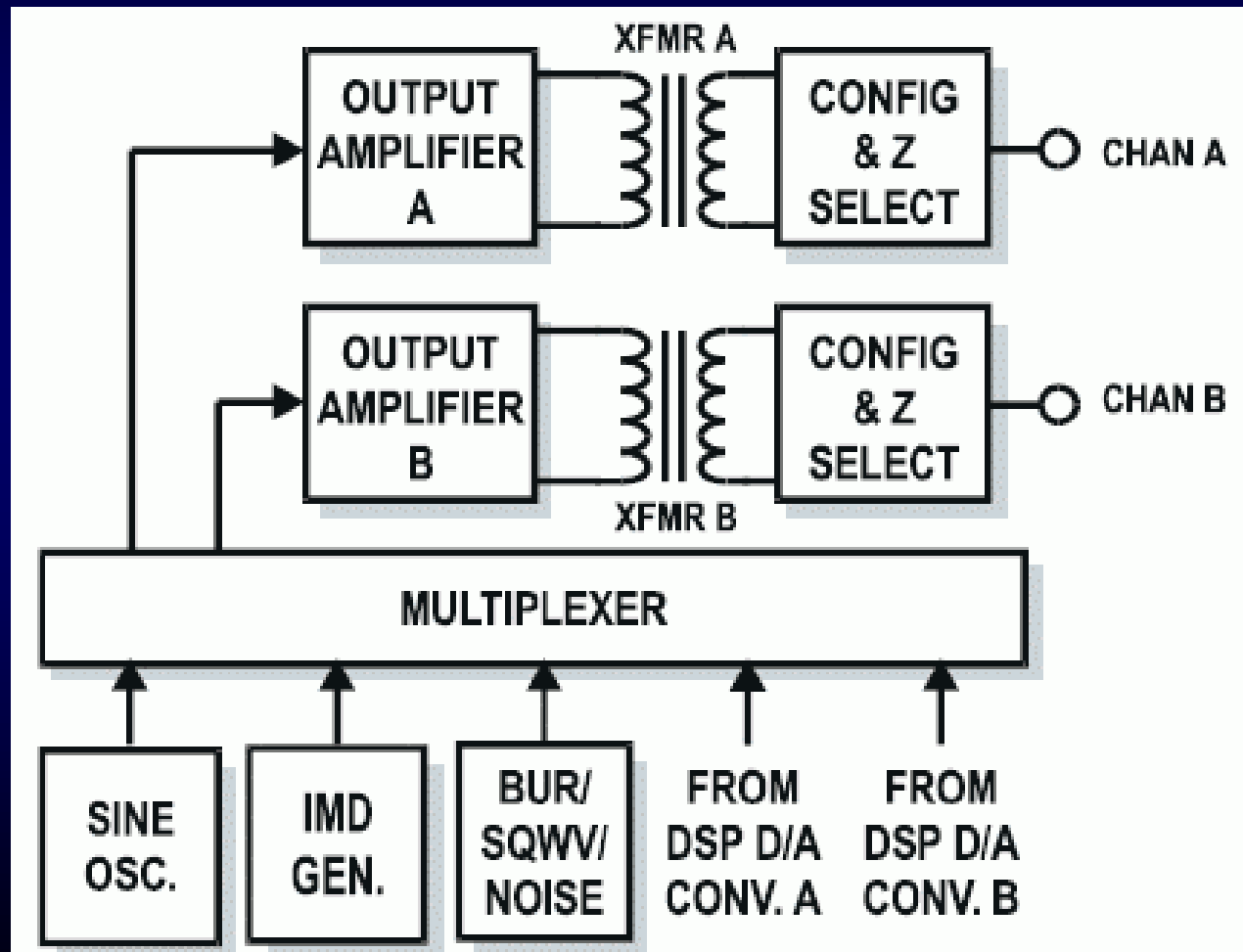
Np. fala prostokątna, amplituda na generatorze = 1 V

- wartość szczytowa  $U = 1,414 \text{ V}$
- rzeczywista wartość skuteczna fali:  $U_{\text{rms}} = 1,414 \text{ V}$

Podejście takie stosuje się aby zapobiec przesterowaniu układu przy zmianie typu sygnału.

# Schemat generatora analogowego

## Generator analogowy – System TWO



# Generatory przestrajane

---

- Ang. *sweep generator*
- Służą automatyzacji pomiaru
- Wartość częstotliwości (czasem również amplitudy) na generatorze jest automatycznie zmieniana w podanym zakresie:
  - w sposób ciągły (*linear sweep, log sweep*)
  - skokowo (*step sweep*)
- W przypadku skokowego przestrajania, liczba kroków i wartości mogą być programowane
- W celu automatycznego pomiaru, analizator musi być przestrajany razem z generatorem

# Analizator analogowy

---

Analizator analogowy działa na zasadzie pomiaru napięcia badanego sygnału.

Układ analizatora analogowego:

- filtry – usuwanie zbytecznych zakresów częstotliwości z mierzonego sygnału
  - zakres poza pasmem akustycznym
  - składowe sygnału nie podlegające pomiarowi
- układ pomiaru napięcia (woltomierz):
  - detektor – zamiana zmiennego sygnału na wartość stałą, proporcjonalną do mierzonej wartości
  - wskaźnik – wyświetlenie zmierzonej wartości

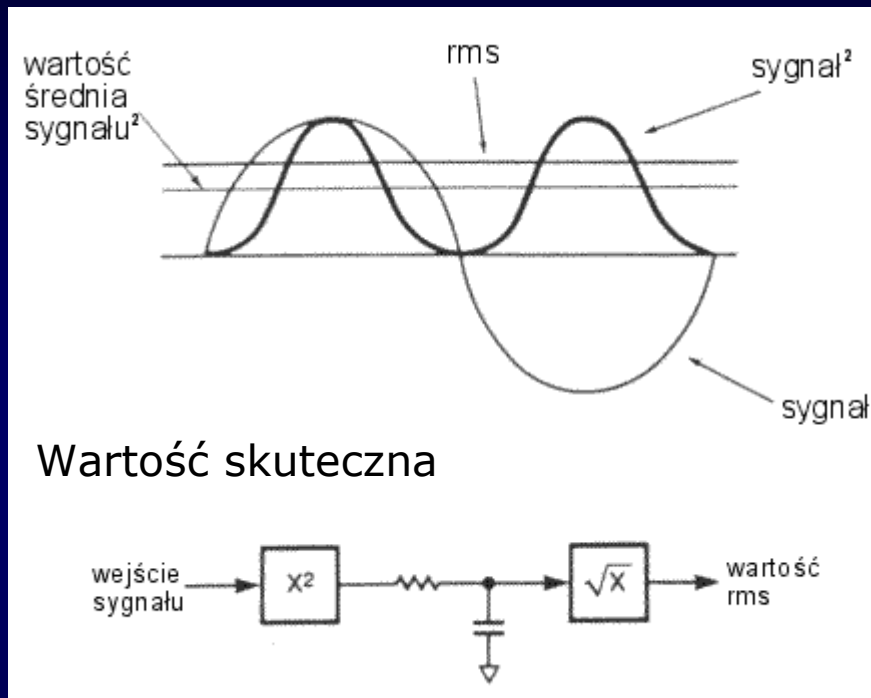
# Rodzaje detektorów

---

Detektory stosowane w analizatorach analogowych:

- **detektor wartości skutecznej** (*RMS detector*)
  - napięcie jest proporcjonalne do pierwiastka ze średniej kwadratów chwilowych wartości sygnału;
  - jedyny parametr proporcjonalny do mocy sygnału, niezależnie od kształtu fali;
- **detektor wartości średniej** (*average-responding det.*)
  - napięcie jest proporcjonalne do średniej wyprostowanego sygnału;
  - stosowane zamiast detektorów RMS, nie powinny być stosowane do sygnałów innych niż sinusoidalny;
- **detektor wartości szczytowej** (*peak detector*)
  - napięcie proporcjonalne do wartości szczytowej
  - użyteczne przy wykrywaniu przesterowań

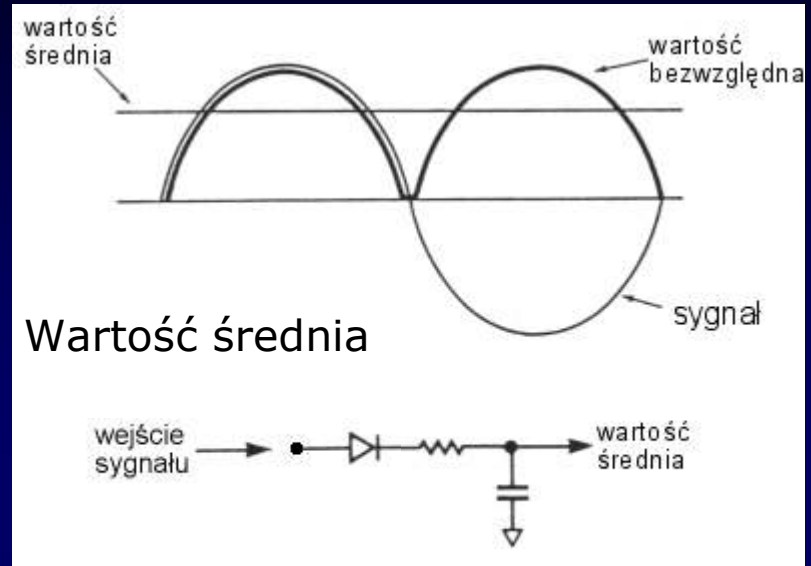
# Wartość skuteczna, średnia i szczytowa



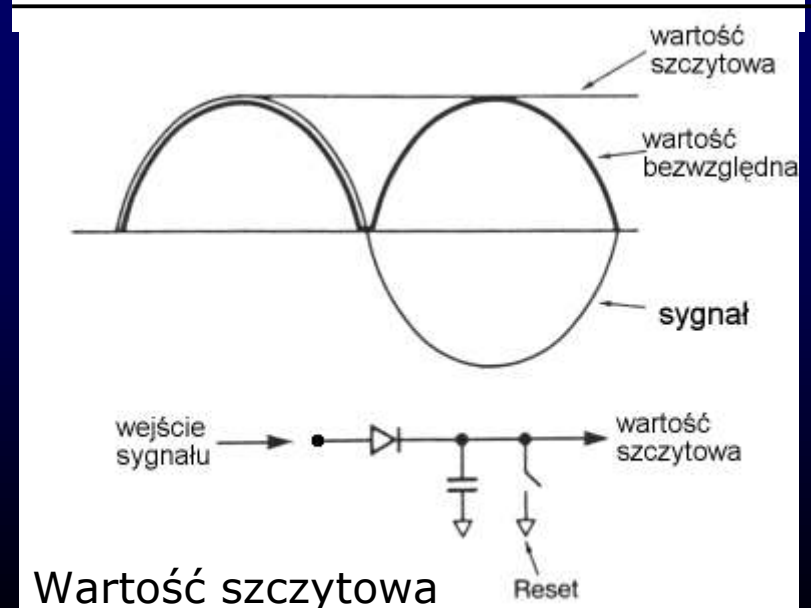
Wartość skuteczna

Współczynnik kształtu  
CF – *crest factor*

$$CF = \frac{\text{w. szczytowa}}{\text{w. skuteczna}}$$


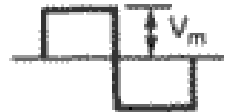


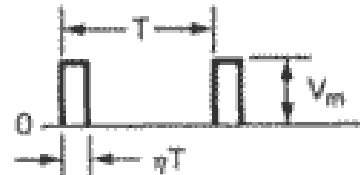


Wartość średnia



Wartość szczytowa

# Parametry sygnałów testowych

Typ fali	rms	Avg.	rms avg.	Crest factor											
	$\frac{V_m}{\sqrt{2}}$ 0.707 $V_m$	$\frac{2}{\pi} V_m$ 0.637 $V_m$	$\frac{\pi}{2\sqrt{2}} = 1.111$	$\sqrt{2} = 1.414$											
	$V_m$	$V_m$	1	1											
	$\frac{V_m}{\sqrt{3}}$	$\frac{V_m}{2}$	$\frac{2}{\sqrt{3}} = 1.155$	$\sqrt{3} = 1.732$											
	rms	$\frac{\sqrt{2}}{\pi} \text{rms}$ = 0.798 rms	$\frac{\sqrt{\pi}}{2}$ 1.253	<table border="1"> <thead> <tr> <th>C.F.</th> <th>q</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>32%</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>4.6%</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>0.37%</td> </tr> </tbody> </table>	C.F.	q	1	32%	2	4.6%	3	0.37%			
C.F.	q														
1	32%														
2	4.6%														
3	0.37%														
 <p> <math>\eta</math> = współczynnik wypełnienia                     </p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th><math>\eta</math></th> <th>czas trwania/ odstęp</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td><math>\infty</math></td> </tr> <tr> <td>0.25</td> <td>0.3333</td> </tr> <tr> <td>0.0625</td> <td>0.0667</td> </tr> <tr> <td>0.01</td> <td>0.0101</td> </tr> </tbody> </table>	$\eta$	czas trwania/ odstęp	1	$\infty$	0.25	0.3333	0.0625	0.0667	0.01	0.0101	$V_m \sqrt{\eta}$	$V_m \eta$	$\frac{1}{\sqrt{\eta}}$	$\frac{1}{\sqrt{\eta}}$
$\eta$	czas trwania/ odstęp														
1	$\infty$														
0.25	0.3333														
0.0625	0.0667														
0.01	0.0101														
		$0.5V_m$ $0.25V_m$ $0.1V_m$	$0.25V_m$ $0.625V_m$ $0.01V_m$	1 2 4 8 10	1 2 4 8 10										

# Jednostki amplitudy w pomiarach analogowych

---

Wyniki pomiarów amplitudy mogą być wyrażone w jednostkach bezwzględnych lub względnych.

Jednostki **bezwzględne**:

- napięcie – volt (V) ( $U_p$ ,  $U_{pp}$ ,  $U_{rms}$ )
- moc – wat (W), najczęściej przeliczane z napięcia ( $P = U^2/R$ ) względem ustalonego obciążenia R

Jednostki **względne**:

- poziom – decybele (dB), miara logarytmu stosunku wartości mierzonej do wartości odniesienia
  - $L = 20 \log_{10} (U/U_r)$  – napięcie
  - $L = 10 \log_{10} (P/P_r)$  – moc
- stosunek (*ratio*) – iloraz wielkości mierzonej do refer.
- wartość procentowa (%) – iloraz \* 100
- PPM (*parts per million*) – iloraz \* 1 000 000

# Jednostki względne amplitudy

---

Najczęściej stosowane jednostki decybelowe:

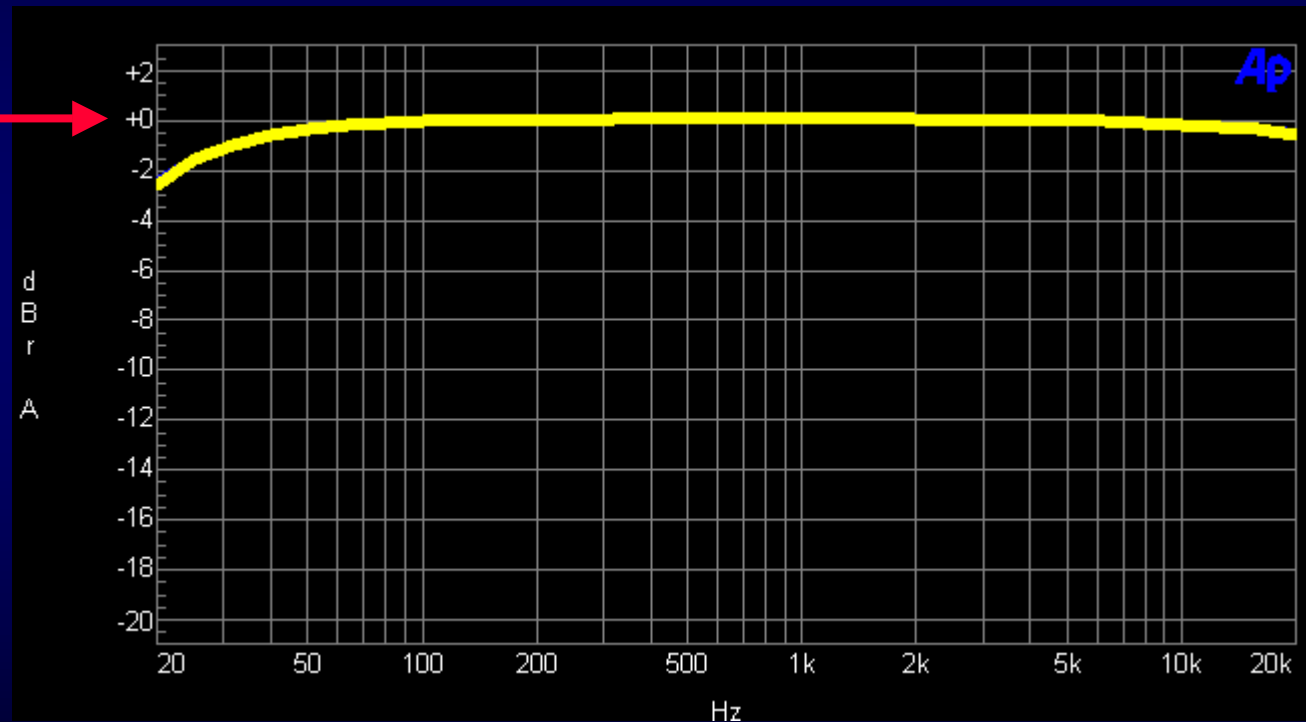
- **dBm** – moc względem  $P_r = 1 \text{ mW}$   
ponieważ moc jest przeliczana z napięcia ( $P = U^2/R$ ), konieczne jest podanie impedancji odniesienia  $R$ , typowo  $R = 600 \Omega$ , rzadziej  $150 \Omega$ .
- **dBu** – napięcie względem  $U_r = 0,7746 \text{ V}$   
napięcie odniesienia obliczone jest dla mocy  $P = 1 \text{ mW}$  wydzielanej na obciążeniu  $R = 600 \Omega$ .
- **dBV** – napięcie względem  $U_r = 1 \text{ V}$
- **dB<sub>r</sub>** – napięcie względem pewnej przyjętej wartości referencyjnej, np. zmierzonej dla  $1 \text{ kHz}$

# Jednostki względne amplitudy

---

Przykład wykorzystania jednostki dBr:

0 dBr



# Jednostki amplitudy w pomiarach cyfrowych

---

## Jednostki **bezwzględne**:

- wartość sygnału cyfrowego – zakres zależny od rozdzielczości bitowej, np. dla 16 bitów integer: od -32 768 do 32 767

## Jednostki **względne**:

- FFS – ułamek pełnej skali,
- dBFS =  $20 \log_{10} \text{FFS}$  (max. wartość: 1 FFS = 0 dBFS)
- %FS = FFS \* 100

# Jednostki częstotliwości i fazy

---

## Jednostki częstotliwości

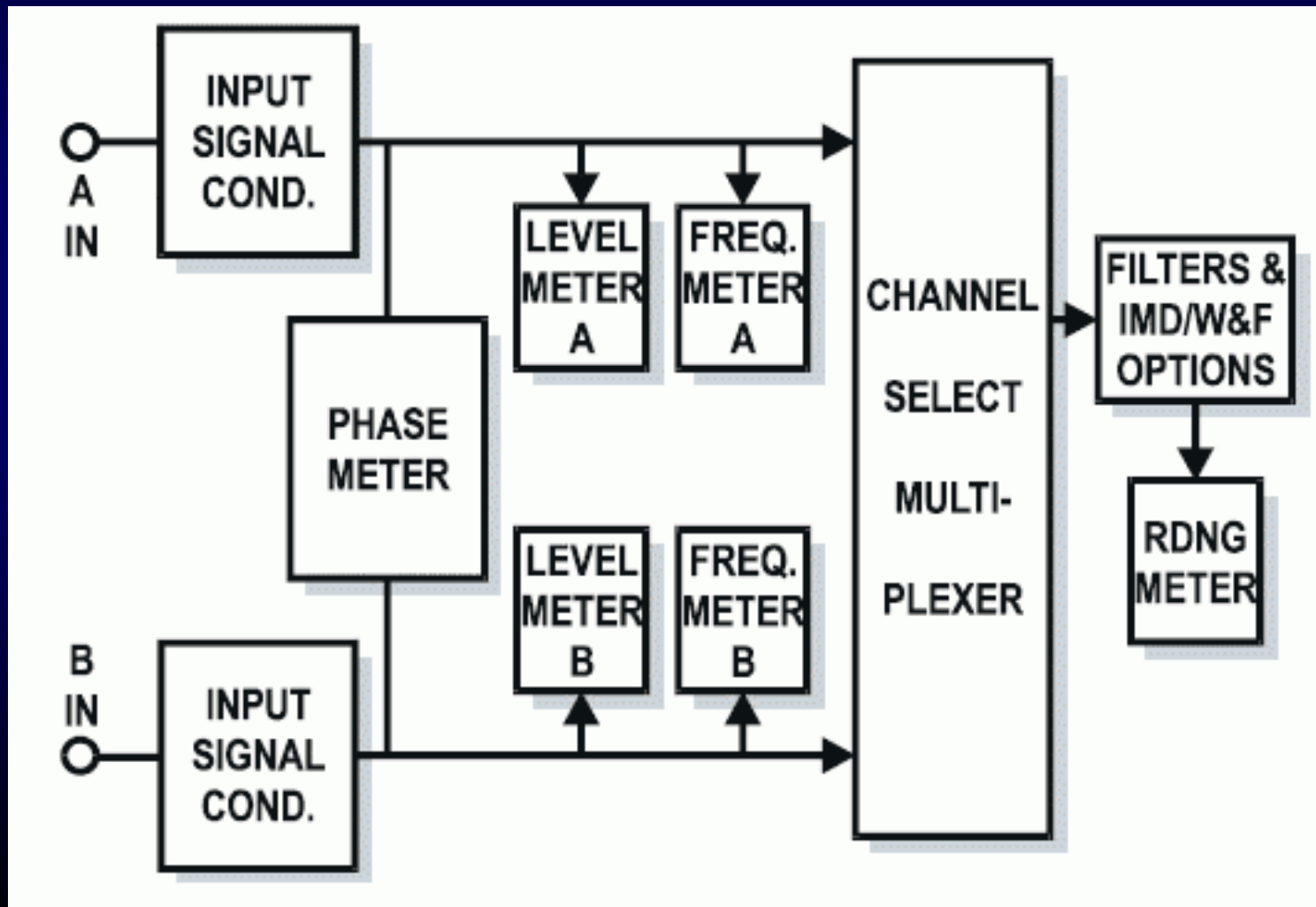
- Herc (Hz) – liczba cykli na sekundę
- F/R (*frequency ratio*) – stosunek częstotliwości mierzonej do cz. odniesienia
- %Hz – stosunek częstotliwości \* 100
- dHz – różnica częstotliwości mierzonej i odniesienia
- oktawa (*oct*) – stosunek częstotliwości 2:1
- cent – 1/100 półtonu muzycznego (1/1200 oktawy)
- dekada (*dec*) – stosunek częstotliwości 10:1
- d%:  $[(F - F_{ref})/F_{ref}] * 100$

## Jednostki fazy

- stopień (*deg*) – 1/360 pełnego cyklu fali

# Schemat analizatora analogowego

Analizator analogowy – System TWO



## Obciążenie układu pomiarowego

---

Podczas użytkowania, do wyjścia mierzonego urządzenia jest często podłączone inne urządzenie – obciążenie badanego urządzenia.

Podczas pomiarów, aby warunki pomiarowe były zbliżone do naturalnych, należy sztucznie obciążyć mierzone urządzenie.

Układ analizatora często posiada możliwość włączenia układu obciążającego (*termination resistance*).

Najczęściej stosowane wartości obciążenia:

- 600  $\Omega$  (najczęściej),
- 300  $\Omega$  (Niemcy, Skandynawia),
- 150  $\Omega$  (rzadko).

# Symetryczne i niesymetryczne wejścia/wyjścia

---

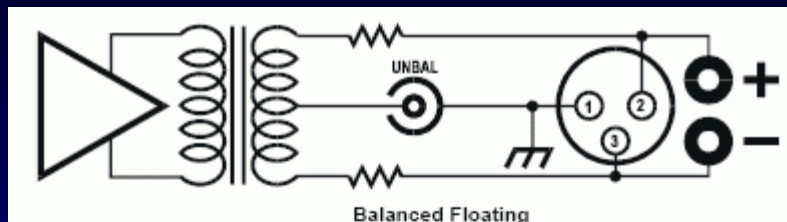
Wyjścia generatora i wejścia analizatora mogą być w jednym z dwóch standardów:

- **symetryczne** (*balanced*) – np. gniazda XLR  
dwie linie odizolowane od uziemienia, sygnał różnicowy jest wzmacniany i przekazywany dalej, dzięki czemu usuwane są zakłócenia (CMRR – *Common Mode Rejection Ratio*, można uzyskać CMRR ok. 60 dB)
- **niesymetryczne** (*unbalanced*) – np. gniazda BNC  
każdy sygnał przekazywany pojedynczą linią, zakłócenia pozostają w sygnale.

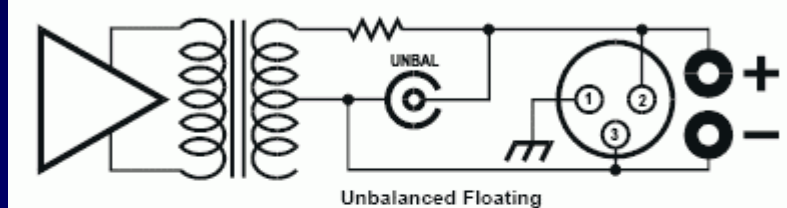
System TWO umożliwia również wybór opcji: z uziemieniem (*grounded*) – włączony dodatkowy rezystor ochronny, bez uziemienia (*floating*).

# Przykład konfiguracji wyjść generatora

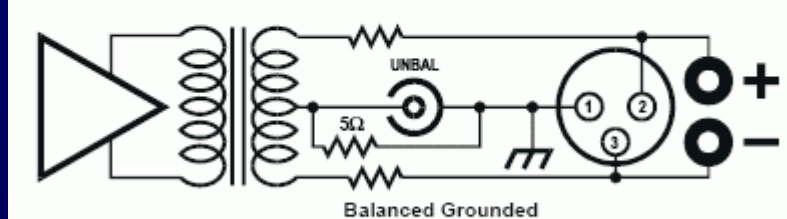
Symetryczny  
(bez uziemienia)



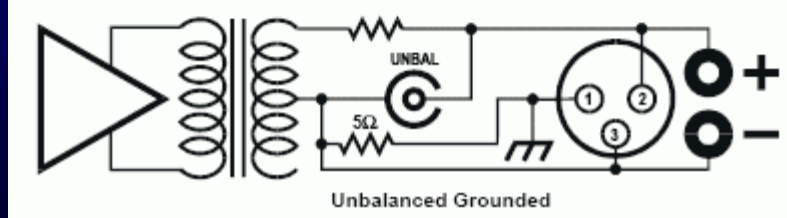
Niesymetryczny  
(bez uziemienia)



Symetryczny  
(z uziemieniem)



Niesymetryczny  
(z uziemieniem)



## Dokładność i rozdzielczość analizatora

---

- **Dokładność** – błąd pomiaru, wyrażony jako procent mierzonej wartości (rzadziej zakresu pomiarowego).
- **Rozdzielczość** – błąd wyświetlacza, zaokrąglenie wynikające ze skończonej liczby cyfr wyświetlacza.

Przykład opisu dokładności i rozdzielczości:

**0,5% ± 1 cyfra**

- 0,5% (wartości) – składnik opisujący dokładność,
- 1 cyfra – składnik opisujący rozdzielczość (zależy od zakresu pomiarowego).

Przyrządy pomiarowe wysokiej klasy: dokładność 1%-2%, rozdzielczość  $>0,1 \mu\text{V}$  na najczulszym zakresie.

# Dokładność i rozdzielczość analizatora

---

Przykład: wyświetlacz 3½ cyfry (0 – 1999).

Dokładność/rozdzielczość: 1% ± 1 cyfra.

Zakres pomiarowy: 2 V.

- sygnał mierzony 1,5 V:
  - dokładność =  $0,01 * 1,5 \text{ V} = 15 \text{ mV}$
  - rozdzielczość = 1 mV
- sygnał mierzony 200 mV:
  - dokładność = 2 mV
  - rozdzielczość = 1 mV
- sygnał mierzony 20 mV:
  - dokładność = 0,2 mV
  - rozdzielczość = 1 mV

## Automatyczny dobór zakresu

---

W tradycyjnych urządzeniach pomiarowych użytkownik musiał samodzielnie ustawić zakres pomiarowy (np. 0,1 mV; 1 mV; 10 mV; 100 mV; 1 V; itd.).

- Zbyt mały zakres (przekroczenie zakresu) – przesterowanie.
- Zbyt duży zakres – mała dokładność, wpływ zakłóceń.

Współczesne przyrządy pomiarowe automatycznie dobierają zakres pomiarowy (*autoranging*) tak, aby mierzona wartość znajdowała się możliwie blisko górnej granicy zakresu.

Układ automatycznego doboru zakresu powinien mierzyć wartość szczytową sygnału, nie skuteczną lub średnią.

# Obróbka danych

---

Przykładowe możliwości analizatorów komputerowych:

- prezentacja wyników w formie wykresów i tabel
- powiększanie wykresów, kursory, itp.
- zapis danych do pliku
- przetwarzanie odebranych sygnałów (np. obliczanie widma metodą FFT)
- analiza statystyczna wyników wielu pomiarów
- zaawansowana obróbka wyników za pomocą skryptów tworzonych przez użytkownika
- sporządzanie raportów pomiarowych gotowych do wydruku