

**Program do pomiarów
elektroakustycznych
WinPomi ver. 1.50a**

© Piotr Pruchnicki

Wrocław 1996

Spis Treści

1. Wstęp	str. 3
2. Opis techniczny programu WinPomi ver. 1.50	str. 4
2.1. Elementy składowe systemu pomiarowego	str. 4
2.1.1. Karta DSP16+	str. 4
2.1.2. Program procesora sygnałowego TMS320C25	str. 5
2.1.3. Program WinPomi	str. 5
2.2. Parametry sterujące procesem pomiarowym	str. 5
2.3. Algorytm pracy systemu	str. 9
2.3.1. Przygotowanie do pomiaru	str. 9
2.3.2. Pomiar	str. 9
2.3.3. Wstępna obróbka sygnału	str. 10
2.4. Wyznaczane charakterystyki i parametry	str. 11
2.4.1. Moduł widma	str. 11
2.4.2. Widmo w pasmach	str. 11
2.4.3. Faza	str. 11
2.4.4. Odpowiedź impulsowa	str. 12
2.4.5. ETC	str. 12
2.4.6. Krzywa pogłosowa	str. 13
2.4.7. Parametry pomieszczenia	str. 13
2.5. Funkcje dodatkowe	str. 16
2.5.1. Akwizycja sygnału	str. 16
2.5.2. Przetwarzanie seryjne	str. 16
3. Instrukcja użytkownika programu.	str. 18
3.1. Sterowanie procesem pomiaru	str. 18
3.2. Okno wykresu	str. 20
3.3. Funkcje wybierane z menu	str. 20
3.3.1. Menu Pliki:	str. 20
3.3.2. Menu Pomiar	str. 21
3.3.3. Menu Specjalne	str. 22
3.3.4. Menu Wykres	str. 25
3.3.5. Menu Konfiguracja	str. 25
3.3.6. Menu Info	str. 26
3.3.7. Menu Analiza	str. 26
3.4. Okna pomocnicze uzależnione od typu pomiaru	str. 27
4. Wymagania programu	str. 30
5. Literatura	str. 31

1 Wstęp

Program **WinPomi 1.50** przeznaczony jest do wykonywania szeroko rozumianych pomiarów elektroakustycznych, wersja 1.50 tego programu zapewnia:

- pomiary transmitancji układów elektrycznych, przetworników elektroakustycznych, itp.
- pomiary parametrów pomieszczeń,
- analizę zebranych sygnałów,
- wyznaczenie parametrów *Thiele-Smalla* głośników.

Program pracuje w środowisku **Windows 3.1** i dzięki wykorzystaniu graficznego interfejsu użytkownika obsługa programu jest łatwa i wygodna. Najważniejszym elementem systemu jest karta przetworników A/C i C/A z procesorem sygnałowym *TMS 320C25* produkowana przez firmę *Ariel - DSP16 Plus*.

Oprogramowanie systemu składa się z dwu współpracujących ze sobą programów. Pierwszy z nich to program działający na komputerze klasy **IBM PC** w środowisku **Windows**. Odpowiedzialny jest on za komunikację z użytkownikiem, sterowanie procesem pomiaru i obliczanie wymaganych charakterystyk. Drugi program ładowany do pamięci karty **DSP16 Plus** wykonywany jest przez procesor sygnałowy *TMS 320C25*. Zapewnia on generację sygnału pomiarowego oraz zebranie odpowiedzi układu.

Wyniki przeprowadzonych pomiarów można zapisać w plikach do dalszej analizy lub też wydrukować na drukarce. Bardzo przydatną opcją jest możliwość zapisu otrzymanych charakterystyk w pliku graficznym co pozwala na łatwe ich dołączenie do dowolnego dokumentu. Istnieje też możliwość wyeksportowania wartości zebranych próbek oraz obliczonego widma w postaci pliku tekstowego i wczytanie go do innego programu obliczeniowego np. arkusza kalkulacyjnego (Lotus 1-2-3, Excel), programów matematycznych (MathCad, Mathematica).

2 Opis techniczny programu WinPomi ver. 1.50

2.1 Elementy składowe systemu pomiarowego

W skład systemu pomiarowego **WinPomi 1.50** wchodzi:

- karta *DSP16+* produkowana przez firmę Ariel,
- program napisany w assemblerze procesora sygnałowego *TMS320C25* wykonywany przez procesor karty,
- program **WinPomi** pracujący w środowisku Windows 3.1 na komputerze klasy IBM PC.

2.1.1 Karta DSP16+

Karta *DSP16+* jest kartą przeznaczoną do montowania w komputerach klasy IBM PC. Jest to konstrukcja dość złożona i zawiera [4]:

- 16 bitowe, stereofoniczne przetworniki analogowo-cyfrowe; Zakres napięć wejściowych przetworników wynosi aż $\pm 10V$, mimo tego należy zwracać uwagę, czy nie nastąpiło ich przesterowanie, najprościej zrobić to robiąc pomiar w opcji **Analiza** i oglądając przebieg czasowy,
- przedwzmacniacze z wejściami symetrycznymi, ich impedancja wejściowa wynosi: symetrycznie 10 k Ω , niesymetrycznie 5 k Ω , wejścia zabezpieczone są diodami Zenera $\pm 15 V$, przed zbyt dużym napięciem wejściowym oraz szeregowym rezystorem 300 Ω ,
- 16 bitowe, stereofoniczne przetworniki cyfrowo-analogowe, o napięciu wyjściowym także $\pm 10 V$, na wyjściach znajduje się szeregowy rezystor o wartości 100 Ω , który zabezpiecza kartę przed skutkami ewentualnego zwarcia wyjścia,
- procesor sygnałowy Texas Instruments - *TMS320C25* taktowany zegarem 40 MHz,
- 64 kłowa szybkiej pamięci statycznej S-RAM pełniącej funkcję pamięci programu procesora sygnałowego,
- 256 kłów pamięci dynamicznej DRAM przeznaczonej do przechowywania dowolnych danych, przede wszystkim próbek sygnału,
- interfejs zapewniający komunikację pomiędzy procesorem sygnałowym karty, a komputerem IBM PC poprzez złącze ISA.

2.1.2 Program procesora sygnałowego TMS320C25

Program procesora sygnałowego *TMS320C25* napisany został w asmblerze procesorów *TMS320* i skompilowany kompilatorem *ASM320* do postaci pliku HEX. Plik ten (*TMSPOMI.HEX*) podczas uruchamiania programu ładowany jest do pamięci procesora sygnałowego i uruchamiany.

Jego zadaniem jest:

- wysyłanie kolejnych próbek generowanego sygnału do przetwornika C/A,
- zbieranie próbek przychodzących z przetwornika A/C,
- uśrednienie zebranych próbek,
- komunikacja z programem **WinPomi**.

2.1.3 Program WinPomi

Program WinPomi składa się z następujących plików:

- głównego pliku programu *WINPOMI.EXE*,
- pliku z programem procesora sygnałowego *TMSPOMI.HEX*,
- pliku konfiguracyjnego programu *WINPOMI.INI*,
- pliku konfiguracji pomiarowej, początkowo jest to *NORMAL.CFG*, jednak użytkownik może utworzyć i wybrać plik o innej nazwie,
- biblioteki elementów okien dialogowych *Borland Windows Custom Control - BWCC.DLL*.

Funkcje wykonywane przez program polegają na:

- obliczaniu charakterystyk i parametrów na podstawie zebranych sygnałów,
- prezentacji uzyskanych wyników,
- komunikacji z użytkownikiem,
- drukowaniu wyników.

2.2 Parametry sterujące procesem pomiarowym

Podczas pomiaru na pracę systemu wpływają ustalone przez użytkownika parametry pomiaru. Ich znaczenie jest następujące:

- częstotliwość próbkowania - f_p ; Przetworniki karty pozwalają na pracę z częstotliwościami próbkowania w zakresie $0.1 \div 50$ kHz. Częstotliwość ta uzależniona jest od generatora kwarcowego na karcie i umieszczonego tam dzielnika częstotliwości. Stopień podziału dzielnika ustala się programowo, a częstotliwość próbkowania wyrażona jest wzorem:

$$f_p = \frac{1250}{d}, \text{ gdzie } d - \text{ stopień podziału.}$$

Ponieważ d musi być liczbą całkowitą nie jest więc możliwe ustalenie dowolnej częstotliwości próbkowania. Podana przez użytkownika częstotliwość zaokrąglana jest do wielkości zapewniającej całkowitą wartość d .

Należy także liczyć się z możliwością powstawania zjawiska aliasingu i zniekształcenia górnej części widma, jeśli częstotliwość próbkowania będzie niższa od 40 kHz (częstotliwość graniczna filtrów antyaliasingowych karty jest stała i wynosi 20 kHz).

- poziom wyjściowy; Maksymalny poziom napięcia wyjściowego przetworników C/A karty wynosi $\pm 10 V_{pp}$. Użytkownik w programie wpisuje wartość szczytową napięcia wyjściowego. Zalecane jest używanie wartości bliskich maksymalnej (1 ÷ 10 V) ze względu na najmniejsze zniekształcenia nieliniowe związane z procesem przetwarzania C/A.
- długość FFT; Parametr ten określa ilość generowanych i zbieranych próbek oraz ilość próbek poddawanych przekształceniu Fouriera, może on przyjmować jedną z 6 wartości: 256, 512, 1024, 2048, 4096, 8192. Z długością FFT związana jest ściśle rozdzielczość częstotliwościowa otrzymywanych charakterystyk, im jest większa tym więcej punktów zawierają charakterystyki. Także czas trwania pomiaru oraz długość odpowiedzi impulsowej i charakterystyk pochodnych są uzależnione od tego parametru. Dokładniej opisują to zależności:

$$\begin{aligned} \text{rozdzielczość częstotliwościowa} \quad \Delta f &= \frac{f_p}{n}, & \text{gdzie } n - \text{długość FFT,} \\ \text{długość odpowiedzi impulsowej} \quad t_c &= \frac{n}{f_p}. \end{aligned}$$

Przykładową rozdzielczość i czas analizy dla częstotliwości próbkowania 50 kHz przedstawia poniższa tabelka.

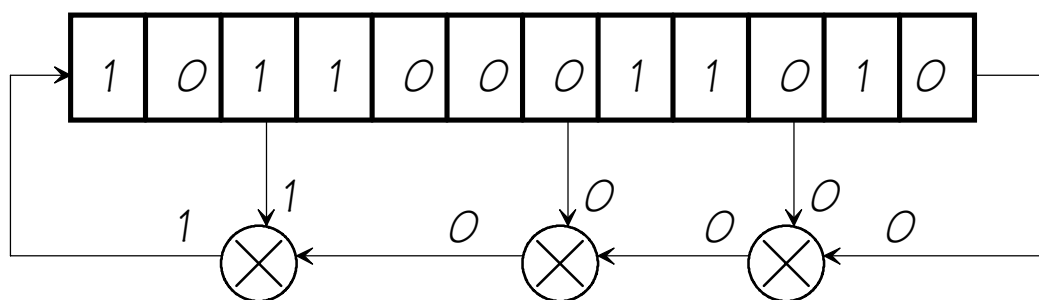
Długość FFT	Δf [Hz]	t_c [ms]
256	195.31	5.12
512	97.66	10.24
1 024	48.83	20.48
2 048	24.41	40.96
4 098	12.21	81.92
8 192	6.10	163.84

- sygnał pobudzający; System **WinPomi** ma możliwość generowania czterech różnych sygnałów pobudzających. Wszystkie one mają szeroką i wyrównaną charakterystykę widmową, co jest niezbędne do właściwego pobudzenia badanych układów. Sygnałem wykorzystywanym najczęściej jest **Chirp** czyli przebieg sinusoidalny o częstotliwości zmieniającej się w czasie od 0 do $f_{max} = f_p/2$ [5]:

$$s(t) = \cos(\omega(t) \cdot t) = \cos(\pi \cdot n \cdot t^2).$$

Jego pozytywną cechą jest to, że uzyskiwane charakterystyki są gładkie.

Drugi z sygnałów to **MLS** (*Maximum Length Sequence*) czyli przebieg pseudolosowy przyjmujący tylko wartości $\pm U_{max}$. Generowany jest on w klasyczny sposób tzn. tworzony jest rejestr przesuwający, w którym wszystkie bity przesuwane są w prawo. Na pierwszą pozycję wpisywana jest wartość uzyskana z przeprowadzenia operacji sumy wyłącznej (EXclusive OR) na bitach pozycji pierwszej i tzw. odczepów, co prezentuje rysunek 1.



Rys. 1

Wykorzystywane odczepy rejestru w zależności od jego długości zestawione są w tabelce poniżej.

Długość FFT	Odczepy		
	I	II	III
256	5	2	3
512	5	-	-
1 024	7	-	-
2 048	9	-	-
4 096	11	6	8
8 192	12	9	10

Przebieg **MLS** ma największą energię średnią ze wszystkich sygnałów generowanych przez

program, zapewnia więc największą dynamikę pomiaru.

Trzecim sygnałem jest **Szum** generowany przez algorytm rekurencyjny:

$$x(i+1) = x(i) \cdot (4k+1) + (2l+1) \bmod n$$

gdzie: n - długość FFT,

k, l - dowolne liczby całkowite, w programie przyjęto arbitralnie

$$k = 1051, l = 1.$$

Najważniejszą właściwością tego szumu jest to, że każda wartość od 0 do $n-1$ występuje w nim tylko jeden raz.

Czwarty sygnał to **Impuls** syntezowany wg wzoru:

$$x(t) = e^{-at} \cdot \cos(2\pi f \cdot t),$$

jako f przyjęto $f = f_p/2$. Sygnał ten symuluje pobudzenie delta *Dirac'a*, umożliwia więc

bezpośrednią rejestrację odpowiedzi impulsowej układu. Jego największą wadą jest jednak niska energia średnia, a przez to mała dynamika pomiaru i duży poziom szumów.

- poziom wyzwalania (*trigger level*); Podczas rejestracji sygnału w opcji **Analiza** proces akwizycji rozpoczyna się z chwilą przekroczenia przez sygnał wejściowy ustalonego poziomu wyzwalania. Poziom określany jest przez użytkownika w krokach kwantyzacji, dla przetwornika 16 bitowego zawiera się więc w zakresie $0 \div 32767$. Warto pamiętać, że poziom szumów własnych karty jest na poziomie 4 - 10 kroków kwantyzacji, tak więc wartości niższe od 10 nie zapewniają odpowiedniego wyzwalania. W obecnej wersji programu możliwe jest wyzwalanie tylko poziomem kanału B.
- okno czasowe; Przed obliczeniem transformaty Fouriera na zebrany sygnał nakładane jest okno czasowe. Jego kształt ustalany jest przez użytkownika. Najczęściej wykorzystywane jest okno prostokątne, czyli tak naprawdę brak jakiegokolwiek okna. Okno to należy wybrać jeśli analizowane są sygnały o ciągłym widmie oraz bezwzględnie wtedy gdy wyznaczamy transmitancję układu stosując jako pobudzenie **Chirp** lub **Impuls**.
Jeśli w analizowanym sygnale występują składowe harmoniczne, które chcemy zidentyfikować warto zastosować któreś z ostrzejszych okien. Do dyspozycji użytkownika zaimplementowano następujące okna [1]: *Bartleta* (trójkątne), *Hanninga*, *Blackmana*, *Kaisera-Bessela*, *Gaussa* (wykładnicze). Okna *Hanninga*, *Blackmana* i *Kaisera-Bessela* opisane są tym samym wzorem:

$$w(t) = a_0 - a_1 \cdot \cos(2\pi t/T) + a_2 \cdot \cos(4\pi t/T) - a_3 \cdot \cos(6\pi t/T)$$

gdzie: T - czas trwania sygnału (okna),

$$0 \leq t < T,$$

współczynniki a_0, a_1, a_2, a_3 przedstawione są w tabeli:

Okno	a_0	a_1	a_2	a_3
Hanninga	1	1	0	0
Blackamana	1	1.36	0.39	0.032
Kaisera-Bessela	1	1.298	0.244	0.00305

Okno Bartleta opisuje równanie: $w(t) = 2 \cdot (1 - \text{abs}(1 - 2 \cdot t/T))$

Okno Gaussa natomiast:

$$w(t) = e^{-(t-t_0)/\tau}$$

gdzie: t_0 - początek okna, w programie $t_0 = 0$,

τ - w programie przyjęto $T/4$.

2.3 Algorytm pracy systemu

2.3.1 Przygotowanie do pomiaru

Podczas uruchamiania programu **WinPomi** realizowany jest proces inicjalizacji karty *DSP16+*. Do pamięci karty ładowany jest program wykonywany przez procesor sygnałowy *TMS320C25* oraz ustalane są parametry pracy zgodnie z wartościami początkowymi odczytanymi z pliku konfiguracyjnego.

Od tego momentu procesor sygnałowy oczekuje na rozkazy z programu **WinPomi**. Każda zmiana parametrów pomiaru powoduje wysłanie odpowiedniego rozkazu i ustalenie wartości kontrolujących działanie programu pomiarowego na karcie.

2.3.2 Pomiar

Po naciśnięciu przycisku **Pomiar** do pamięci karty *DSP16+* ładowana jest tablica zawierająca próbki sygnału, który będzie przez kartę generowany. Przekazywana jest także ilość próbek (długość FFT). Jeśli aktualnym typem pomiaru jest **Analiza** procesor sygnałowy oczekuje aż sygnał wejściowy przekroczy ustalony **Poziom wyzwalania**, jeśli jest to **Transmitancja** cykl pomiarowy rozpoczyna się natychmiast.

Z przekazanej tablicy próbek sygnału pobierane są kolejne próbki i przesyłane do przetwornika C/A. Początkowo sygnał jest generowany, ale nie jest zbierany, system oczekuje aż osiągnięty zostanie stan ustalony badanego obiektu. Ilość cykli bez akwizycji sygnału określa parametr **Cykle puste**.

Następnie próbki zbierane z przetwornika A/C dodawane są do odpowiednich komórek tablicy przechowywanej w pamięci karty *DSP16+*. W ten sposób realizowane jest sumowanie:

$$s_l = \sum_{i=1}^k x_l(i)$$

gdzie: k - ilość uśrednień,

$x_l(i)$ - wartość l -tej zebranej próbki w i -tym cyklu pomiarowym,

s_l - suma l -tych próbek wszystkich cykli.

Po wygenerowaniu wszystkich cykli pomiarowych przechowywana suma jest uśredniana, tzn. dzielona jest przez liczbę wygenerowanych cykli. Program **WinPomi** pobiera z pamięci karty uśrednione próbki i przetwarza je dalej.

2.3.3 Wstępna obróbka sygnału

Uśrednione próbki sygnału pobrane z karty *DSP16+* przechowywane są w odpowiednich tablicach programu **WinPomi**. Dalsze operacje dokonywane na tym sygnale - $y'(t)$ są następujące:

- wymnożenie przez funkcję okna

$$y(t) = y'(t) \cdot w(t),$$

- obliczenie transformaty Fouriera

$$Y[\omega] = F\{y(t)\},$$

(wykorzystano algorytm FFT - RADIX 8, gwarantujący dużą szybkość obliczeń)

- w przypadku pomiaru **Transmitancji** wyznaczana jest także transformata sygnału generowanego:

$$X(\omega) = F\{x(t)\},$$

oraz funkcja transmitancji układu

$$H(\omega) = \frac{Y(\omega)}{X(\omega)},$$

w zależności od ustawień użytkownika jako sygnału normującego można użyć także sygnału zebranego z kanału A lub B, czyli w ten sposób zrealizować wyznaczenie

charakterystyki będącej stosunkiem obu kanałów A/B lub B/A (przydatne w pomiarach impedancji),

- z zespolonej funkcji transmitancji układu $H(\omega)$ lub transformaty zebranego sygnału $Y(\omega)$ obliczane są charakterystyki pochodne.

W przypadku pracy stereofonicznej identyczne operacje przeprowadzane są na próbkach kanału B.

2.4 Wyznaczane charakterystyki i parametry

2.4.1 Moduł widma

Najważniejszą z wyznaczanych charakterystyk jest moduł widma, obliczany z zespolonego widma transmitancji $H(n)$ (analogicznie dla opcji **Analiza** z widma sygnału $Y(n)$):

$$|H(n)| = \sqrt{A(n)^2 + B(n)^2},$$

$$\text{gdzie: } A(n) = \operatorname{Re}\{H(n)\},$$

$$B(n) = \operatorname{Im}\{H(n)\},$$

n - numer prążka.

2.4.2 Widmo w pasmach

Na podstawie **Modułu widma** wyznaczane są poziomy w pasmach oktaowych i tercjowych. Następuje to poprzez sumowanie kwadratów wartości modułu widma poszczególnych prążków:

$$L = \sum_{i=kd}^{kg} |H(i)|^2,$$

gdzie: kd, kg - numery prążków odpowiadające częstotliwościom granicznym pasma tercjowego lub oktaowego.

Ponieważ w wyniku szybkiej transformaty Fouriera (FFT) otrzymujemy widmo z równomiernie rozmieszczonymi prążkami na liniowej skali częstotliwości ilość prążków sumowana w każdym paśmie jest różna, największa dla częstotliwości wysokich, najmniejsza dla niskich. Bardzo często zdarza się więc, że na pasmo oktaowe (lub zwłaszcza tercjowe) poniżej 200 Hz przypada tylko kilka prążków, poziomy wyznaczone w tych pasmach są więc mało wiarygodne.

W opcji **Analiza** do wyznaczenia poziomów w pasmach obliczana jest zwykła suma dzięki czemu analizując szum różowy uzyskuje się właściwą, płaską charakterystykę. W

opcji **Transmitancja**, w celu zachowania kształtu charakterystyk obliczona suma dzielona jest dodatkowo przez ilość zsumowanych prążków.

Wyznaczając widmo w tercjach dla opcji **Analiza** w prawym górnym rogu wykresu pojawiają się obliczone poziomy natężenia dźwięku w decybelach liniowo oraz ważone krzywą A.

2.4.3 Faza

Faza widma wyznaczana jest z wykorzystaniem funkcji *arcus tangens* w związku z czym nie jest ciągła, a jej przedział zmienności zawiera się w zakresie $\pm \pi \text{ rad}$:

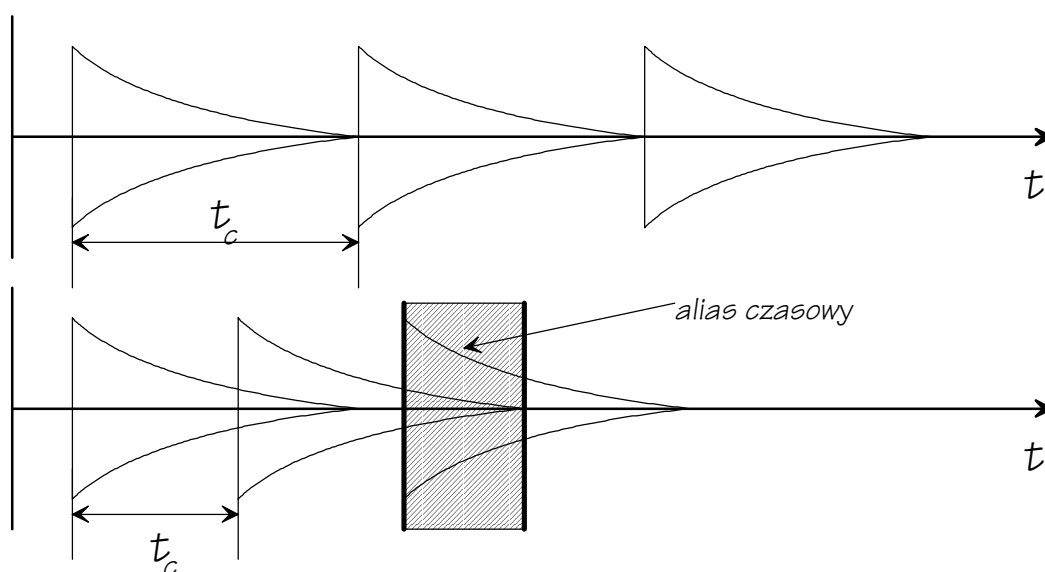
$$\arg\{H(n)\} = \arctan\left(\frac{B(n)}{A(n)}\right).$$

2.4.4 Odpowiedź impulsowa

Odpowiedź impulsowa wyznaczana jest oczywiście tylko przy pomiarach **Transmitancji** (w przypadku **Analizy** prezentowany jest przebieg czasowy zebranego sygnału) z wykorzystaniem odwrotnej transformaty Fouriera:

$$h(t) = F^{-1}\{H(\omega)\}.$$

W przypadku obliczania charakterystyk związanych bezpośrednio z odpowiedzią impulsową (ETC, krzywa pogłosowa, parametry pomieszczenia) należy zwrócić szczególną uwagę na możliwość wystąpienia zjawiska aliasu czasowego powiązanego z długością odpowiedzi t_c . Jeśli jest ona zbyt mała nie zdąży wygasnąć i koniec odpowiedzi sumuje się z jej początkiem co ilustruje rysunek 2.



Rys. 2

2.4.5 ETC

ETC czyli *Energy Time Curve* to obwiednia sygnału (dla opcji **Transmitancja** obwiednia odpowiedzi impulsowej) przedstawiana najczęściej w skali logarymicznej. Wyznacza się ją obliczając moduł sygnału zespolonego. Ponieważ analizowane sygnały są rzeczywiste uzupełnia się je o część urojoną, a następnie wyznacza moduł powstałej funkcji zespolonej. Do wyznaczenia części urojonej wykorzystana została transformata Hilberta [2, 3], którą w uproszczony sposób można wyrazić w postaci splotu:

$$\tilde{a}(x) = a(x) * \frac{1}{\pi \cdot x}.$$

W celu wyeliminowania operacji splotu oraz uwzględniając fakt możliwości zastosowania szybkiego FFT, na obie strony równania powyżej nałożono transformatę Fouriera otrzymując:

$$\tilde{A}(\omega) = A(\omega) \cdot -j \operatorname{sgn}(\omega).$$

Ponieważ ω jest dodatnie należy więc w dziedzinie częstotliwości pomnożyć $A(\omega)$ przez j , czyli zamienić miejscami część rzeczywistą i urojoną:

$$\operatorname{Re}\{\tilde{A}(\omega)\} = \operatorname{Im}\{A(\omega)\}$$

$$\operatorname{Im}\{\tilde{A}(\omega)\} = -\operatorname{Re}\{A(\omega)\}.$$

Na tak otrzymaną funkcję nałożono odwrotną transformatę Fouriera otrzymując oczekiwaną część urojoną:

$$\operatorname{Im}\{a(t)\} = \tilde{a}(t) = F^{-1}\{\tilde{A}(\omega)\}.$$

ETC jest bardzo użyteczna w pomiarach pomieszczeń ponieważ znakomicie eksponuje wszystkie odbicia fali dźwiękowej docierające do mikrofonu, pozwalając na analizę wzajemnych zależności czasowych. Także w przypadku pomiaru innych obiektów, w których ważne są przebiegi czasowe ETC może być pomocna.

2.4.6 Krzywa pogłosowa

Krzywa pogłosowa wyznaczana jest z odpowiedzi impulsowej pomieszczenia metodą całki Schroedera:

$$RT(t) = \int_t^{\infty} h(\tau)^2 d\tau.$$

Krzywą tą można wyznaczać w całym paśmie lub też po procesie filtracji oktawowej. Filtracja przeprowadzana jest w bardzo prosty sposób tzn. wszystkie prążki widma funkcji transmitancji wewnątrz danego pasma oktawowego są pozostawiane bez zmian natomiast pozostałe zerowane

(filtracja idealna). Następnie wykonywana jest odwrotna transformata Fouriera w wyniku której otrzymujemy przefiltrowaną odpowiedź impulsową.

Krzywa pogłosowa wykorzystywana jest do obliczania czasu pogłosu pomieszczenia - RT_{60} . Dokonuje się tego poprzez podwójne kliknięcie lewym przyciskiem myszki na wykresie i ustawienie pomocniczej linijki, kolejne dwa kliknięcia kończą rysowanie, a w rogu wykresu pojawia się wyznaczony czas RT_{60} .

2.4.7 Parametry pomieszczenia

Program pozwala na wyznaczenie wielu istotnych parametrów pomieszczeń na podstawie ich odpowiedzi impulsowej. Najważniejsze z nich to z pewnością współczynniki **STI** (*Speech Transmission Index*). Odzwierciedlają one w bezpośredni sposób zrozumiałość mowy w pomieszczeniu. Współczynniki **STI** wyznacza się najczęściej poprzez pomiar funkcji przeniesienia modulacji (MTF - *Modulation Transfer Function*). Istnieje także metoda pozwalająca na ich wyznaczenie z opowiedzi impulsowej pomieszczenia i tą właśnie metodę wykorzystuje program **WinPomi**. W każdej oktawie wyznacza się najpierw zespoloną funkcję przeniesienia modulacji (*CMTF*) dla każdej z 14 częstotliwości modulujących F_{mod} :

$$CMTF(F_{mod}) = \frac{\sum_{i=kd}^{kg} H(i) \cdot H(L_F - i)}{\sum_{i=kd}^{kg} |H(i)|^2},$$

gdzie: L_F - numer prążka odpowiadający częstotliwości modulującej F_{mod} .

Następnie wprowadza się skalę logarytmiczną:

$$S/N(F_{mod}) = 10 \log \frac{CMTF(F_{mod})}{1 - CMTF(F_{mod})}.$$

Wartości S/N obcina się do wartości ± 15 dB i liczy średnią wartość w oktawie:

$$S/N = \frac{\sum_{F_{mod}}^{14} S/N(F_{mod})}{14}.$$

Współczynniki **STI** to proste unormowanie wartości S/N do zakresu $0 \div 1$:

$$STI = \frac{S/N + 15}{30}.$$

Oprócz wartości współczynników **STI** w oktawach obliczana jest też wartość średnia **STI** (arytmetycznie) oraz współczynnik **AI** liczony jako średnia ważona:

$$AI = \frac{\sum_{i=1}^7 W(i) \cdot STI_i}{7},$$

gdzie: STI_i - wartość współczynnika STI w i -tej oktawie (1 - 125 Hz),
 $W(i)$ - waga AI w i -tej oktawie, według tabeli poniżej:

Oktawa	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
Waga AI	0.00	0.05	0.15	0.23	0.32	0.25	0.00

Współczynnik AI określa zrozumiałość mowy w pomieszczeniu i w zależności od jego wartości następuje także ocena globalna pomieszczenia:

AI	< 0.30	0.30 ÷ 0.45	0.45 ÷ 0.60	0.60 ÷ 0.75	> 0.75
Ocena	BAD	POOR	FAIR	GOOD	EXCELLENT

Z współczynników STI obliczany jest także czas wczesnego zaniku - EDT (*Early Decay Time*) w oktawach. Ze względu na aproksymację nieliniowej zależności między STI a EDT prostą [6] tylko wartości odpowiadające współczynnikom STI z zakresu 0.30 ÷ 0.80 są dokładne.

Obliczane są także parametry energetyczne:

➤ wyrazistość:
$$D = \frac{\int_0^{50ms} h(t)^2 dt}{\int_0^{\infty} h(t)^2 dt},$$

➤ przejrzystość:
$$C = 10 \log \frac{\int_0^{80ms} h(t)^2 dt}{\int_{80ms}^{\infty} h(t)^2 dt},$$

➤ odstęp echa:
$$H = 10 \log \frac{\int_0^{5ms} h(t)^2 dt}{\int_{5ms}^{\infty} h(t)^2 dt},$$

➤ wskaźnik pogłosu:
$$R = 10 \log \frac{\int_0^{\infty} h(t)^2 dt}{\int_0^{50ms} h(t)^2 dt}.$$

Jeśli pomiar wykonywany był dwukanałowo i w kanale A zbierana była odpowiedź z mikrofonu o charakterystyce dookólnej - $h_k(t)$, natomiast w kanale B z mikrofonu o

charakterystyce ósemkowej ustawionym prostopadle do podłużnej osi sali - $h_b(t)$ to dodatkowo wyznaczone zostaną jeszcze parametry przestrzenne:

$$\text{➤ skuteczność odbić bocznych: } LE = 10 \log \frac{\int_0^{80ms} h_b(t)^2 dt}{\int_0^{80ms} h_k(t)^2 dt},$$

$$\text{➤ reakcja pomieszczenia: } RR = 10 \log \frac{\int_0^{80ms} h_b(t)^2 dt + \int_0^{160ms} h_k(t)^2 dt}{\int_0^{80ms} h_k(t)^2 dt}.$$

2.5 Funkcje dodatkowe

2.5.1 Akwizycja sygnału

Akwizycja sygnału to opcja, która umożliwia zapisanie fragmentów sygnału ciągłego do plików w formacie **WinPomi**. Można to traktować jako swoiste próbkowanie sygnału zewnętrznego. Tak otrzymane pliki można następnie obrabiać wszystkimi funkcjami programu, użyteczne jest zwłaszcza **Przetwarzanie seryjne** tak zebranych sygnałów.

W opcji ustala się czas pomiędzy cyklami czyli odstęp czasowy pomiędzy zapisem kolejnych plików w ms. Ze względu na częstotliwość przerwania zegarowego komputera PC (18.2 Hz) dokładność z jaką będą zapisywane pliki wynosi ok. 55ms. Należy pamiętać, że w ciągu ustawionego czasu program musi zdążyć wykonać pomiar oraz zapisać sygnał na dysk. Jeśli z jakichkolwiek powodów program nie zdąży wykonać wszystkich operacji proces akwizycji zostanie przerwany i pojawi się stosowny komunikat.

Zebrany sygnał program zapisuje z rozszerzeniem *.sia*, oraz ustawia **Liczbę uśrednień** na 1.

2.5.2 Przetwarzanie seryjne

Opcja **Przetwarzanie seryjne** pozwala na automatyczną obróbkę dużej ilości plików. Możliwe jest zapisanie na dysku następujących wyników:

- poziomy w oktawach,
- poziomy w tercjach,
- poziom ciśnienia,
- parametry pomieszczenia.

Można także uśrednić lub sumować moduły widma przetwarzanych plików. Wynik tej operacji zapisywany jest w postaci standardowego pliku **WinPomi**. Ustalić można także sposób realizowania operacji dodawania, może to być sumowanie modułów (ciśnieniowo), lub sumowanie kwadratów modułów (mocowo).

3 Instrukcja użytkowania programu.

3.1 Sterowanie procesem pomiaru

Warunki, w których wykonywany jest każdy pomiar ustawiane są z wykorzystaniem specjalnego okna sterującego znajdującego się z prawej strony ekranu (rys. 3). Znaczenie jego poszczególnych elementów jest następujące (zaczynając od góry okna):

- pole **Kursor** - wyświetla aktualne współrzędne kursora znajdującego się w obrębie wykresu,
- lista **Typ Okienka** - pozwala na wybór funkcji okna, która zostanie nałożona na zebrany sygnał, dostępne są następujące okna: Prostokątne, Bartleta (trójkątne), Hanninga, Blackmana, Kaisera, Gaussa (wykładnicze), w przypadku pomiarów transmitancji i analizy sygnałów szerokopasmowych odpowiednie jest okno prostokątne, dla analizy sygnałów harmonicznym zalecane jest wykorzystanie ostrzejszego okna (np. Hanninga),
- lista **Długość FFT** - ustala ilość próbek sygnału analizowanych przez program (w zakresie $256 \div 8192$ próbek), większa długość sygnału zwiększa jego rozdzielczość częstotliwościową (ilość punktów wykresu), ale wydłuża czas pomiaru,
- lista **Sygnal pomiarowy** - określa jaki sygnał pobudzający generowany jest przez program podczas pomiarów transmitancji dostępne są następujące sygnały:
 - **Chirp** - sygnał sinusoidalny o liniowo rosnącej częstotliwości,
 - **MLS** - sygnał pseudolosowy przyjmujący tylko dwie wartości $\pm U_{\max}$,
 - **Szum** - sygnał szumowy, szerokopasmowy,

KURSOR: 312.502, -19.1200

Typ okienka: Długość FFT:

Prostokątne 2048

Sygnal pomiarowy:

Chirp

Liczba uśrednień:

Ilość cykli bez pomiaru:

Napięcie wyjściowe: V

Częst. próbkowania: kHz

Tryb pracy:

kanał A

kanał B

dwa kanały

Wykresy

Autoskalowanie

Praca ciągła





Rys. 3.

- **Impuls** - przebieg impulsowy $x(t)=e^{at} \cos(\omega t)$.
- pole **Liczba uśrednień** określa z ilu wykonywanych cykli pomiarowych uśredniany jest zbierany sygnał, zwiększenie tej liczby wydłuża czas pomiaru minimalizując jednak wpływ nieskorelowanych szumów i zakłóceń na wynik pomiaru (możliwe wartości 1 ÷ 16383). Ponieważ uśrednianie to realizowane jest w dziedzinie czasu można stosować je tylko w przypadku gdy jedynymi zaburzeniami są sygnały zakłócające addytywne oraz zbierany sygnał jest okresowy o okresie dokładnie odpowiadającym długości trwania jednego cyklu pomiaru. Mimo tych zastrzeżeń opcję tą można wykorzystać do pomiarów transmitancji układów elektrycznych, przetworników elektroakustycznych oraz parametrów pomieszczeń. W przypadku opcji **Analiza** uśrednianie można wykorzystać tylko wtedy gdy zbierany sygnał jest generowany przez program w przeciwnym wypadku wartość tą należy ustawić na 1.
 - pole **Cykle puste** określa ile cykli pomiarowych wykonuje program bez zbierania odpowiedzi układu, opcja ta pozwala na osiągnięcie stanu ustalonego badanego obiektu (wartości w zakresie 0 ÷ 2000),
 - pole **Napięcie wyjściowe** określa napięcie szczytowe sygnału na wyjściach karty (zakres 0 ÷ 10V_{pp}), wyższa wartość zapewnia wykorzystanie całej dynamiki przetworników C/A,
 - pole **Częstotliwość próbkowania** określa częstotliwość próbkowania w kHz, (zakres 0.1 ÷ 50kHz), zmniejszenie częstotliwości próbkowania poniżej 40 kHz może spowodować zjawisko aliasingu i związane z tym zniekształcenia amplitudowe w górnej części pasma,
 - obszar **Tryb pracy** określa czy zbierany jest sygnał jednego kanału (A lub B) czy też obu,
 - opcja **Autoskalowanie** zapewnia automatyczne dobranie zakresu skal na osiach wykresu po każdym pomiarze,
 - opcja **Tryb ciągły** włącza cykliczne powtarzanie cykli pomiarowych,
 - obszar **Wykresy** służy do zarządzania zapamiętywaniem charakterystyk wyświetlanych na ekranie (maksymalna ilość charakterystyk zapamiętywanych na stosie uzależniona jest od odpowiedniej opcji w menu **Konfiguracja** - p. 2.5):
 - zapamiętuje aktualną, wyświetlaną charakterystykę na wewnętrznym stosie,
 - zdejmuję ze stosu ostatnią charakterystykę,
 - RESET** kasuje cały stos ,

- przycisk **Pomiar** rozpoczyna cykl pomiarowy,
- przycisk **Rysuj** powoduje przerysowanie wykresu jeśli zachodzi taka konieczność.

3.2 Okno wykresu

Centralną część ekranu programu **WinPomi** stanowi okno wykresu. Prezentowane są w nim wszystkie obliczane charakterystyki. Okno to reaguje na podwójne naciśnięcie lewego przycisku myszy. Czynność ta wywołuje różne akcje w zależności od położenia kursora myszy (jego kształtu).

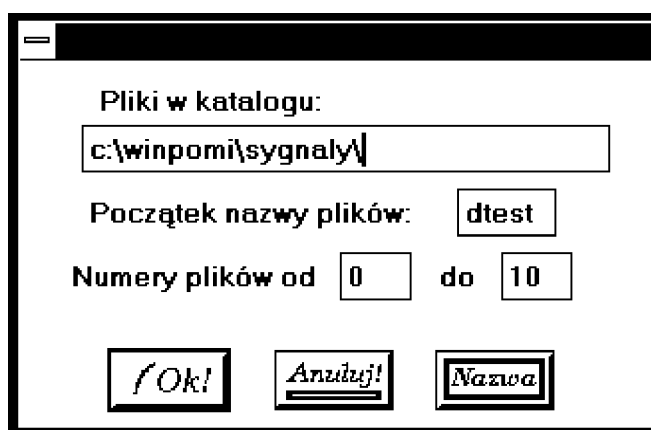
- Kursor w obszarze wykresu (kształt ) - podwójne kliknięcie lewym przyciskiem myszy rozpoczyna rysowanie linii pomocniczej, ponowne kliknięcia kończą jej rysowanie, w okienku pojawia się wyliczone nachylenie linii lub w przypadku krzywej pogłosowej czas pogłosu RT_{60} .
- Kursor w okolicy osi pionowej (kształt ) lub poziomej (kształt ) - wywoływane jest okienko dialogowe ustalające parametry danej osi tzn:
 - rodzaj podziałki: liniowa lub logarytmiczna,
 - gęstość linii podziałki,
 - zakres osi wyświetlany na ekranie,
 - opis osi.
- Kursor nad wykresem (kształt ) wywołuje okienko w którym można wpisać opis wykresu.

3.3 Funkcje wybierane z menu

3.3.1 Menu Pliki:

- **Odczytaj** - wywołuje okienko umożliwiające odczytanie z dysku zapisanego wcześniej sygnału (pliki z rozszerzeniem *.sia* - zebrany sygnał do analizy, i *.sit* - transmitancja układu) lub obliczonej transformaty Fouriera (pliki z rozszerzeniem *.fft*). Odczytując plik z rozszerzeniem *.fft* można przetwarzać go funkcjami opcji **Analiza** jak też **Transmitancja**.
- **Zapisz** - umożliwia zapisanie w pliku o podanej nazwie:
 - zebranych z pomiarów próbek (opcja **Sygnal**),
 - obliczonych transformat Fouriera (opcja **FFT**).

- **Zapis automatyczny** - wywoływane jest okienko (rys. 2), w którym ustala się ścieżkę, 5 literowy początek nazwy plików oraz zakres numerów plików, naciśnięcie przycisku **Nazwa** pozwala na wygodne wybranie katalogu i nazwy plików do zapisu. Po włączeniu opcji **Zapis automatyczny** program samoczynnie zapisuje wynik każdego pomiaru na dysk nadając plikom nazwy składające się z pięciu początkowych liter oraz kolejnego numeru, np. w przypadku z rys. 4 będą to: *dtest0*, *dtest1*, *dtest2* ... *dtest10*.



Rys. 4

- **Export** - eksportuje wyniki pomiaru do plików w innych formatach:
- **Rysunek *.WMF** - umożliwia zapisanie do pliku narysowanej aktualnie na ekranie charakterystyki, utworzony plik otrzymuje rozszerzenie *.wmf*, a jego struktura zgodna jest z formatem *Windows Metafile*, dzięki temu można go w prosty sposób dołączać do dowolnego dokumentu jako plik graficzny,
 - **Plik tekstowy - sygnał** - zapisuje do pliku tekstowego wartości próbek sygnałów (wartości w zakresie $-32767 \div +32767$), w kolejnych kolumnach znajdują się wartości kanału A, wartości kanału B, wartości próbek generowanego sygnału (tylko przy pomiarach transmitancji),
 - **Plik tekstowy - FFT** - zapisuje w pliku tekstowym obliczoną transformatę Fouriera sygnału, w kolejnych kolumnach umieszczone są kolejno: część rzeczywista kanał A, część urojona kanał A, część rzeczywista kanał B, część urojona kanał B.
- **Import** - wczytanie wartości próbek sygnału zapisanych w postaci liczb w pliku tekstowym,
- **Wybierz drukarkę** - opcja ta pozwala na wybór typu drukarki, na której będzie realizowany wydruk charakterystyk, naciśnięcie przycisku **Ustaw** otwiera okienko konfiguracyjne drukarki,
- **Drukuj** - rozpoczyna drukowanie narysowanej charakterystyki,
- **Wyjdź** - kończy działanie programu.

3.3.2 Menu Pomiar

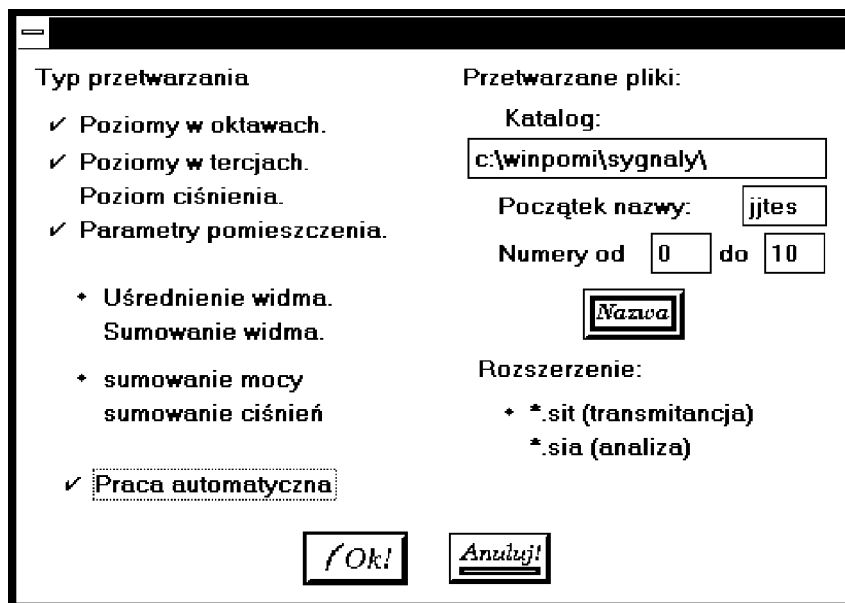
Menu **Pomiar** określa typ aktualnie realizowanego pomiaru:

- **Analiza sygnału** - analiza zebranego sygnału,
- **Transmitancja** - pomiar transmitancji układu.

3.3.3 Menu Specjalne

Opcja **Specjalne** zawiera funkcje dodatkowe:

- **Przetwarzanie seryjne** - umożliwia przetwarzanie dużej ilości plików z sygnałami pomiarowymi oraz zapisanie wyznaczonych parametrów do odpowiednich plików (rys. 5). Obszar **Przetwarzane pliki** określa które pliki będą poddawane obróbce, znaczenie i funkcja poszczególnych elementów tego obszaru jest taka sama jak okienka **Zapis automatyczny** (rys. 4). Dodatkowo należy także podać rozszerzenie plików, które określa, czy przetwarzane będą wyniki pomiarów transmitancji (*.sit), czy też analizy sygnału (*.sia).



Rys. 5.

Obszar **Typ przetwarzania** określa jakie parametry będą wyznaczane z przetwarzanych plików oraz zapisuje wyniki do plików tekstowych, których nazwy mają następującą strukturę - *pppppxxx.TXT*, gdzie *ppppp* to pierwszych 5 liter nazwy przetwarzanych plików, a *xxx* określa rodzaj zapisanych danych (w nawiasie litery podstawiane jako *xxx*):

- **Poziomy w oktawach** - zapisuje poziomy w oktawach (*okt*),
- **Poziomy w tercjach** - zapisuje poziomy w tercjach (*trc*),

- **Poziom ciśnienia** - zapisuje poziomy dźwięku (dBlin i dBA) (*lev*),
- **Parametry pomieszczenia** - zapisuje parametry pomieszczenia (*sti*).

W przypadku **Uśredniania** lub **Sumowania** modułu widma wynik zapisywany jest w postaci standardowego pliku **WinPomi** struktura nazwy jest następująca: *pppppxxy.FFT*, *ppppp* tak jak poprzednio, *xx* opisuje czy wynik to suma (*su*) czy uśrednienie (*sr*) widma, natomiast *y* określa sposób dodawania i może przyjmować wartości 1- sumowanie ciśnień (wektorowe), 2- sumowanie kwadratów (mocowe).

Przełącznik **Praca automatyczna** wyłącza zapytania programu o potwierdzenie przetwarzania kolejnych plików.

- **Parametry Thiele-Smalla** - realizuje obliczenie parametrów *Thiele-Smalla* głośnika na podstawie zmierzonych przebiegów impedancji elektrycznej, w dwu wariantach z masą lub obudową obciążającą. W pojawiającym się oknie (rys. 6) należy podać:

Plik z charakterystyką impedancji:	gd5z.fft	↓
Rezystor pomiarowy:	50.0	Ohm.
Średnica membrany:	33.00	cm
Plik z charakterystyką Z z masą:	gd5mz.fft	↓
Masa obciążająca:	150.00	g
		Oblicz

Rys. 6.

- nazwę pliku, w którym zapisana jest charakterystyka impedancji elektrycznej badanego głośnika (z rozszerzeniem *.fft*),
- wartość rezystora pomiarowego wykorzystanego do pomiarów impedancji,
- średnicę membrany (pracującej jako tłok sztywny), ponieważ program wyznacza powierzchnię czynną membrany metodą geometryczną,
- nazwę pliku, w którym zapisana jest charakterystyka impedancji głośnika obciążonego obudową lub też masą dodatkową,
- objętość obudowy obciążającej lub masę dodatkową.

Naciśnięcie przycisku **Ok** rozpoczyna obliczenia i na podstawie wprowadzonych danych wyznaczane są parametry głośnika oraz prezentowane jest okienko z wynikami (rys. 7).

$R_E =$	<input type="text" value="7.15"/>	Ohm	$Q_{MS} =$	<input type="text" value="4.6002"/>	$V_{AS} =$	<input type="text" value="144.83"/>	dm ³
$f_s =$	<input type="text" value="52.73"/>	Hz	$Q_{ES} =$	<input type="text" value="0.2900"/>	$M_{MC} =$	<input type="text" value="66.96"/>	g
$S_d =$	<input type="text" value="85.53"/>	cm ²	$Q_{TS} =$	<input type="text" value="0.2728"/>	$BI =$	<input type="text" value="23.387"/>	T·m
<input type="button" value="Ok!"/>							

Rys. 7

- **Akwizycja sygnału** - umożliwia zapisanie z sygnału ciągłego fragmentów do plików w formacie **WinPomi** (można to traktować jako swoiste próbkowanie sygnału zewnętrznego), tak otrzymane pliki można następnie obrabiać wszystkimi funkcjami programu, użyteczne jest zwłaszcza **Przetwarzanie seryjne** tak zebranych sygnałów. Okienko sterujące procesem (rys. 8) zapisu zawiera obszar **Zapisywane pliki**, którego znaczenie jest identyczne jak w opcji **Zapis automatyczny** (rys. 4). **Czas pomiędzy cyklami** to odstęp czasowy pomiędzy zapisem kolejnych plików w ms. Ze względu na częstotliwość przerwania zegarowego komputera PC (18.2 Hz) dokładność z jaką będą zapisywane pliki wynosi ok. 55ms. Należy pamiętać, że w ciągu ustawionego czasu program musi zdążyć wykonać pomiar oraz zapisać sygnał na dysk. Jeśli z jakichkolwiek powodów program nie zdąży wykonać wszystkich operacji proces akwizycji zostanie przerwany i pojawi się stosowny komunikat. Zebrany sygnał program zapisuje z rozszerzeniem *.sia*, oraz ustawia liczbę uśrednień na 1. Po naciśnięciu przycisku **Ok** program odczeka 2s (czas potrzebny na ustawienie wszystkich okien) po czym rozpoczyna akwizycję.

Częstotliwość zapisu sygnału		Zapisywane pliki:	
Czas pomiędzy cyklami:		Katalog:	
<input type="text" value="1000"/>	ms	<input type="text" value="g:\ariel\sygnaly\"/>	
Zapis ciągły		Początek nazwy:	<input type="text" value="dtest"/>
		Numery od	<input type="text" value="0"/>
		do	<input type="text" value="10"/>
<input type="button" value="Nazwa"/>			
<input type="button" value="Ok!"/>		<input type="button" value="Anuluj!"/>	

Rys. 8.

3.3.4 Menu Wykres

Menu **Wykres** okr

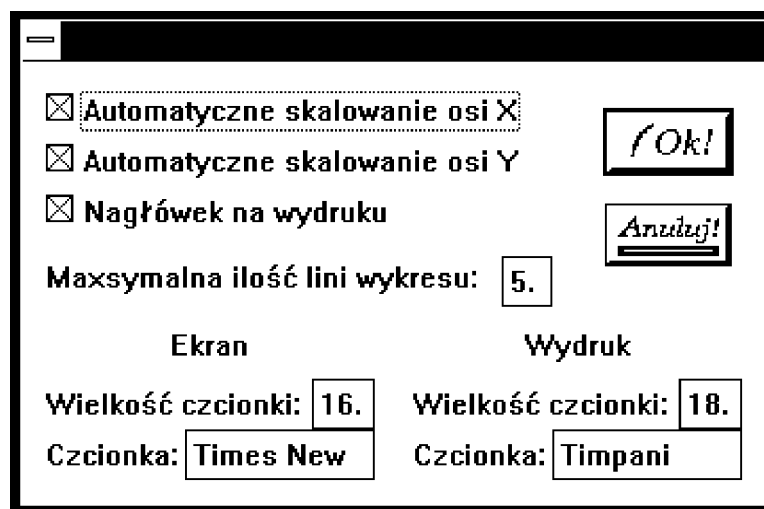
eśla wygląd rysowanego wykresu:

- **Opis wykresu** - wywołuje okienko określające opis wykresu,
- **Oś X** - wywołuje okienko ustalające parametry osi poziomej,
- **Oś Y** - wywołuje okienko ustalające parametry osi pionowej,
- **Linie podziałki** - otwiera okienko ustalające rodzaj linii jaką rysowana jest podziałka na osiach (linia ciągła, kropkowana, kreskowana).

3.3.5 Menu Konfiguracja

Menu **Konfiguracja** odpowiedzialna jest za konfigurację programu:

- **Odtwórz** - odtwarza konfigurację zapisaną w wybranym pliku,
- **Zapisz** - zapisuje aktualną konfigurację do pliku o podanej nazwie, w pliku tym zapisywane są wszystkie ustawienia okna sterującego pomiarem, parametry i rodzaj linii obu osi wykresu oraz ustawione zakresy na osiach,
- **Początkowa** - określa nazwę pliku konfiguracyjnego wykorzystywanego podczas uruchamiania programu,
- **Parametry wykresu** - wywołuje okno (rys. 9), dzięki któremu można określić różnorodne parametry sterujące pracą programu:



Rys. 9

Opcje **Automatyczne skalowanie osi X i Y** określają, czy po każdym pomiarze rodzaj podziałki na danej osi (logarytmiczna, liniowa) zostanie ustalony automatycznie odpowiadając rodzajowi wykonanego pomiaru.

Opcja **Nagłówek** na wydruku określa czy na wydruku i w plikach *Windows Metafile* ma znaleźć się nagłówek z wszystkimi parametrami pomiaru.

Opcja **Maksymalna ilość lini wykresu** określa ile maksymalnie charakterystyk może zostać zapamiętanych na wewnętrznym stosie - zakres $0 \div 10$.

Obszary **Ekran** i **Wydruk** określają wielkość i nazwę czcionki używanej do opisu osi i jednostek odpowiednio na ekranie i na wydruku.

3.3.6 Menu Info

Menu **Info** wyświetla krótką informację o programie.

3.3.7 Menu Analiza

Menu **Analiza** uzależnione jest od aktualnego typu pomiaru, zawarte są tutaj analizy wykonywane przez program.

Dla pomiaru **Transmitancji**:

- **Moduł transmitancji** - wykres modułu transmitancji badanego obiektu, czyli jego charakterystyka częstotliwościowa,
- **Widmo w oktawach** - charakterystyka badanego obiektu w pasmach oktawowych,
- **Widmo w tercjach** - jak wyżej ale w pasmach tercjowych,

- **Odpowiedź impulsowa** - odpowiedź impulsowa obiektu obliczana jako transformata odwrotna z funkcji transmitancji: $h(t)=F^{-1}\{H(w)\}$,
- **ETC** - *Energy Time Curve* - moduł zespolonej odpowiedzi impulsowej, część urojona odpowiedzi wyznaczana jest jako transformata Hilberta części rzeczywistej,
- **Krzywa pogłosowa** - krzywa zaniku dźwięku w wybranym paśmie oktawowym wyznaczana przez całkowanie odpowiedzi impulsowej (metoda Schroeder'a), podwójne kliknięcie myszą pozwala na wyznaczenie czasu pogłosu RT_{60} ,
- **Faza transmitancji** - charakterystyka fazowa obiektu.
- **Parametry pomieszczenia** - parametry **STI** oraz zrozumiałość mowy **AI**, czas wczesnego zaniku **EDT**, wyrazistość **D**, przejrzystość **C**, odstęp echa **H**, wskaźnik pogłosu **R**, skuteczność odbić bocznych **LE**, reakcja pomieszczenia **RR** (rys. 10).

Współczynniki STI w oktawach				EDT w oktawach [s]			
125 Hz	<input type="text" value="0.5686"/>	1 kHz	<input type="text" value="0.5211"/>	125 Hz	<input type="text" value="1.0245"/>	1 kHz	<input type="text" value="1.3188"/>
250 Hz	<input type="text" value="0.5245"/>	2 kHz	<input type="text" value="0.5848"/>	250 Hz	<input type="text" value="1.2948"/>	2 kHz	<input type="text" value="0.9403"/>
500 Hz	<input type="text" value="0.5553"/>	4 kHz	<input type="text" value="0.6396"/>	500 Hz	<input type="text" value="1.0995"/>	4 kHz	<input type="text" value="0.7028"/>
		8 kHz	<input type="text" value="0.6706"/>			8 kHz	<input type="text" value="0.5963"/>
STI wypadkowe:		<input type="text" value="0.5806"/>	AI :	<input type="text" value="0.5764"/>	AI ratio:	<input type="text" value="FAIR"/>	
Wyrazistość D =		<input type="text" value="34.37"/>	%	Odstęp echa H =	<input type="text" value="-32.045"/>	dB	
Przejrzystość C =		<input type="text" value="0.4239"/>	dB	Wskaźnik pogłosu R =	<input type="text" value="2.8159"/>	dB	
Sk. odbić boczn. LE =		<input type="text" value="0.0000"/>	dB	Reakcja pomieszcz. RR =	<input type="text" value="0.0000"/>	dB	
<input type="button" value="Ok!"/>							

Rys. 10

Dla opcji **Analiza** realizowane operacje są podobne, z tą różnicą, że operacje przeprowadza się bezpośrednio na zebranych sygnałach (a nie na transmitancji). **Krzywa pogłosowa** wyznaczana jest w całym paśmie, nie są też obliczane parametry pomieszczenia. Zamiast odpowiedzi impulsowej można obejrzeć **Przebieg czasowy**.

3.4 Okna pomocnicze uzależnione od typu pomiaru

Na dole ekranu występuje okno, którego zawartość uzależniona jest od aktualnego typu przeprowadzanego pomiaru. Przy opcji **Transmitancja** znajdują się tam następujące elementy (rys. 11):

Tryb pracy:	Operacje na transmitancji	Opóźnienie
<input checked="" type="radio"/> kanał pojedynczy	Operacja z sygnałem: <input type="text" value="todnies.fft"/> <input type="button" value="↓"/>	<input type="text" value="10.00"/>
<input type="radio"/> stosunek A/B	Rodzaj operacji	* [ms]
<input type="radio"/> stosunek B/A	<input type="button" value="+"/> <input type="button" value="-"/> <input type="button" value="*"/> <input type="button" value="/"/> <input type="button" value="RESET"/>	[m]

Rys. 11.

- Obszar **Tryb pracy** ustala, czy na wykresie prezentowany jest wykres transmitancji danego kanału, czy też stosunek kanałów A/B lub B/A.
- Obszar **Operacje na transmitancji** - steruje operacjami dokonywanymi na aktualnej charakterystyce, przy pomocy listy można wybrać plik, z którym dokonywana jest operacja, a jednym z przycisków zrealizować operację:
 - zsumowanie dwu charakterystyk,
 - różnica charakterystyk,
 - iloczyn charakterystyk,
 - normalizacja charakterystyki danej względem charakterystyki w pliku,
 - powrót do charakterystyki wyjściowej.

Operacji można dokonywać z plikami, w których zapisana jest transformata Fouriera sygnału, czyli z rozszerzeniem *.fft*. Próba zrealizowania operacji z plikiem sygnałowym kończy się odpowiednim komunikatem. Dodatkowym ograniczeniem jest wymóg tej samej częstotliwości próbkowania oraz tej samej długości obu sygnałów.

Wszystkie operacje przeprowadzane są na zespolonej charakterystyce częstotliwościowej, np. dodawanie zrealizowane jest jako suma dwu wartości zespolonych dla danej częstotliwości.

Jeśli aktualna charakterystyka pochodzi z pliku z rozszerzeniem *.fft*, tzn. jest to transformata Fouriera, a nie sygnał to wielokrotne naciskanie danego przycisku powtarza operację, daje to możliwość zrealizowania wielu operacji jednocześnie. W tym przypadku przycisk *Reset* nie wywołuje żadnych działań.

Aby zachować zmiany powstałe w wyniku operacji należy wynik zapisać jako plik transformaty, czyli z rozszerzeniem *.fft*.

- Obszar **Opóźnienie** pozwala na wpisanie wartości opóźnienia (w ms lub też w metrach) wnoszonego przez mierzony tor. Funkcja ta jest potrzebna w przypadku wyznaczania parametrów pomieszczeń ponieważ przy obliczaniu parametrów C, D, H, R, LE i RR zakłada się, że odpowiedź impulsowa pomieszczenia rozpoczyna się w chwili $t=0$.

Przy opcji **Analiza sygnału** w oknie zmiennym znajdują się (rys. 12):

- Obszar **Operacje na sygnale**, którego działanie i znaczenie jest identyczne jak podczas pomiaru **Transmitancja**,
- Obszar **Wyzwalanie** sterujący procesem zbierania sygnału do analizy, można tutaj ustawić poziom wyzwalania (w krokach kwantyzacji, zakres $0 \div 32767$), jego przekroczenie rozpoczyna zbieranie sygnału, w wersji 1.50 programu wyzwalanie realizowane jest tylko z wykorzystaniem kanału B (analizowany jest jego poziom).
- Obszar **Poziom odniesienia** w którym można wpisać wartość (w dB), o którą zostanie przemnożony sygnał, pozwala to na dowolne przeskalowywanie zebranych charakterystyk.

Przyciski *+10dB* i *-10dB* dają możliwość szybkiej zmiany poziomu odniesienia o wielokrotność 10 dB.

Operacje na sygnale	Wyzwalanie	Poziom odniesienia
Operacja z sygnałem: <input type="text"/> <input type="button" value="±"/>	<input type="radio"/>	<input type="text" value="10.00"/> dB
Rodzaj operacji	<input checked="" type="radio"/> kanał B	<input type="button" value="+10dB"/> <input type="button" value="-10dB"/>
<input type="button" value="+"/> <input type="button" value="-"/> <input type="button" value="*"/> <input type="button" value="/"/> <input type="button" value="RESET"/>	Poziom: <input type="text" value="0"/>	

Rys. 12.

4 Wymagania programu

Wymagania programu **WinPomi** w wersji 1.50 są następujące:

- karta **DSP-16 Plus** firmy *Ariel* z procesorem sygnałowym *TMS 320C25* oraz 64 kółw pamięci programu, z okablowaniem,
- komputer klasy IBM PC:
 - konfiguracja minimalna: 386DX 40MHz (z koprocesorem), 4 MB RAM, dysk twardy 100MB, monitor kolor SVGA;
 - konfiguracja zalecana: 486DX4/100 MHz, Vesa LB lub PCI, 8MB RAM, dysk twardy 500MB, karta graficzna SVGA VLB/PCI Hi Color, monitor kolor 15',
- system **Windows 3.1**, w trybie **Enhanced**,

W skład programu **WinPomi 1.50** wchodzi następujące pliki:

- **winpomi.exe** - główny plik programu,
- **tmspomi.hex** - program wykonywany przez procesor *TMS 320C25* na karcie **DSP-16+**,
- **bwcc.dll** - biblioteka interfejsu użytkownika *Borland Windows Custom Control* w wersji co najmniej 1.03,
- **winpomi.ini** - plik konfiguracyjny programu,
- **normal.cfg** - plik określający konfigurację pomiarową.

5 Literatura

- [1] Bruel & Kjaer, Technical Review, No. 3, 4 / 1987.
- [2] Bruel & Kjaer, Technical Review, No. 1 / 1983.
- [3] Bruel & Kjaer, Technical Review, No. 3 / 1984.
- [4] Ariel Corporation, User's Manual for the DSP-16 Plus, version 6.0, Highland Park NJ, 1993.
- [5] Bruel & Kjaer, Technical Review, No. 2 / 1983.
- [6] Bruel & Kjaer, Technical Review, No. 3 / 1985.