



# System pomiarowy audio

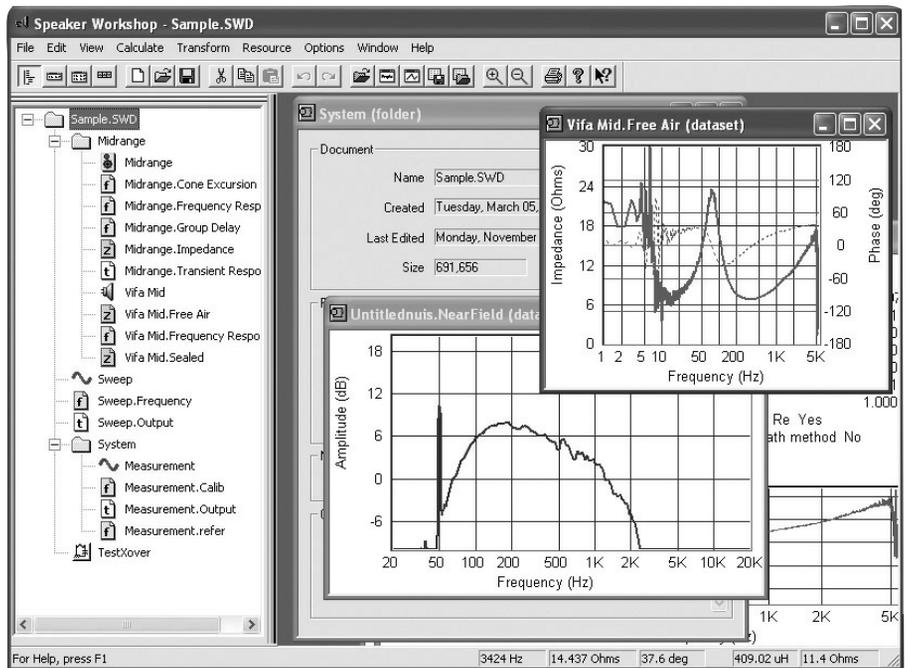


Do It Yourself, czyli samodzielna budowa zespołów głośnikowych, staje się coraz bardziej popularna. Bezpowrotnie minęły lata, kiedy kupno komponentów do ich budowy graniczyło z cudem, a wybór ograniczał się jedynie do polskiego Tonsilu. Po wejściu Polski do Unii ceny stały się niższe, a wybór dużo większy. Wysokiej jakości głośniki, takich firm jak Accuton, PHL czy Focal, dzięki mnogości sklepów internetowych, stały się względnie tanie. Kuszące jest zatem samodzielne wykonanie wysokiej jakości zespołu głośnikowego. Przepis na pierwszy rzut oka wydaje się bardzo prosty: obudowa, dwa lub trzy głośniki i zwrotnica.

Na temat obudów w EdW pojawił się świetny cykl prowadzony przez Andrzeja Kisiela, redaktora naczelnego miesięcznika AUDIO. Ja chciałbym przedstawić urządzenie pomiarowe, które jest niezbędne do poprawnego zaprojektowania zwrotnicy, czyli serca zespołu głośnikowego. Pomiary wykonywane są za pomocą komputera klasy PC, darmowego programu Speaker Workshop (zwanego dalej „SW”) oraz urządzenia, które pośredniczy pomiędzy kartą dźwiękową a mierzonym głośnikiem lub zespołem głośnikowym. Możemy zmierzyć charakterystykę częstotliwościową, impedancję, parametry T/S, elementy RLC. Wszystkie wykresy otrzymujesz na ekranie monitora, gotowe do wydruku. I jeszcze coś na deser: program symuluje zwrotnice i przedstawia wypadkową charakterystykę wraz ze schematem ideowym! „Okno” programu Speaker Workshop widać na rysunku 1.

## Opis układu

Urządzenie służy do komunikacji między elementem mierzonym (np. rezystorem lub głośnikiem) a kartą dźwiękową komputera. Karta musi mieć możliwość pracy w trybie full-duplex (możliwość jednoczesnego wysyłania i odbierania sygnału). Powinna również



Rys. 1

posiadać płaską charakterystykę w paśmie akustycznym (20Hz do 20kHz). Rozsądne minimum to Soundblaster live1024!, jednak na początek do testów wystarczy najprostsza karta. Osobiście używam półprofesjonalnej EMU-0404.

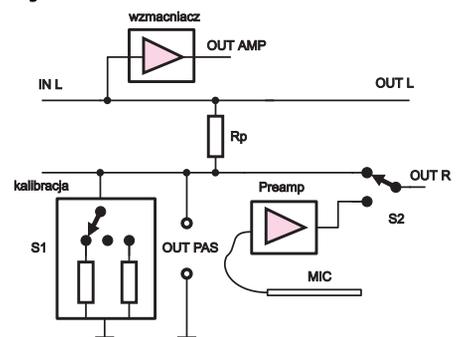
Zanim zaczniesz wgłębiać się w schemat ideowy, zapoznam Cię z bardzo uproszczoną zasadą działania urządzenia na podstawie schematu blokowego z rysunku 2.

Działanie programu polega na porównywaniu sygnału wzorcowego (kanał L) z sygnałem pomiarowym (kanał R).

Zadaniem urządzenia jest dostarczenie tego sygnału w takiej formie, aby urządzenie go „rozumiało”. Wyróżniamy dwa podstawowe tryby pomiaru:

1. Pomiar elementów pasywnych, impedancji i parametrów TS;

Rys. 2



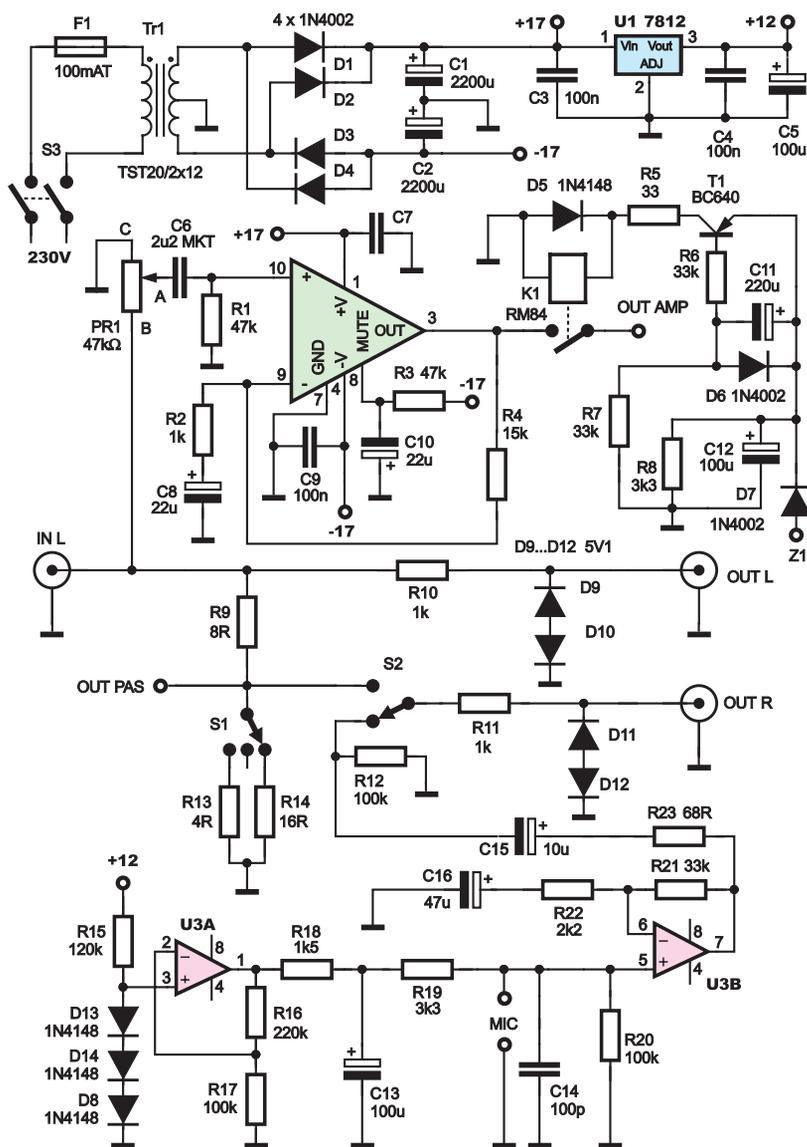
2. Pomiar charakterystyki częstotliwościowej.

Popatrz na rysunek 2. Omówimy teraz, jak biegnie sygnał w przypadku pomiaru elementów pasywnych. Sygnał z wejścia IN L biegnie bezpośrednio do wyjścia OUT L

(wyjście sygnału wzorcowego). Do wyjścia OUT PAS podłączamy element mierzony, np. głośnik. Sygnał z wejścia IN L biegnie również przez rezystor pomiarowy  $R_p$  i nasz podłączony głośnik do masy. Jak widzimy, jest to najprostszy dzielnik napięcia. Program porównuje napięcia na obu wejściach i na tej podstawie określa, jaka jest rezystancja badanego elementu. Skąd to wie? Na pewno zauważyłeś blok oznaczony „kalibracja”. Zanim wykonamy pomiar, wprowadzamy do programu pewne wartości z tego właśnie bloku. Skomplikowane? Tylko na pierwszy rzut oka. Przeanalizuj to jeszcze raz, koniecznie z rysunkiem 2.

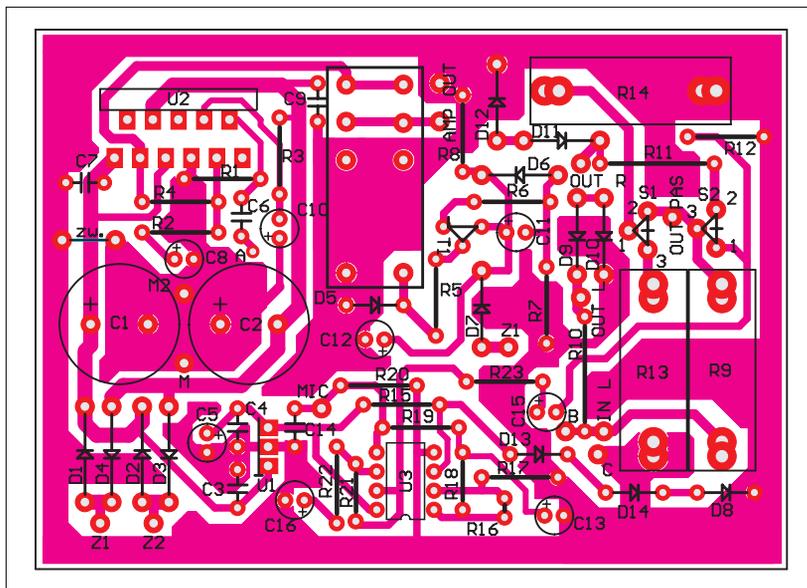
W przypadku pomiaru charakterystyki częstotliwościowej sprawa jest trochę bardziej skomplikowana. Badany głośnik/zestaw głośnikowy podłączamy do wyjścia wzmacniacza oznaczonego jako OUT AMP. Przełącznik S2 ustawiamy w pozycji „w dół”. Sygnał wzorcowy z IN L trafia bezpośrednio do OUT L (tak samo jak w pierwszym przypadku). Trafia również do wzmacniacza mocy (blok AMP). Sygnał z wyjścia wzmacniacza podawany jest na badany głośnik/zespół głośnikowy. Metr od głośnika stawiamy mikrofon. Sygnał z głośnika trafia do mikrofonu, dalej do przedwzmacniacza, a z niego na wyjście OUT R. Teraz zapewne pomyślisz, że sygnał będzie miał inną amplitudę! Spokojnie, przed pomiarem będzie kalibracja. A odbicia od ścian? Z tym też sobie poradzimy. O sygnale MLS i bramkowaniu będzie w następnym odcinku. Spróbuj przeanalizować dokładnie blokową zasadę działania, będzie Ci to potrzebne w przypadku problemów z konfiguracją i kalibracją.

Tak uzbrojony w wiedzę jesteś gotowy do zapoznania się ze schematem ideowym, pokazanym na **rysunku 3**. Transformator T1 o napięciu 2x12...14V dostarcza prąd do mostka zbudowanego z diod D1-D4. Dobrze by było, aby był to transformator ekranowany magnetycznie lub jeszcze lepiej - transformator toroidalny o mocy 10W. Wprostowane za pomocą kondensatorów C1 i C2 napięcie trafia do stabilizatora U1, który dostarcza prąd dla przedwzmacniacza. W roli wzmacniacza końcowego pracuje znany układ firmy National Semiconductors o oznaczeniu LM3876 (bez jakichkolwiek zmian można zastosować LM3886). Dlaczego zastosowałem układ o mocy ponad 50W, skoro będziemy wykorzystywać tylko 1...2W? LM3876 charakteryzuje się bardzo niskimi zniekształceniami (poniżej 0,01%), bardzo płaską charakterystyką w paśmie akustycznym i dobrymi zabezpieczeniami. Do tego jest tani, a moc strat przy tak niskim zasilaniu będzie niewielka. Jest też drugie wyjaśnienie. Czy nie denerwowało Cię kiedyś odpinanie kabli ze swojego sprzętu hi-fi, bo chciałeś przetestować właśnie zbudowany procesorek audio czy filtr? A potem okazało się, że sprzęt stoi 3 metry od Twojego biurka, a Ty nie masz tak długich przewodów ekranowanych. Zaprojektowane przeze mnie urządzenie może również spełniać rolę wzmacniacza do testowania różnych układów, a z odpowiednim transformatorem i radiatorem można uzyskać moc użyteczną ponad 50W. Układ z tranzystorem T1 i przekaźnikiem stanowi opóźnione dołączanie głośnika i działa następująco: po włączeniu zasilania napięcie z transformatora prostowane jest na D1 i kondensatorze C12. Kondensator C11 powoli ładowany jest poprzez rezystor R7. Kiedy napięcie na C11 osiągnie odpowiednią wartość, włączany jest tranzystor T1 i przekaźnik. Trwa to około 2 sekund i w



**Rys. 3 Schemat ideowy**

**Rys. 4 Schemat montażowy**



zupełności wystarcza, aby na głośnikach nie pojawiały się żadne „śmieci”. Po wyłączeniu zasilania C12 zostaje rozładowany (poprzez R8) i przełącznik puszcza. Rezystor R9 to rezystor Rp ze schematu blokowego. Jego rezystancja powinna wynosić  $8\Omega$  z tolerancją 5% lub mniejszą, a moc 5W. Dobrze by było, aby były to rezystory metalizowane lub inne bezindukcyjne. Zapewne słyszałeś o pojęciu reaktancja indukcyjna? W naszym układzie jest ono bardzo nie na rękę. To samo dotyczy rezystorów kalibrujących R13 i R14. Diody D9-D12 stanowią zabezpieczenia układów wejściowych karty muzycznej.

Przedwzmacniacz mikrofonowy zbudowany jest na niskoszumnym wzmacniaczu operacyjnym NE5534. R15, D13, D14, D8 stanowią źródło napięcia odniesienia. R18, C13 i R19 tworzą filtr dolnoprzepustowy i filtrują napięcie dla mikrofonu pojemnościowego. Wzmocnienie wynosi około 15x i taka wartość jest w zupełnie wystarczająca. W przypadku problemów z odbiciami, lub zbyt małym sygnałem wzmocnienie można dowolnie zmieniać za pomocą rezystora R21. Podzespoły R20 i C14 tworzą filtr górnoprzepustowy.

Mikrofon stanowi najbardziej krytyczny element w układzie. Polecam stosowanie „kapsułki” Panasonic o oznaczeniu WM-61A. Powodów jest kilka, ale najważniejszym jest dostępność plików kalibrujących. Takich plików nie da się wykonać we własnym zakresie bez specjalistycznego sprzętu. Kilka osób na świecie wykonało odpowiednie pomiary i udostępniło w Internecie gotowe pliki. Chodzi o to, że nawet drogie mikrofony nie mają płaskiej charakterystyki w interesującym nas paśmie akustycznym. Jeśli mikrofon ma sześciodecybelowy dołek w paśmie od 12 do 14kHz, w pliku kalibrującym jest to dokładnie zaznaczone.

## Montaż i uruchomienie

Cały układ mieści się na jednostronnej płytce o wymiarach 75x100mm, pokazanej na **rysunku 4**. Montaż przeprowadzamy w typowy sposób, zaczynając od elementów najniższych. Do U2 przykręcamy radiator o powierzchni co najmniej 60cm<sup>2</sup>. Może to być blacha aluminiowa o grubości 2mm i wymiarach 60x100mm w kształcie litery L. Jeżeli układ będzie miał dostarczać większe moce niż 4-5W, należy zastosować większy radiator. Rezystory R13 i R14 przed montażem trzeba zmierzyć za pomocą dobrego omiornika. Pamiętaj, że tylko niektóre omiorniki pokazują zero po zwarceniu przewodów pomiarowych. Wyniki zapisz na kartce, będą potrzebne do kalibracji. Stabilizator U1 nie wymaga radiatora.

Napięcie z transformatora dołączamy do punktów Z1 i Z2, a wyprowadzenie środkowe (zero) do punktu M. Na płytce znajdują się trzy punkty lutownicze oznaczone litera-

mi A, B i C. Są to wyjścia na potencjometr, który umieszczamy na płycie czołowej obudowy. Punkt A łączymy z suwakiem (środkową nóżką), punkty B i C z nóżkami zewnętrznymi. Jeśli głośność będzie się zwiększała, kręcąc potencjometrem w lewą stronę, zamień ze sobą punkty A i C. Przełączniki S1 i S2 powinny być hebelkowe z tym, że S1 powinien być 3-pozycyjny, a S2 dwupozycyjny. Pola lutownicze przełączników oznaczone są liczbami 1, 2 i 3. Po zamontowaniu przełączników w obudowie w pozycji pionowej, gdy patrzy się na panel czołowy od przodu: Pin1 – góra, Pin2 – środek, Pin3 – dół (**rysunek 5**). To bardzo ważne, nie pomył się!

Wejściem i wyjściem sygnału będą gniazda czincz przykręcane do obudowy. Nie kupuj najtańszych gniazd, połączenie musi być solidne. Wyjścia OUT PAS i OUT AMP to zaciski głośnikowe przykręcane do obudowy. Mogą to być również zaciski laboratoryjne z zasilacza. Nie stosuj tanich złącz głośnikowych na sprężynki.

**Rysunek 6** przedstawia wygląd płyty czołowej. Oznacz na nim wszystkie wejścia i wyjścia w ten sam sposób, jak ja. Będziemy się nimi posługiwać przy opisie działania systemu.

Oznaczenia na płytce drukowanej są takie same, jak opisy na panelu przednim. Ułatwi to połączenie odpowiednich wejść. Przewody sygnałowe powinny być możliwie krótkie i ekranowane (masę ekranu podłącz tylko od strony gniazd). Masę z punktu M2 podłącz przewodem do masy gniazda czincz oznaczonego MIC. Po zmontowaniu nie podłączaj urządzenia do prądu. Przeprowadź test działania za pomocą omiornika. Posłuż się **tabelą 1**.

Jeśli wszystko się zgadza, włącz urządzenie. Do wejścia MIC podłącz mikrofon. Na razie użyj taniego mikrofonu pojemnościowego. Wyjście OUT R połącz przewodem CHINCH <-> CHINCH z wejściem IN L. Do wyjścia OUT AMP podłącz głośnik. Powinieneś słyszeć w głośniku to, co mówisz do mikrofonu. Tym sposobem sprawdziliśmy mikrofon, przedwzmacniacz i wzmacniacz mocy. Do wejścia IN L możesz podłączyć sygnał liniowy. Sprawdź jakość emitowanego dźwięku z głośnika. Urządzenie jest gotowe!

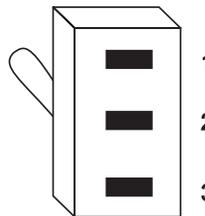
## Pomiary

Podłącz urządzenie do komputera. Na początek kilka słów o wejściach i wyjściach. Ta kwestia jest bardzo często mylona przez początkujących. Pamiętaj, że wyjście karty

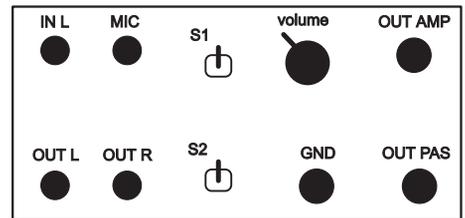


podłączasz do wejścia urządzenia. Wyjście urządzenia łączysz z wejściem karty. Posłuż się **tabelą 2**.

Otwórz okno miksera z Windows. Upewnij się, że suwaki „Regulacja głośności”

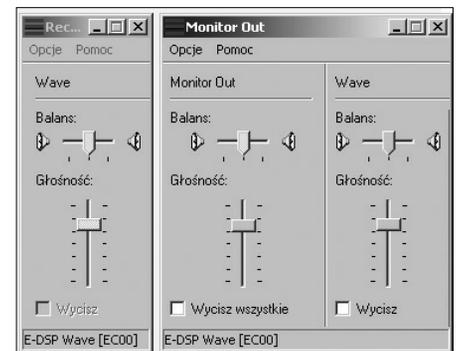


Rys. 5



Rys. 6

Rys. 7



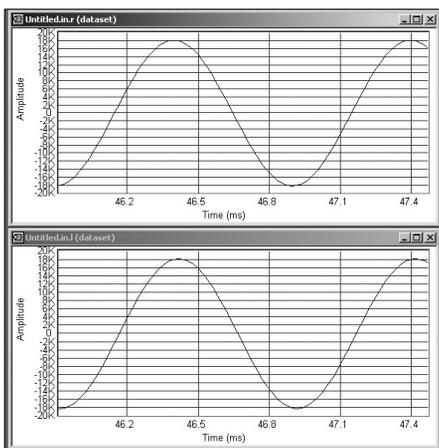
S1	S2	Pomiar pomiędzy	Wynik pomiaru
środek	góra	IN L a OUT L	1kΩ 5%
środek	dół	IN L a OUT L	1kΩ 5%
środek	góra	IN L a OUT R	1kΩ 5%
góra	góra	IN L a GND	12Ω 5%
środek	góra	IN L a GND	47kΩ (wartość PR1)
dół	góra	IN L a GND	24Ω 5%
środek	góra	OUT L a OUT R	2kΩ 5%

Tabela 1

Tabela 2

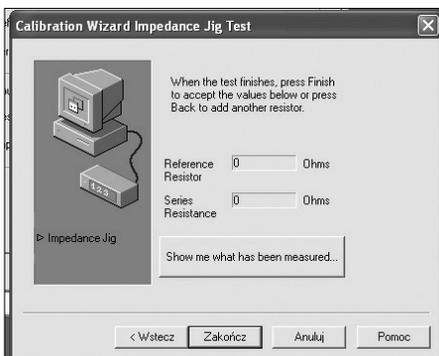
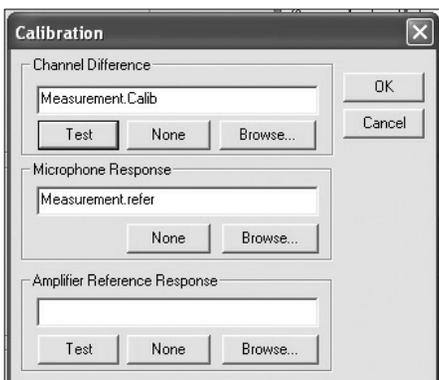
Karta muzyczna	Urządzenie pomiarowe
OUT L -->	IN L
OUT R -->	niewykorzystane
IN L -->	OUT L
IN R -->	OUT R

i „Wave” są w położeniu środkowym i nie są wyszczone. Suwaki balansu muszą być w położeniu środkowym. Uaktywnij wejście liniowe karty. Suwak głośności ustaw również na połowę. Wejścia CD i inne możesz wyciszyć, często są przyczyną zakłóceń. Koniecznie wyłącz korektor graficzny, „super stereo” i inne efekty, którymi dysponuje Twoja karta muzyczna. Ilustruje to rysunek 7.



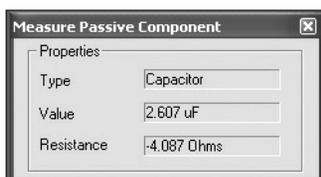
Rys. 8

Rys. 9



Rys. 10

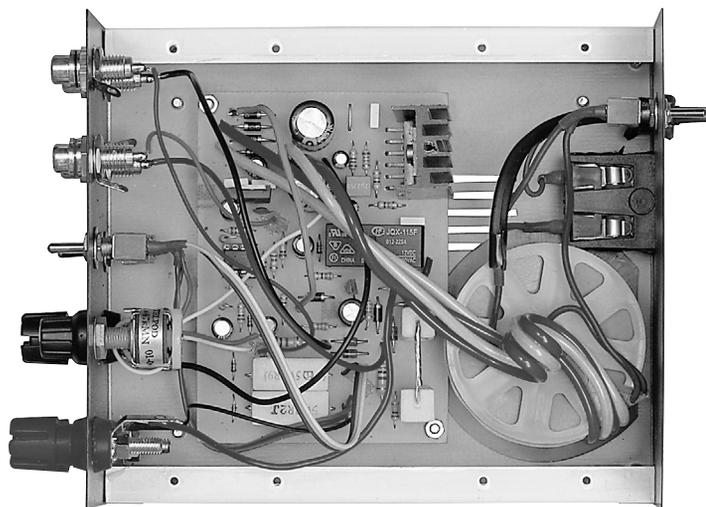
Rys. 11



Uruchom program Speaker Workshop i podłącz urządzenie pomiarowe. Z menu wybierz *File/New*. W lewym pionowym oknie klikamy prawym myszy *New/ Signal*. Nazwij go *test* (po lewej stronie utworzył się plik z taką nazwą). Pojawiło nam się okno z sygnałem sinusoidalnym. Nic tam nie zmieniaj. Ustaw przełączniki: S1 – środek, S2 góra. Z menu *Sound* wybierz *Record*. Pojawia się okno *Record Data*. W *Channels* wybierz *None*, w *Calibration Left*, a w *Data Right*. Naciśnij OK. W lewym oknie pojawiło się kilka plików. Nas interesują na razie dwa: *test.in.l* oraz *test.in.r*. Po otwarciu obu plików ustaw je jeden nad drugim. W obu oknach powinna pojawić się czysta, niezniekształcona sinusoida. Maksymalna amplituda tej sinusoidy powinna wynieść 16kHz. Jeśli jest ona inna, ustaw inny poziom wejścia lub wejścia karty muzycznej i z menu *Sound* wybierz *Record Again* (pamiętaj, aby okno sygnału test było otwarte i było „na wierzchu”). Wykonuj tę czynność, aż w obu kanałach uzyskasz niezniekształconą sinusoidę o amplitudzie 16kHz. Pokazuje to rysunek 8.

Po ustawieniu poziomów należy zrobić kalibrację różnicy między kanałami. Na pewno będą minimalne różnice, chociażby ze względu na tolerancję elementów. W tym celu wybieramy z menu *Options/Calibrate*. Po otwarciu nowego okna w sekcji *Channel Difference* klikamy *Test*. Wybieramy *Dalej*, drugi raz *Dalej* i klikamy *Zakończ*. Potem zatwierdzamy test, klikając przycisk *OK*. Okno znikną. Widać to na rysunku 9.

Ostatnim krokiem będzie kalibracja elementów wewnątrz urządzenia i sprawdzenie



rezystancji szeregowej. Mam nadzieję, że masz jeszcze na kartce dokładne wartości rezystancji dla R13 i R14. Z menu *Options* wybieramy *Preferences* i dalej zakładkę *Impedance*. Ustaw przełącznik S1 w górę. Naciśnij przycisk *Test* w *Impedance Jig Definition*. Naciśnij *Dalej*. W oknie *Resistor Value* podaj dokładną wartość rezystora R13 (około 4Ω). Poczekaj kilka sekund na wykonanie testu. Po wykonaniu testu podaj wartość rezystora R14 (około 16Ω) i ustaw S1 w dół. Kliknij *Dalej*. Po wykonaniu testów pojawi się okno, w którym pokazana jest wartość rezystora Rp oraz rezystancja szeregową pomiędzy kartą, a urządzeniem (rezystancja kabli, złącza itp.). Wartość rezystora Rp (Reference resistor) powinna wynosić 8Ω (5%). Rezystancja szeregową (series resistance) powinna być mniejsza niż ±0,3Ω (±300m). Jeśli wyniki są inne, sprawdź kable, ustawienia przełączników i powtórz test. Jeżeli wyniki są prawidłowe, wybierz *Zakończ* i zamknij okno klikając *OK*, tak jak pokazano to na rysunku 10.

Gotowe! Teraz bez problemu możesz mierzyć elementy pasywne i impedancję głośników lub zestawów głośnikowych. Podłącz

## Wykaz elementów

### Rezystory

R1,R3	47kΩ
R2,R10	1kΩ
R22	2,2kΩ
R23	68Ω
R4	15kΩ
R5	33Ω
R6,R7,R21	33kΩ
R8,R19	3,3kΩ
R9	8Ω 5W
R11	1kΩ
R12,R17,R20	100kΩ
R13	4Ω 5W
R14	16Ω

R15	120kΩ
R16	220kΩ
R18	1,5kΩ
PR1	potencjometr 47kΩ

### Kondensatory

C1,C2	2200μF
C3,C4,C7,C9	100nF
C5,C12,C13	100μF
C6	2,2μF
C8,C10	22μF
C11	220μF
C14	100pF
C15	10μF
C16	47μF

### Półprzewodniki

D1-D4,D6,D7	1N4002
D5,D8,D13,D14	1N4148
D9-D12	5V1
T1	BC640
U1	7812
U2	LM3886
U3	NE5532

### Pozostałe

*F1	100mAT
K1	RM84 12V
S1,S2	przełącznik jednopozycyjny
*S3	przełącznik dwupozycyjny
*Tr1	TST20 2x12V

\* elementy oznaczone gwiazdką nie wchodzi w skład kitu

Komplet podzespołów z płytą jest dostępny w sieci handlowej AVT jako kit szkolny AVT-2782

rezystor, cewkę lub kondensator o znanej wartości do zacisków OUT PAS i GND. S1 ustaw w położeniu środkowym, a S2 w górę. Kliknij dwa razy na plik *test* w lewym oknie. Z menu wybierz *Measure/Passive Component*. Program automatycznie wykrywa badany element i podaje jego wartość (**rysunek 11**).

Jest tylko jedno poważne ograniczenie.

Nie uda nam się zmierzyć elementów o dużych wartościach, np. kondensatora o pojemności  $10000\mu\text{F}$  czy rezystora  $470\text{k}\Omega$ . Z drugiej strony przy takich wartościach z reguły nie jest wymagana duża dokładność pomiaru.

Aby zmierzyć charakterystykę impedancji głośnika, z menu *Measure* wybierz *Impedance*. Po kilku sekundach w lewym pionowym

oknie pojawi się plik z końcówką *\*.impedance*.

Przydatne linki:

<http://www.audua.com> – strona, skąd można ściągnąć SpeakerWorkshop.

<http://diyaudio.pl/sw/> – przydatne narzędzia, pliki kalibracyjne.

**Jarosław Sobólski**  
*jarek@hot.pl*



# System pomiarowy audio

część 2



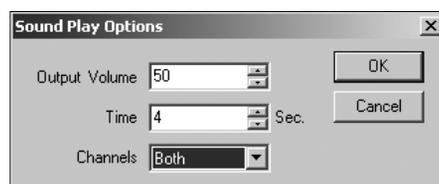
W pierwszej części artykułu przedstawiony był projekt urządzenia pomiarowego i wskazówki dotyczące kalibracji oraz pomiarów elementów pasywnych (RLC). Jest to tylko część możliwości, jakimi dysponuje program Speaker Workshop. W niniejszym artykule chciałem Ci pokazać, jak zbudować mikrofon pomiarowy oraz jak skalibrować system do pomiarów charakterystyki częstotliwościowej i impedancji. Na końcu wykonamy kilka pomiarów testowych.

## Mikrofon

Najważniejszym i najbardziej krytycznym elementem w pomiarach charakterystyki częstotliwościowej jest mikrofon pomiarowy.

Charakterystyka takiego mikrofonu powinna być idealnie płaska w paśmie od 20 do 20000Hz. Takiego mikrofonu oczywiście nie ma, my mamy natomiast plik kalibracyjny, który uwzględni odchyłki użytej wkładki. Sugeruję użycie mikrofonu pojemnościowego Panasonic WM61A lub WM61B. Dlaczego akurat ten? Przyczyny są trzy: niska cena, dostępność oraz plik kalibracyjny. Kapsułkę trzeba umieścić w rurce aluminiowej o średnicy wewnętrznej 6mm i długości 20cm. Krawędzie rurki należy bardzo dokładnie zaokrąglić, zapobiegnie to powstawaniu dyfrakcji. Przewód doprowadzający sygnał powinien być możliwie dobrej jakości. Jego długość nie powinna przekraczać 3 metrów. Wygląd takiego mikrofonu przedstawia **fotografia 1**.

i 2,83V dla impedancji 8Ω. Jeśli jest inna, użyj potencjometru głośności w urządzeniu lub zmień wartość *Output Volume*. W przypadku problemów z odbiciami (o tym w dalszej części artykułu) możemy użyć sygnału o mocy 0,5W. Pamiętaj, aby miernik posiadał możliwość pomiaru TRUE RMS.



Rys. 2

■ Specifications	
Sensitivity	-35±4dB (Odb = 1V/pa, 1kHz)
Impedance	Less than 2.2 kΩ
Directivity	Omnidirectional
Frequency	20-20,000 Hz
Max. operation voltage	10V
Standard operation voltage	2V
Current consumption	Max. 0.5 mA
Sensitivity reduction	Within -3 dB at 1.5V
S/N ratio	More than 62 dB

Tabela 1

Fot. 1



## Kalibracja

Uruchom program Speaker Workshop. Z menu *Options* wybierz *Preferences* i następnie zakładkę *Measurements*. Ustaw *Sample Rate* na 44100, a *Sample Size* na 65536. Wykonaj pełną kalibrację, która opisana została w części pierwszej (ustawienie poziomów sygnału, kalibracja kanałów i elementów wewnątrz urządzenia pomiarowego). Kliknij prawym klawiszem myszy na lewym pionowym oknie i wybierz *New/Driver*. Nadaj mu nazwę *testowy*. Ustaw przełączniki: S1 środek, S2 dół. Do wyjścia OUT\_AMP i GND podłącz badaną kolumnę głośnikową. Kliknij dwa razy na plik *test* (lewe pionowe okno), tak aby był „na wierzchu”. Z menu *Sound* wybierz *Play... Output Volume* ustaw na 50, *Time* 4 sekundy, *Channel Both* (**rysunek 2**).

W głośniku usłyszysz sygnał o częstotliwości 1kHz. Równolegle z badanym głośnikiem włącz woltomierz i sprawdź napięcie. Wartość tego napięcia dla 1W powinna wynieść 2V dla impedancji 4Ω

## MLS

Duże firmy i korporacje, takie jak Tonsil czy B&W, oprócz tego, że dysponują sprzętem referencyjnym, posiadają również olbrzymie komory bezechowe. Komora bezechowa to pomieszczenie o kubaturze kilkuset lub kilku tysięcy metrów sześciennych, wytłumione klinami o długości 2-3 metrów na każdej ze ścian. Taka komora pokazana jest na **rysunku 3**.

W takich warunkach pomiar nawet najniższych częstotliwości nie stanowi problemu.

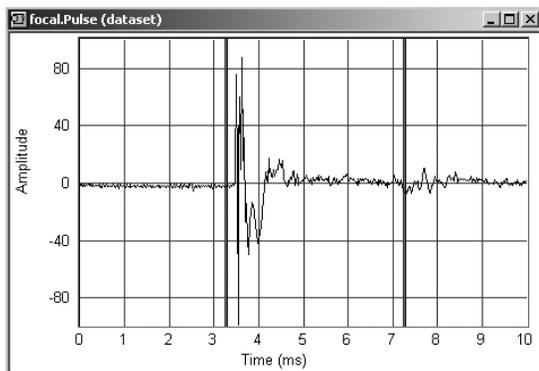
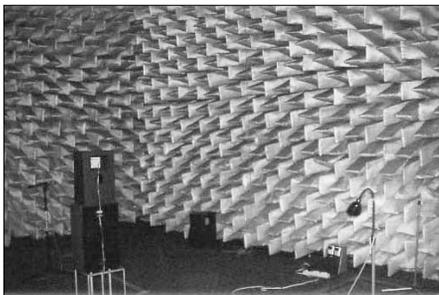
Jak nam, mającym do dyspozycji w naszych „M” tylko 15-30m<sup>2</sup> uda się to wykonać? Właśnie po to powstała metoda pomiarowa Maximum Length Sequence (MLS), która polega na oddzieleniu sygnału użytecznego od sygnału zniekształconego, np. odbić. Program analizuje tylko te informacje, które występują przed pierwszym odbiciem (przeważnie od podłogi). Skąd wiemy, kiedy takie odbicie występuje? I tu dochodzimy do bardzo ważnej kwestii ustawiania markerów. Metoda MLS ma jedną poważną wadę. Z odległości jednego metra nie uda nam się

zmierzyć najniższych częstotliwości. Dokładniej, najniższa możliwa do zmierzenia częstotliwość zależy od czasu bramki (czasu, w którym program analizuje informacje). W typowych pomieszczeniach o powierzchni 20m<sup>2</sup>, w zależności od ich wy tłumienia, ta dolna granica wynosi około 500-600Hz. Częstotliwości poniżej 500Hz będziemy mierzyć w polu bliskim, 1cm od membrany.

## Markery

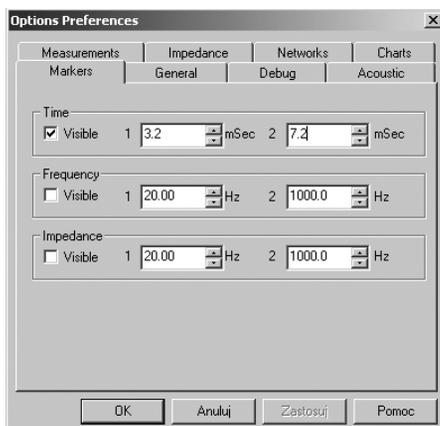
Ustaw kolumnę mniej więcej na środku pokoju. Najlepiej, aby była na wysokości połowy odległości pomiędzy podłogą i sufitem. Staw z mikrofonem umieść metr od kolumny. W przypadku układów dwudrożnych z dwoma głośnikami skieruj mikrofon pomiędzy głośniki. Jeśli układ głośników jest symetryczny (wofer – tweeter – wofer), mikrofon powinien być skierowany na głośnik

Rys. 3



Rys. 4

Rys. 5



wysokotonowy. W połowie kolumny między mikrofonem i głośnikiem na podłodze umieść wytłumienie. Może to być gąbka lub gruby koc. Jest to najbliższa znajdująca się od mikrofonu płaska powierzchnia odbijająca, dlatego powinna być starannie wytłumiona. Kliknij dwa razy na plik głośnika *testowy*, który stworzyliśmy wcześniej (*New/Driver*) i z menu *Measure* wybierz *Pulse response*. Pojawił się plik *testowy.Pulse*. Otwórz go. Jeśli wykres jest bardzo mały, kliknij na nim prawym przyciskiem myszy i wybierz *Chart Properties...* W zakładkach *X Axis* oraz *Y Axis* zmień ustawienia skali. Mój wygląda jak na **rysunku 4**

Przy 3,5ms występuje impuls pomiarowy. Pierwsze groźne odbicie występuje przy 7,8ms. Przed tym odbiciem należy ustawić tzw. bramkę. Informacje za bramką nie będą brane pod uwagę przez program. Pierwszą bramkę należy ustawić przed impulsem pomiarowym, przy 3,2ms. Widać to na rysunku 4. Aby ustawić bramkę, wejdź do menu *Options/Preferences...* zakładka *Markers*. Pokazano to na **rysunku 5**.

Po ustawieniu markerów jesteśmy gotowi do wykonywania pierwszych pomiarów.

## Pomiary

Pamiętaj, że każde przesunięcie mikrofonu lub głośnika/zestawu głośnikowego wiąże się z ponownym ustawianiem markerów. W menu *Measure/Frequency response* mamy do wyboru siedem pozycji, nas interesuje tylko pięć:

*On Axis* – pomiar na osi z odległości jednego metra;

*30 degrees* – pomiar pod kątem 30 stopni w płaszczyźnie poziomej z odległości jednego metra;

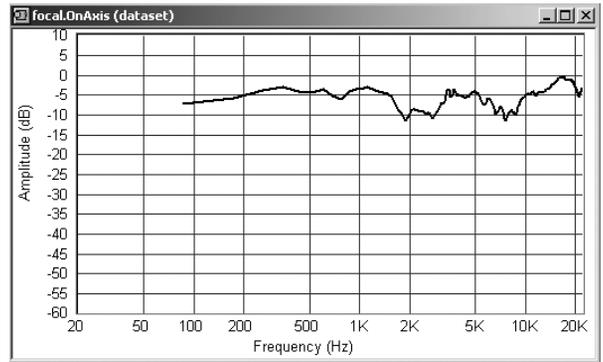
*60 degrees* - pomiar pod kątem 60 stopni w płaszczyźnie poziomej z odległości jednego metra;

*Nearfield* – pomiar w polu bliskim 1cm od membrany;

*Port Response* – pomiar otworu bass-reflex.

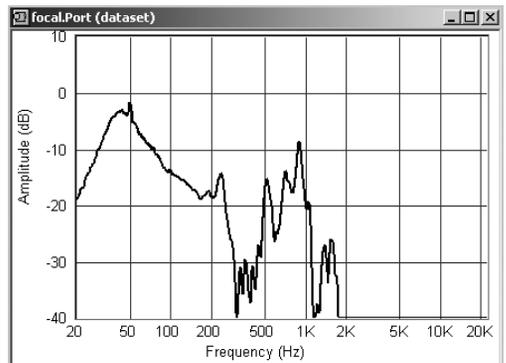
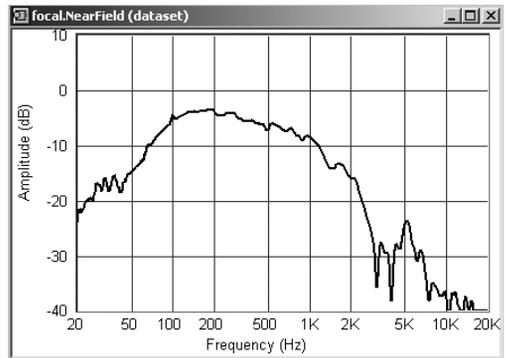
Z menu *Measure/Frequency response* wybierz *On Axis*. Po kilku sekundach pojawi się plik z rozszerzeniem *\*.OnAxis*. Taki pomiar pokazany jest na **rysunku 6**. Aby wygładzić wykres, z menu *Transform* wybierz *Smooth*. Nie stosuj jednak większego wygładzania niż 1/16 oktawy.

Kolejnym etapem będzie pomiar w polu bliskim (*Nearfield*). Maksymalną częstotliwość, jaką możemy zmierzyć tą metodą,



Rys. 6

Rys. 7



Rys. 8

określa wzór 10950/S, gdzie S to średnica głośnika w cm. Dla głośnika 20cm ta częstotliwość wynosi 547Hz. Ustaw mikrofon 1cm od membrany głośnika i z menu *Measure/Frequency response* wybierz *Nearfield*. Pojawi się plik z rozszerzeniem *\*.NearField* (**rysunek 7**).

Pomiar otworu bass-reflex również wykonaj w odległości 1cm od wylotu, jednak z menu *Measure/Frequency response* wybierz *Port Response* (**rysunek 8** pokazuje charakterystykę otworu. Piki przy od 500-1800Hz to rezonanse).

Mając już wszystkie pomiary, możemy połączyć wykresy w jeden, aby uzyskać pełną charakterystykę częstotliwościową zestawu. Połączymy teraz charakterystykę w polu bliskim oraz na osi (*OnAxis*).

Na wykresie z rozszerzeniem *OnAxis* kliknij prawym przyciskiem myszy

i wybierz *Add*. W oknie, które się pojawiło, wybierz wykres z rozszerzeniem *\*.NearField*. Aby całość była bardziej widoczna, ustaw różne kolory dla poszczególnych wykresów (prawy myszy na oknie, *Chart Properties*, zakładka *Data Sets* opcja *Color*). Mając w jednym oknie obie charakterystyki z menu *Calculate*, wybieramy *Splice*. Naciśnij na przycisk oznaczony znakiem zapytania i wybierz plik z rozszerzeniem *\*.NearField*. W polu *Splice At* wybierz częstotliwość połączenia wykresów. Pokazuje to **rysunek 9**.

W ten sam sposób można dołączyć charakterystykę otworu bass-reflex.

## Impedancja

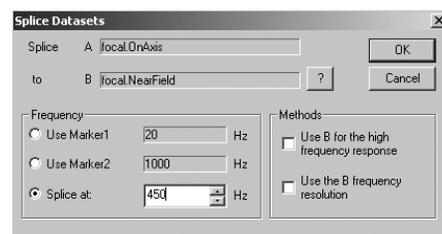
Posiadamy już pełną charakterystykę częstotliwościową, ale brakuje nam charakterystyki impedancji. Podłącz kolumnę głośnikową do zacisków *OUT\_PAS* i *GND*. Przełącznik *S1* powinien być ustawiony w pozycji środkowej, *S2* w górę. Z menu *Measure* wybierz *Impedance*. Po kilku sekundach ukaze się plik z rozszerzeniem *\*.impedance*. Siodło pomi-

dzy dwoma wierzchołkami wyznacza częstotliwość strojenia otworu bass-reflex *Fb* (częstotliwość rezonansowa obudowy) i wynosi 48Hz (**rysunek 9**). Otwórz teraz okno, na którym znajduje się wykres samego otworu. Częstotliwość, przy której promieniowanie jest największe, wynosi... również 48Hz. Wynika z tego, że system mierzy prawidłowo.

## Podsumowanie

Budując zestaw głośnikowy od podstaw, należy zmierzyć charakterystyki częstotliwościowe i impedancji poszczególnych głośników w docelowej obudowie. Za pomocą programu można zaprojektować i symulować zwrotnice. W 90% symulacja pokrywa się z pomiarami. Ale o zwrotnicach i mierzeniu parametrów TS głośników przy następnej okazji.

Jarosław Sobólski  
jarek@hot.pl



Rys. 9

Rys. 10

