

# LABORATORIUM ELEKTROAKUSTYKI

## ĆWICZENIE NR 5

### System do pomiarów parametrów elektroakustycznych urządzeń fonicznych na przykładzie systemu TWO firmy Audio Precision

#### Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest poznanie możliwości pomiarowych systemu pomiarowego TWO firmy Audio Precision oraz realizacja pomiarów podstawowych parametrów elektroakustycznych przykładowych urządzeń fonicznych.

#### 1. Wprowadzenie

Większość przypadków pomiarów urządzeń elektroakustycznych dotyczy wyznaczenia sześciu podstawowych parametrów urządzeń, a mianowicie:

- poziomu sygnału na wyjściu,
- stosunku sygnał-szum,
- charakterystyki częstotliwościowej,
- współczynnika całkowitych zniekształceń nieliniowych harmonicznych,
- charakterystyki fazowej,
- przesłuchów.

Ćwiczenie będzie dotyczyło pomiarów w dziedzinie analogowej, chociaż większość przedstawionych rozważań dotyczy również dziedziny cyfrowej.

##### 1.1. Dołączanie badanego urządzenia do analizatora

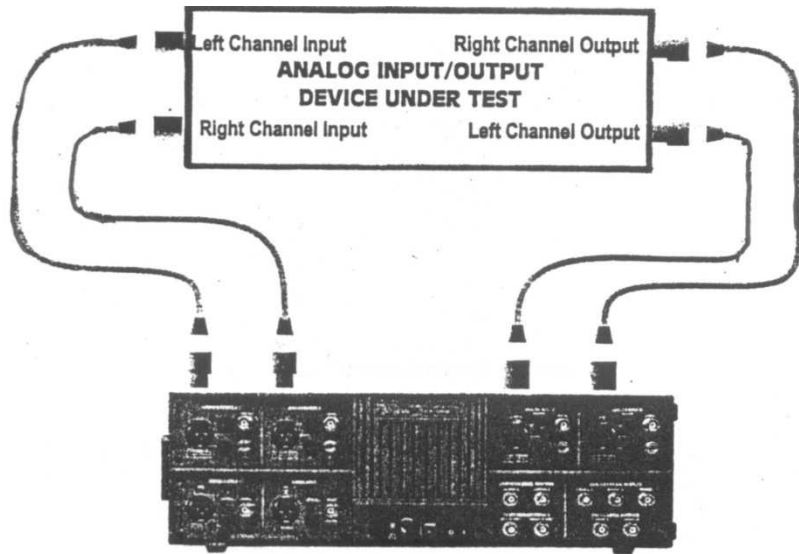
Testowanym urządzeniem może być wzmacniacz mocy, korektor graficzny, odtwarzacz CD, czy też wiele innych urządzeń wymagających sprawdzenia ich parametrów elektroakustycznych. Badane urządzenia określa się najczęściej wspólnym mianem urządzenie testowane (ang. Device Under Test; skrót DUT).

Różne urządzenia testowane (DUTs) mogą wymagać różnych połączeń. Dla wyżej wzmiankowanych urządzeń mamy przykładowe sytuacje:

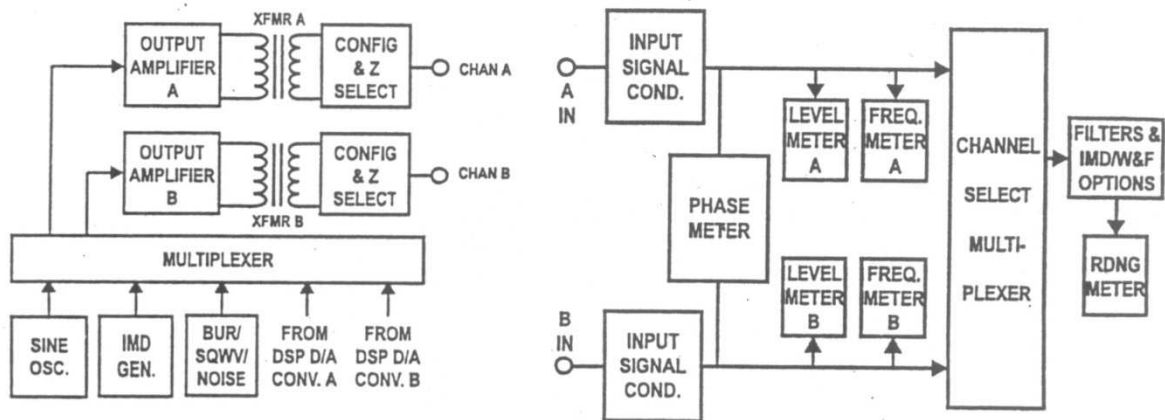
- Wzmacniacz mocy – najczęściej wiele wejść, stąd należy dokonać wyboru wejścia. Wejścia mogą być analogowe lub cyfrowe, natomiast wyjście jest niezmiennie analogowe.
- Korektor graficzny – wejście i wyjście analogowe lub cyfrowe.
- Odtwarzacz CD – tylko wyjście analogowe lub cyfrowe (w tym przypadku źródłem sygnałów jest płyta CD z sygnałami testowymi).

Przykładowe dołączenie urządzenia dwukanałowego o wejściach i wyjściach analogowych przedstawiono na rys. 1. Na rys.2 przedstawiono uproszczony schemat blokowy generatora i analizatora analogowego systemu pomiarowego TWO.

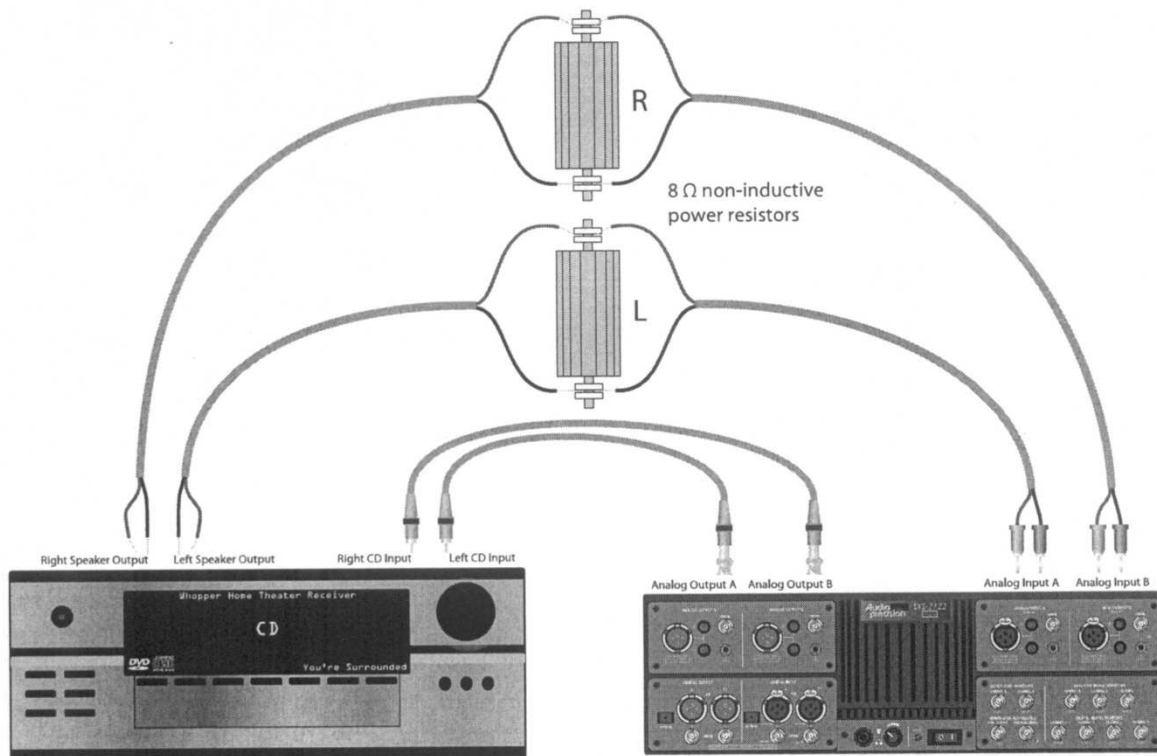
Niniejsza instrukcja omawia pomiary podstawowych parametrów elektroakustycznych urządzeń fonicznych na przykładzie pomiarów parametrów wzmacniacza mocy z wybranym wejściem CD i wyjściami do dołączania głośników o rezystancji  $8 \Omega$ . Schemat dołączenia wzmacniacza mocy do analizatora przedstawiono na rys. 3.



**Rys.1. Standardowe dołączenie badanego urządzenia (DUT) do systemu pomiarowego TWO przy pomiarach analogowych.**



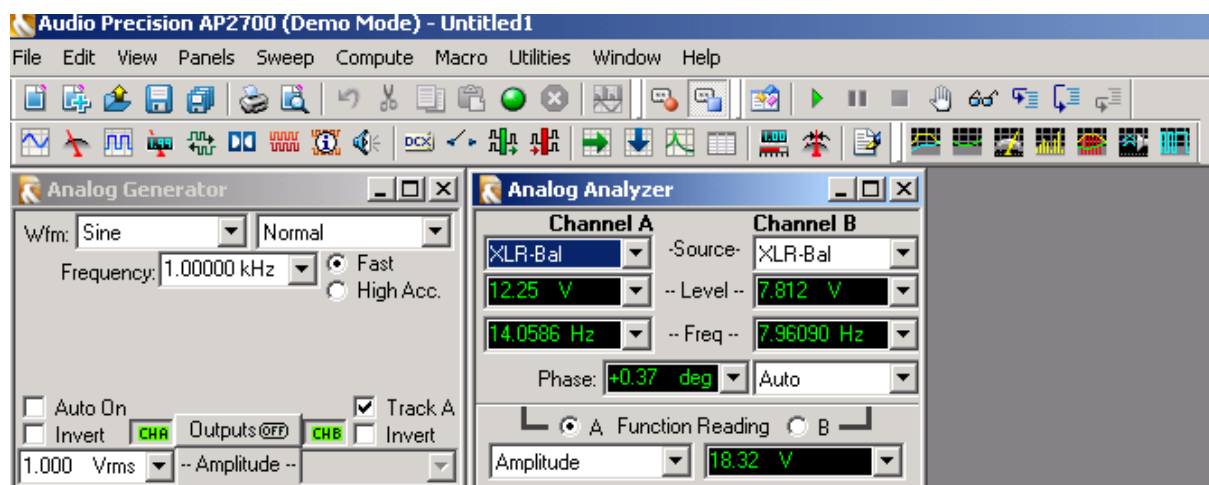
**Rys.2. Uproszczony schemat blokowy generatora i analizatora analogowego systemu pomiarowego TWO.**



**Rys.3. Dołączenie wzmacniacza mocy z wybranym wejściem CD do systemu pomiarowego TWO.**

## 1.2. Uruchomienie systemu pomiarowego

Włączyć część sprzętową systemu AP2700, a następnie uruchomić oprogramowanie systemu (ikona AP2700). Widok ekranu po uruchomieniu oprogramowania przedstawiono na rys. 4.



**Rys.4. Widok ekranu po uruchomieniu oprogramowania AP2700.**

## 2. Zadanie laboratoryjne

### 2.1. Zapoznanie się z podstawowymi parametrami i funkcjami systemu pomiarowego:

- blok generatora analogowego,
- blok analizatora analogowego,
- pomiary z przemiataciem,
- wykresy i drukowanie.

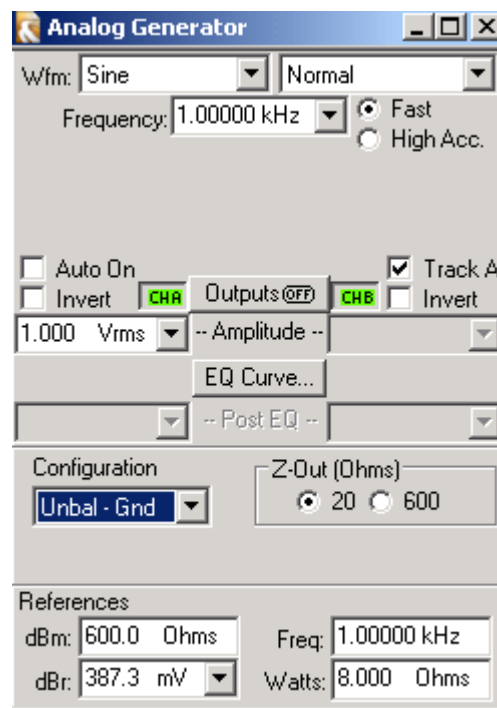
### 2.2. Przykładowe pomiary parametrów elektroakustycznych wzmacniacza mocy z wykorzystaniem systemu

Ustawienia elementów kontrolnych wzmacniacza mocy:

- Włączyć wzmacniacz mocy (**ON**).
- Ustawić regulator wzmocnienia wzmacniacza na minimum.
- Wybrać wejście **CD**.
- Regulatory barwy dźwięku oraz regulator balansu ustawić w położeniu **0**.

Ustawienia parametrów systemu pomiarowego:

- Powiększyć okienko panelu *Analog Generator* (podwójne kliknięcie przyciskiem myszy na górnej belce panelu generatora).
- Ustawić konfigurację wyjścia sygnału na wyjście niesymetryczne (**Configuration** → **Unbal-Gnd**; patrz rys. 5).

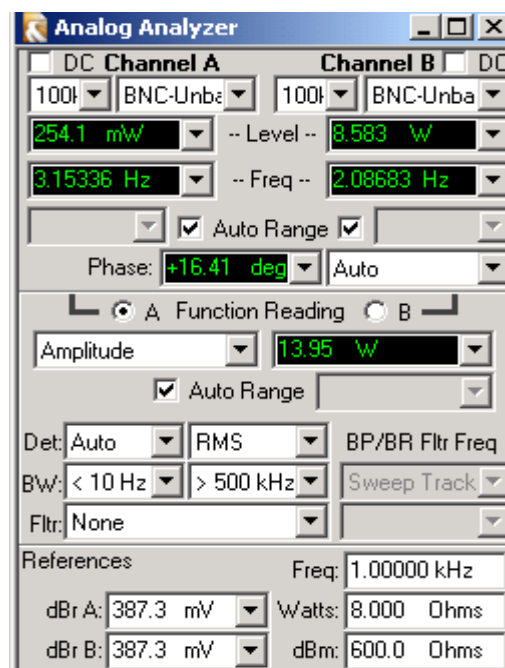


Rys.5. Wybór konfiguracji wyjścia sygnału.

#### 2.2.1. Pomiary znamionowego napięcia dla wejścia CD wzmacniacza (czułość wejściowa)

- Z danych technicznych wzmacniacza odczytać wartość czułości dla wejścia CD.

- Wpisać tę wartość w okienku **Amplitude** (*Uwaga: w oprogramowaniu AP2700 stosuje się kropkę dla oddzielenia części dziesiętnej, jak też każdorazowy wpis wymaga akceptacji klawiszem Enter*).
- W okienku **Analog Analyzer** wybrać wejścia kanałów A i B **BNC-Unbal.** oraz jako wielkość wyświetlaną wartości mocy akustycznej (w okienkach **Level** wybrać **W**) (patrz rys.6).
- Sprawdzić, czy w okienku **Watts** wpisana jest wartość 8.000 Ohms.
- Ustawić regulator wzmacnienia wzmacniacza na maksimum.
- Uruchomić generator (w panelu **Analog Generator Outputs** **ON**).
- Odczytać w okienkach **Level** wartość mierzonych mocy w kanale A i B i porównać z mocą znamionową wzmacniacza podaną w jego danych technicznych.
- Aby uzyskać dokładną wartość mocy znamionowej wzmacniacza podawaną przez producenta należy precyzyjnie dobrać wartość napięcia wejściowego. W tym celu należy otworzyć okienko **Bar Graph** przez naciśnięcie prawego klawisza myszy ustawionej w polu ustawiania wartości amplitudy sygnału generatora.
- Po otwarciu okienka **Setup** w panelu **Bar Graph** (patrz rys. 7) należy ustawić: zakres zmienności napięć (wpisać jako **Left** wartość czułości dla wejścia CD pomniejszoną o 20 mV, a jako **Right** wartość czułości dla wejścia CD powiększoną o 20 mV) oraz krok (w okienku **Increment** wpisać 1 mV).
- Za pomocą wirtualnego suwaka potencjometru regulować napięcie wejściowe tak, by w jednym z kanałów w okienkach **Level** w panelu **Analog Analyzer** uzyskać znamionową moc wyjściową badanego wzmacniacza.
- Wartość tę należy zapamiętać jako wartość odniesienia dla napięcia generatora wyrażonego w dB przez naciśnięcie klawisza **F3**. Wynikiem tej operacji będzie wpisanie do okienka **References dBr** w panelu **Analog Generator** ustawionej wartości napięcia.
- Ustawioną wartość napięcia wejściowego dającą znamionową moc wyjściową wzmacniacza porównać z podawaną wartością napięcia znamionowego dla wejścia CD.



**Rys.6. Ustawienia w panelu Analog Analyzer.**

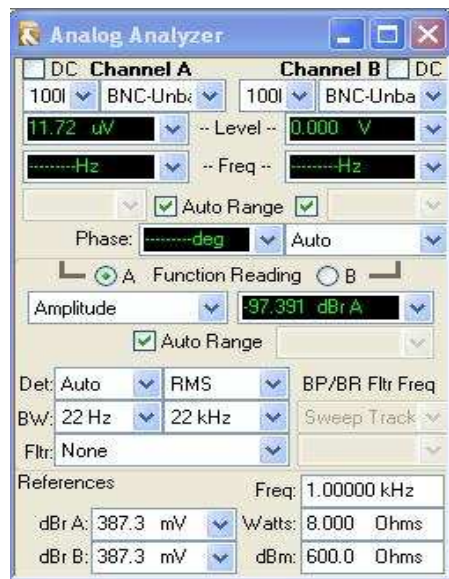


Rys.7. Panel Bar Graph.

### 2.2.2. Pomiary stosunku sygnał-szum

Stosunek sygnał-szum to różnica między poziomami sygnału a poziomem szumu wyrażonymi w dB. Dlatego wymagane są dwa pomiary. Wpierw należy określić wartość napięcia sygnału dla określonych warunków pracy wzmacniacza i tę wartość należy przyjąć jako wartość odniesienia. Do tej wartości będziemy odnosić mierzone napięcie szumów na wyjściu wzmacniacza po wyłączeniu źródła sygnału. Ponieważ napięcie szumów zależy od szerokości pasma, dlatego jego pomiar powinien być realizowany dla zdefiniowanej normami szerokości pasma przyrządu. W przypadku wzmacniaczy napięcie szumów mierzone jest najczęściej w warunkach znamionowych pracy wzmacniacza, jak też przy regulatorze wzmocnienia ustawionym na minimum (szczytkowe napięcie wyjściowe szumu). Procedura pomiaru stosunku sygnał-szum z wykorzystaniem systemu TWO przebiega następująco:

- Wartość napięcia generatora powinna być równa zmierzonemu napięciu znamionowemu wzmacniacza (patrz punkt 2.2.1).
- W panelu *Analog Analyzer* wybrać **Function Reading Amplitude**.
- W dwóch polach filtracji **BW** ustawić dolną i górną częstotliwość graniczną pasma, w którym będą przeprowadzane pomiary. Unormowane wartości tych częstotliwości granicznych to **22 Hz** i **22 kHz** (patrz rys. 8).
- Włączyć generator (**ON**); regulator wzmocnienia wzmacniacza ustawić w pozycji maksymalnego wzmocnienia.
- Przy pomocy klawisza **F4** zapamiętać wartości napięć na wyjściu wzmacniacza jako wartości odniesienia (automatyczny wpis do okienek **References dBrA** i **dBrB**).
- Wyłączyć generator (**OFF**). W okienku **Function Reading** zaznaczyć **A**, w polu miernika (obok okienka **Amplitude**) jako jednostkę pomiarową wybrać **dBrA** i odczytać wartość stosunku sygnał-szum w dB (będzie to wartość ujemna, gdyż przy takim sposobie pomiaru odnosimy wartość napięcia szumów do wartości napięcia sygnału).
- Przełączyć pomiary na kanał **B** przez zaznaczenie okienka **B**, a w polu miernika w kanale **B** jako jednostkę pomiarową wybrać **dBrB** i odczytać wartość stosunku sygnał-szum w dB.



**Rys.8. Ustawienia w panelu Analog Analyzer podczas pomiarów stosunku sygnał-szum.**

Powyższe pomiary należy przeprowadzić również po wprowadzeniu korekcji częstotliwościowej A na unormowane pasmo częstotliwości 22 Hz – 22 kHz. W tym celu należy w panelu *Analog Analyzer* w polu **Fltr.** wybrać **A Weighting**.

Pomiary stosunku sygnał-szum, w liniowym zakresie częstotliwości (22 Hz – 22 kHz) i z korekcją A, należy powtórzyć dla regulatora wzmacnienia ustawionego na minimum. Mierzone jest wówczas szczytkowe napięcie wyjściowe szumu.

### 2.2.3. Pomiary charakterystyki częstotliwościowej

Pomiary charakterystyki częstotliwościowej (charakterystyki przenoszenia) są realizowane przestrajaniem sygnałem sinusoidalnym o stałym napięciu w ustalonym zakresie częstotliwości. Do rozważenia jest dobór poziomu sygnału. Przy zbyt małych poziomach sygnału na charakterystyce może być widoczny wpływ szumów i innych zakłóceń. Przy zbyt dużych poziomach zniekształcenia wprowadzane przez wzmacniacz mogą wpływać na jego charakterystykę częstotliwościową. W przypadku wzmacniaczy mocy pomiary są wykonywane najczęściej dla 1 W na wyjściu lub w tzw. normalnych warunkach pomiarowych. Wzmacniacz pracuje w normalnych warunkach pomiarowych, jeżeli został uprzednio doprowadzony do znamionowych warunków pracy, a następnie poziom sygnału wejściowego został zmniejszony o 10 dB od jego wartości znamionowej. Procedura pomiaru charakterystyki częstotliwościowej z wykorzystaniem systemu TWO przebiega następująco:

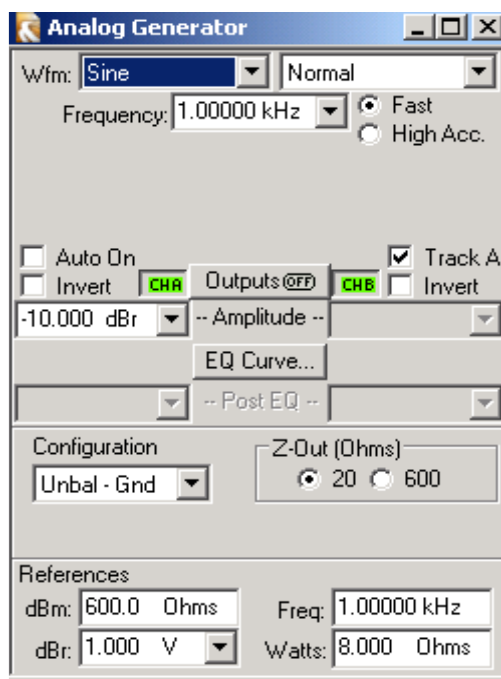
- Należy otworzyć panel pomiarów z przestrajaniem (**Page 2** u dołu ekranu).
- W okienku **Data 1** wybrać **Anlr.LevelA**.
- W okienkach **Top** i **Bottom** jako jednostki pomiarowe wybrać **dBrA**.
- Zaznaczyć okienko **Autoscale**
- W okienku **Source 1** wybrać **Gen.Freq.** (patrz rys. 9).
- W przypadku urządzeń dwukanałowych możemy równocześnie mierzyć charakterystyki przenoszenia obydwóch kanałów przez zaznaczenie okienka **Stereo Sweep** w panelu pomiarów z przestrajaniem.



**Rys.9. Ustawienia w panelu pomiarów z przestrajaniem.**

Dobrać napięcie wejściowe wzmacniacza dla realizacji pomiarów charakterystyki częstotliwościowej w zdefiniowanych warunkach (np. 1 W na wyjściu, normalne warunki pomiarowe itp.). W przypadku normalnych warunków pomiarowych (pomiar zalecany) należy:

- W panelu generatora ustawić wartość napięcia odpowiadającą warunkom znamionowym (patrz punkt 2.2.1).
- Przy pomocy klawisza **F3** zapamiętać tę wartość napięcia jako wartość odniesienia (automatyczny wpis do okienka dBr).
- Wpisać wartość napięcia generatora **-10 dBr** (patrz rys. 10).



**Rys.10. Ustawienia w panelu Analog Generator dla normalnych warunków pomiarowych.**

- Włączyć generator (**ON**); regulator wzmacnienia ustawić w pozycji maksymalnego wzmacnienia.
- Przy pomocy klawisza **F4** zapamiętać wartości napięć na wyjściu wzmacniacza jako wartości odniesienia (automatyczny wpis do okienek **dBrA** i **dBrB**). W ten sposób przyjmujemy dla częstotliwości 1 kHz umowny poziom 0 dB.
- Otworzyć panel pomiarów z przestrajaniem (**Page 2**), i uruchomić pomiary klikając na okienko **Go**.
- Po zakończeniu pomiarów należy dobrać pożądany zakres zmienności na osi poziomów. Można to zrobić naciskając prawy klawisz, gdy kursor znajduje się w polu wykresu. Po tej operacji otwiera się okno, z którego wybieramy polecenie **Optimize Left Only** (*Uwaga: Tego typu optymalizację skali osi y należy przeprowadzać po zakończeniu każdego z pomiarów z przestrajaniem*).

Jeśli badany wzmacniacz wyposażony jest w niezależne regulatory barwy dźwięku (Bass, Treble), to należy zmierzyć charakterystyki przenoszenia dla różnych położenia regulatorów barwy dźwięku (jednoczesne ich ustawienia w położeniach: min, 0, max). Jeśli chcemy dodać kolejną charakterystykę częstotliwościową do już wykreślonej (np. dla ich porównania), to należy w panelu pomiarów z przestrajaniem zaznaczyć okienko **Append**.

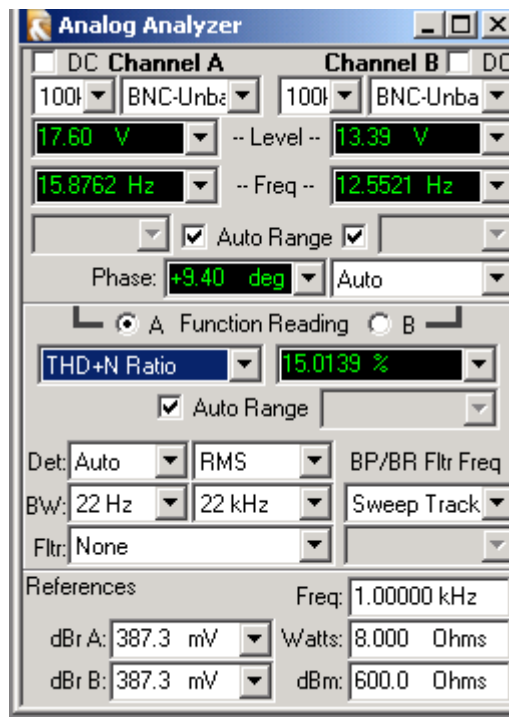
*(Uwaga: w przypadku niektórych wzmacniaczy mocy położenie regulatora wzmacnienia wpływa na zakres regulacji barwy dźwięku!)*

#### **2.2.4. Pomiary całkowitego współczynnika zniekształceń nieliniowych harmonicznyc**

Zniekształcenia nieliniowe harmoniczne to dodatkowe nowe tony w użytecznym sygnale. Są to tony będące całkowitą wielokrotnością składowej podstawowej sygnału. Gdy sygnałem jest ton o częstotliwości  $f_1$ , mogą pojawić się harmoniczne  $2f_1$ ,  $3f_1$  itd. Udział tych harmonicznyc w stosunku do całkowitego sygnału lub składowej podstawowej, wyrażony w %, jest miarą całkowitego współczynnika zniekształceń harmonicznyc (THD – Total Harmonic Distortion). Zazwyczaj wielkość ta podawana w danych urządzeń jest określana jako THD+N (Total Harmonic Distortion plus Noise). Dlaczego nie mierzy się tylko samych zniekształceń, ale łącznie z szumem? Wynika to ze sposobu pomiaru tych zniekształceń, w którym to nie można wyeliminować wpływu szumu. Oczywiście obecnie korzystając choćby z analizy widmowej na drodze FFT jesteśmy w stanie określić udział poszczególnych harmonicznyc w sygnale, niemniej ten najprostszy sposób pomiaru zniekształceń nieliniowych harmonicznyc jest wciąż obowiązujący, jak też praktyczny.

Podobnie jak w przypadku szumów wartość współczynnika THD+N jest zależna od szerokości pasma. Stąd przed przystąpieniem do pomiarów należy za pomocą filtrów górno- i dolnoprzepustowych ustalić właściwą szerokość pasma. Współczynnik THD+N jest zazwyczaj mierzony i podawany dla pasma 22 Hz – 22 kHz.

Wartość mierzonego współczynnika THD+N zależy od poziomu i częstotliwości podawanego sygnału. Zazwyczaj wartość ta jest mierzona i podawana w normalnych warunkach pomiarowych urządzenia (patrz punkt 2.2.2) i dla częstotliwości 1 kHz.



**Rys.11. Ustawienia w panelu Analog Analyzer podczas pomiarów całkowitego współczynnika zniekształceń harmoniczných.**

Procedura pomiaru całkowitego współczynnika zniekształceń harmoniczných, dla wybranej częstotliwości i w normalnych warunkach pomiarowych, z wykorzystaniem systemu TWO przebiega następująco:

- Ustalić normalne warunki pomiarowe wzmacniacza dla wybranej częstotliwości pomiarowej (patrz punkt 2.2.2).
- W panelu *Analog Analyzer* wybrać **Function Reading THD+N Ratio**. (patrz rys.11).
- Zaznaczyć kanał, dla którego chcemy przeprowadzić pomiar (A lub B).
- W dwóch polach filtracji **BW** ustawić dolną i górną częstotliwość graniczną pasma, w którym będą przeprowadzane pomiary. Unormowane wartości tych częstotliwości granicznych to **22 Hz** i **22 kHz**.
- Odczytać wartość mierzonego współczynnika THD+N.

Pomiary całkowitego współczynnika zniekształceń harmoniczných dla pojedynczej, dowolnie wybranej częstotliwości, czy też określonej amplitudy sygnału, nie dają pełnego obrazu o nieliniowościach badanego urządzenia. Stąd zamiast dla pojedynczej częstotliwości pomiary te wykonuje się w funkcji częstotliwości, czy też w funkcji zmian amplitudy sygnału dla wybranej częstotliwości (np. 1 kHz). Pomiary te realizowane są w panelu pomiarów z przestrajaniem (**Page 2**). Należy tylko w okienku **Data 1** wybrać **Anlr. THD+N Ratio**, a w okienku **Source 1** wybrać **Gen.Freq.** (przy pomiarach w funkcji częstotliwości) bądź **GenAmplA** (podczas pomiarów w funkcji amplitudy). W tym ostatnim przypadku należy pamiętać o ustawieniu zakresu zmienności napięcia (okienko **Start** – wpisać wartość napięcia przewyższającą szum o co najmniej 10 dB i okienko **Stop** – czułość wejściowa zwiększona o 3 dB).

*Uwaga:* W przypadku urządzeń dwukanałowych możemy w sposób automatyczny mierzyć i nanosić na wspólny wykres zniekształcenia nieliniowe harmoniczne najpierw w kanale A, a następnie w kanale B, przez zaznaczenie okienka **Stereo Sweep** w panelu pomiarów z przestrajaniem.

### 2.2.5. Pomiary charakterystyk fazowych

Pomiary charakterystyk fazowych dostarczają nam informacji o opóźnieniach sygnału w urządzeniu. Wybór przebiegu odniesienia determinuje dwa podstawowe pomiary charakterystyk fazowych: przesunięcie fazy wejście/wyjście lub przesunięcie fazy między kanałami. Przesunięcie fazy, wyrażane w stopniach, zmienia się z częstotliwością stąd najczęściej mierzone jest nie dla wybranych częstotliwości, lecz w funkcji częstotliwości.

Procedura pomiaru przesunięcia fazy między kanałami, dla wybranej częstotliwości i w normalnych warunkach pomiarowych, z wykorzystaniem systemu TWO przebiega następująco:

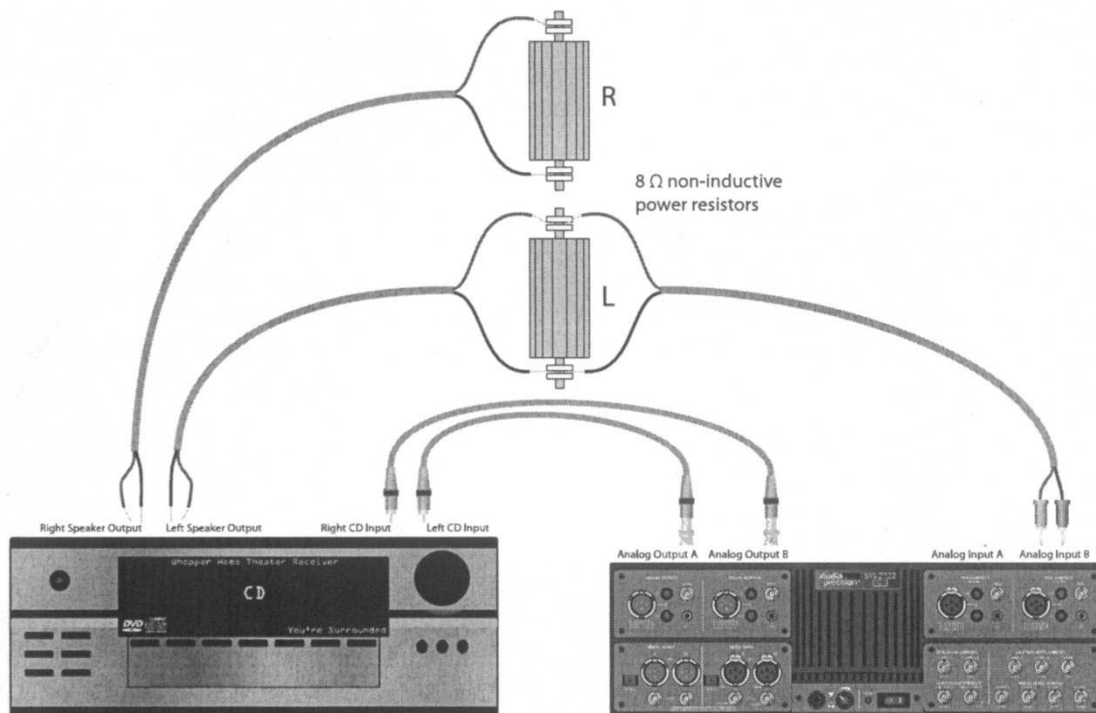
- Należy ustalić normalne warunki pomiarowe wzmacniacza dla wybranej częstotliwości pomiarowej (patrz punkt 2.2.2).
- Odczytać wartość przesunięcia fazy między kanałami w panelu *Analog Analyzer Phase*.

Pomiary przesunięcia fazy między kanałami można wykonać zamiast dla pojedynczej częstotliwości w funkcji częstotliwości, czy też w funkcji zmian amplitudy sygnału dla wybranej częstotliwości. Pomiary te są realizowane w panelu pomiarów z przestrajaniem (**Page 2**). Należy tylko w okienku **Data 1** wybrać **Anlr.Phase**, a w okienku Source 1 wybrać **Gen.Freq.** (przy pomiarach w funkcji częstotliwości) bądź **GenAmplA** (podczas pomiarów w funkcji amplitudy). W tym ostatnim przypadku należy pamiętać o ustawieniu zakresu zmienności napięcia – patrz uwaga z rozdziału 2.2.4.

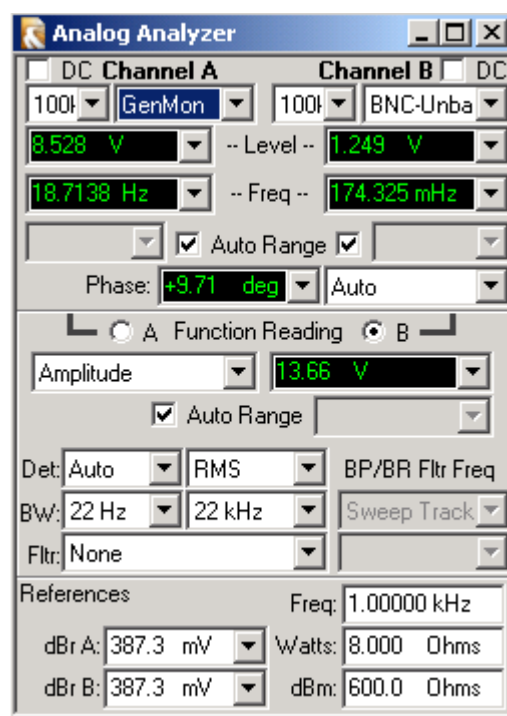
#### **Procedura pomiaru przesunięcia fazy między sygnałem wejściowym a wyjściowym.**

Układ do pomiaru tego przesunięcia dla wybranego kanału wzmacniacza (lewego) przedstawiono na rys. 12. Kabel z obciążenia lewego kanału należy dołączyć do wejścia B analizatora. Należy odłączyć kabel prawego kanału od wejścia A i w panelu *Analog Analyzer Channel A* zmienić wejście z **BNC-Unbal.** na **GenMon** (patrz rys. 13). Dzięki temu na wejście A analizatora jest podawany bezpośrednio w przyrządzie sygnał z generatora i tym samym w panelu *Analog Analyzer* okienko **Phase** można odczytać przesunięcie fazy między sygnałem wejściowym a wyjściowym.

Podobnie jak w przypadku przesunięcia fazy między kanałami, powyższy pomiar można wykonać w funkcji częstotliwości lub amplitudy sygnału wejściowego stosując wyżej opisaną procedurę.



Rys.12. Układ połączeń podczas pomiarów przesunięcia fazy między sygnałem wejściowym a wyjściowym w lewym kanale wzmacniacza.



Rys.13. Ustawienia w panelu Analog Analyzer podczas pomiarów przesunięcia fazy wejście/wyjście.

## 2.2.6. Pomiary przesłuchów

Tłumienie przesłuchu jest wyrażane w dB jako

$$20\lg(U_{A,A}/U_{B,A})$$

gdzie:  $U_{A,A}$  jest znamionowym napięciem wyjściowym kanału A;  $U_{B,A}$  jest napięciem wyjściowym kanału B, pochodzącym od znamionowego napięcia wejściowego sterującego kanałem A.

Podana definicja dotyczy przesłuchu z kanału A do kanału B. Przesłuch z kanału B do kanału A jest wyrażany jako

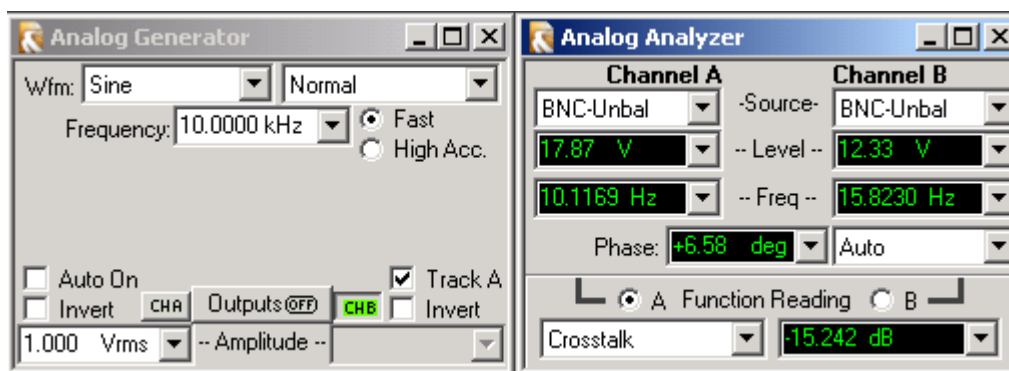
$$20\lg(U_{B,B}/U_{A,B})$$

Procedura pomiaru przesłuchów z kanału A do kanału B, dla wybranej częstotliwości, z wykorzystaniem systemu TWO przebiega następująco:

- Wartość napięcia generatora powinna być równa napięciu znamionowemu wzmacniacza (patrz punkt 2.2.1).
- W panelu *Analog Generator* wpisać wartość częstotliwości, dla której chcemy określić przesłuchy.
- W panelu *Analog Analyzer* wybrać **Function Reading Crosstalk**; jednostka pomiarowa **dB** (patrz rys. 14).
- Regulator wzmocnienia wzmacniacza w pozycji maksymalnej.
- Włączyć generator, ale tylko w kanale A (**ON CHA**)
- Odczytać wartość mierzonych przesłuchów w kanale B (zaznaczone okienko **Function Reading B**).

Procedura pomiaru przesłuchów z kanału B do kanału A, dla wybranej częstotliwości, przebiega podobnie do wyżej opisanej, z tym, że sygnał z generatora podajemy do kanału B, a przesłuchy odczytujemy w kanale A.

Podobnie jak w przypadku pomiarów zniekształceń nieliniowych harmoniczných, pomiar przesłuchów dla pojedynczej częstotliwości, nie odzwierciedla w pełni przenikania sygnału między kanałami. Stąd pomiary przesłuchów powinny wykonywać się w funkcji częstotliwości. Pomiary te realizowane są w panelu pomiarów z przestrajaniem (**Page 2**). Należy tylko w okienku **Data 1** wybrać **Anlr. Crosstalk** i skalę decybelową.



Rys.14. Ustawienia w okienkach Analog Generator i Analog Analyzer podczas pomiarów przesłuchów z kanału B do kanału A.

### **3. Zagadnienia do przygotowania**

- 3.1. Podstawowe parametry sygnałów i urządzeń fonicznych.
- 3.2. Metody pomiaru parametrów elektroakustycznych urządzeń.

### **Literatura**

- [1] APWIN System Two. Instrukcja obsługi.
- [2] Opis systemu Audio Precision. Instrukcja laboratoryjna.
- [3] PN-EN 60268-3 Urządzenia systemów elektroakustycznych – Część 3: Wzmacniacze