

# Subwoofer

*Samodzielna budowa zespołów głośnikowych staje się coraz bardziej popularna.*

*Minęły już czasy, kiedy to kupione spod lady głośniki Tonsila zasilane „Amatorem“ stanowiły jedyny możliwy wybór. Po co budować, skoro można kupić?*

**Rekomendacje:** zestaw głośnikowy, charakteryzujący się doskonałym stosunkiem parametrów do ceny - proponujemy miłośnikom dobrego brzmienia z „zacięciem“ do majsterkowania.

Budując zestaw głośnikowy samodzielnie, możemy stworzyć coś niepowtarzalnego, uzyskać brzmienie, które nam odpowiada i sporo zaoszczędzić. Zbudowanie zestawu głośnikowego z pozoru wydaje się bardzo proste: obudowa, głośniki, zwrotnica. Niestety pozory często mylą, tak jest i w tym przypadku. Podstawą do zbudowania średniej klasy zestawu głośnikowego są przyrządy pomiarowe, znajomość teorii, doświadczenie oraz cierpliwość. Najlepszym sposobem zdobycia doświadczenia jest budowa tzw. kitów, czyli złożenie projektu na podstawie opracowanego już, i co ważne, pewnego projektu.

W artykule przedstawiam mały dwudrożny zestaw głośnikowy, którego koszt budowy wynosi około 350 zł za parę, a jakością dorównuje on produktom o wiele droższym.

## Budowa i wykonanie

Głośnik nisko-średniotonowy (fot. 1) użyty w zestawie posiada oznaczenie ARN150/03-4 i pochodzi od czeskiego producenta TVM. Membrana wykonana z powlekanego lakierem celulozy pracuje na bardzo elastycznym gumowym zawieszaniu. Silny układ magnetyczny o średnicy 82 mm gwarantuje dobre odtwarzanie impulsów, co potwierdzają ostateczne odsłuchy zestawu. Doskonała relacja między parametrami a ceną powoduje, że głośnik jest bardzo często stosowany przez konstruktorów. Dzięki niewielkiej średnicy, charakterystyka częstotliwościowa biegnie liniowo do około 5kHz, tak więc częstotliwość podziału nie jest krytyczna. Parametry głośników przedstawiono w tab. 1.

Głośnik wysokotonowy (fot. 2) pochodzi z rodzimego Tonsila. Jest to 25 mm głośnik kopułkowy o oznaczeniu GDWK11/100 z bar-



dzo miękką kopułką z tkaniny. Front głośnika o średnicy 110 mm wykonany jest z 2 mm aluminium lakierowanego na czarno. Układ magnetyczny o średnicy 70 mm napędza aluminiową cewkę zanurzoną w ferrofluidzie (ciecz znajdująca się w szczeliny magnetycznej pomaga tłumić drgania własne membrany oraz odprowadzać ciepło z cewki).

Podczas projektowania tego zestawu jeszcze na papierze, moim celem było zbudowanie małego zestawu podstawkowego, tzw. mo-



Fot. 1. Głośnik nisko-średniotonowy ARN150/03-4

Tab. 1. Parametry głośników

Głośnik niskotonowy	
Fs	45 Hz
Qts	0,39 (po pomiarach okazało się, że Qts wynosi 0,35...0,36)
VAS	7,9 dm <sup>3</sup>
Sd	75 cm <sup>2</sup>
Xmax	4 mm
Efektywność	84 dB
Moc znamionowa	60 W
Impedancja	4 Ω
Średnica	150 mm
Głośnik wysokotonowy	
Fs	1200 Hz
Efektywność	90 dB
Moc znamionowa	80 W



Fot. 2. Głośnik wysokotonowy GDWK11/100

nitora. Użyty głośnik nisko-średniotonowy jest do tego celu znakomity. Jego niska objętość ekwiwalentna pozwala stosować małe obudowy, a średnia wartość  $Q_{ts}$  (0,36) i niska jak na głośnik o tej średnicy częstotliwość rezonansowa umożliwia osiągnięcie basu od 45 Hz. Wszystko to odbyło się kosztem efektywności zestawu. 83 dB (1 W/1 m) to za mało, aby zrobić dyskotekę, jednak do domowego użytku zestaw dysponuje wystarczającą rezerwą mocy. Aby uzyskać tak dobre rezultaty, jedynym możliwym wyborem była obudowa typu *bass-reflex*. Mimo że nie dysponuje ona tak dobrym impulsem jak obudowa zamknięta, za sprawą otworu pozwala jednak osiągać niskie dolne częstotliwości graniczne, i co ważne, redukować zniekształcenia w pobliżu częstotliwości rezonansowej obudowy ( $F_b$ ). Aby uzyskać niską częstotliwość  $F_b$ , a tym samym niską dolną częstotliwość graniczną, należy spełnić jeden warunek: otwór *bass-reflex* musi być dostrojony odpowiednio nisko, w tym wypadku jest to 47 Hz przy objętości wewnętrznej 8,4 dm<sup>3</sup>. Tak niskie strojenie obudowy wymaga stosowania bardzo długiego tunelu. Przy średnicy wewnętrznej 40 mm jego długość wynosi



Fot. 3. Otwór *bass-reflex*

17 cm i taki otwór należy zastosować. Niestety nabycie takiego tunelu jest prawie niemożliwe, należy go więc wykonać we własnym zakresie. Standardowa długość oferowanych otworów o średnicy 40 mm wynosi 110 mm. Aby uzyskać wymagane 17 cm, należy zakupić rurkę PCV o średnicy 40 mm, nagrzać końcówkę nad kuchenką gazową do momentu, aż stanie się plastyczna i nałożyć ją na zakupioną rurkę *bass-reflex* (fot. 3). Teraz wystarczy tylko sprawdzić wytrzymałość, próbując wyciągnąć PCV, jeśli nam się to uda, należy użyć kleju w miejscu łączenia.

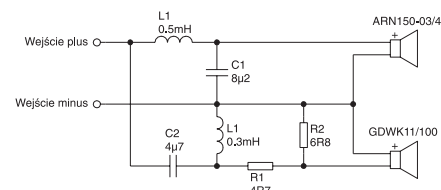
Bardzo ważnym elementem każdego zestawu głośnikowego jest odpowiednio sztywna obudowa. Niektórzy producenci stosują ścianki o grubości dochodzącej do 50 mm, ja nie mam takiej potrzeby. Po pierwsze, obudowa jest mała, przez co łatwiej osiągnąć odpowiednią sztywność, po drugie, zastosowany głośnik nisko-średniotonowy ma niewielką średnicę. Obudowę należy wykonać z płyty MDF o grubości 19 mm. Materiał ten jest tani, łatwy w obróbce oraz posiada odpowiednie tłumienie wewnętrzne. Między bocznymi ściankami należy zastosować poprzeczne wzmocnienie z płyty o szerokości 10 cm. Dzięki temu obudowa jest bardzo sztywna, a duża powierzchnia bocznych ścianek zabezpieczona przed drganiami.

Głośnik wysokotonowy posiada własną komorę o niewielkiej objętości. Często zdarza się, że szczelność między magnesem a frontem głośnika wysokotonowego nie jest do końca zachowana. Powoduje to słyszalne zniekształcenia w postaci szumów powietrza. Drugim ważnym powodem są drgania obudowy przenoszone na głośnik wysokotonowy. W przypadku własnej komory nie musimy martwić się o szczelność, a tym samym możemy umieścić głośnik na podkładkach dystansowych wykonanych z gumy o grubości 2-3 mm. Dzięki temu, głośnik wysokotonowy będzie pracował tak, jakby był zawieszony w powietrzu, nie będzie narażony na drgania pochodzące od głośnika nisko-średniotonowego. Efektem tego jest doskonale słyszalna

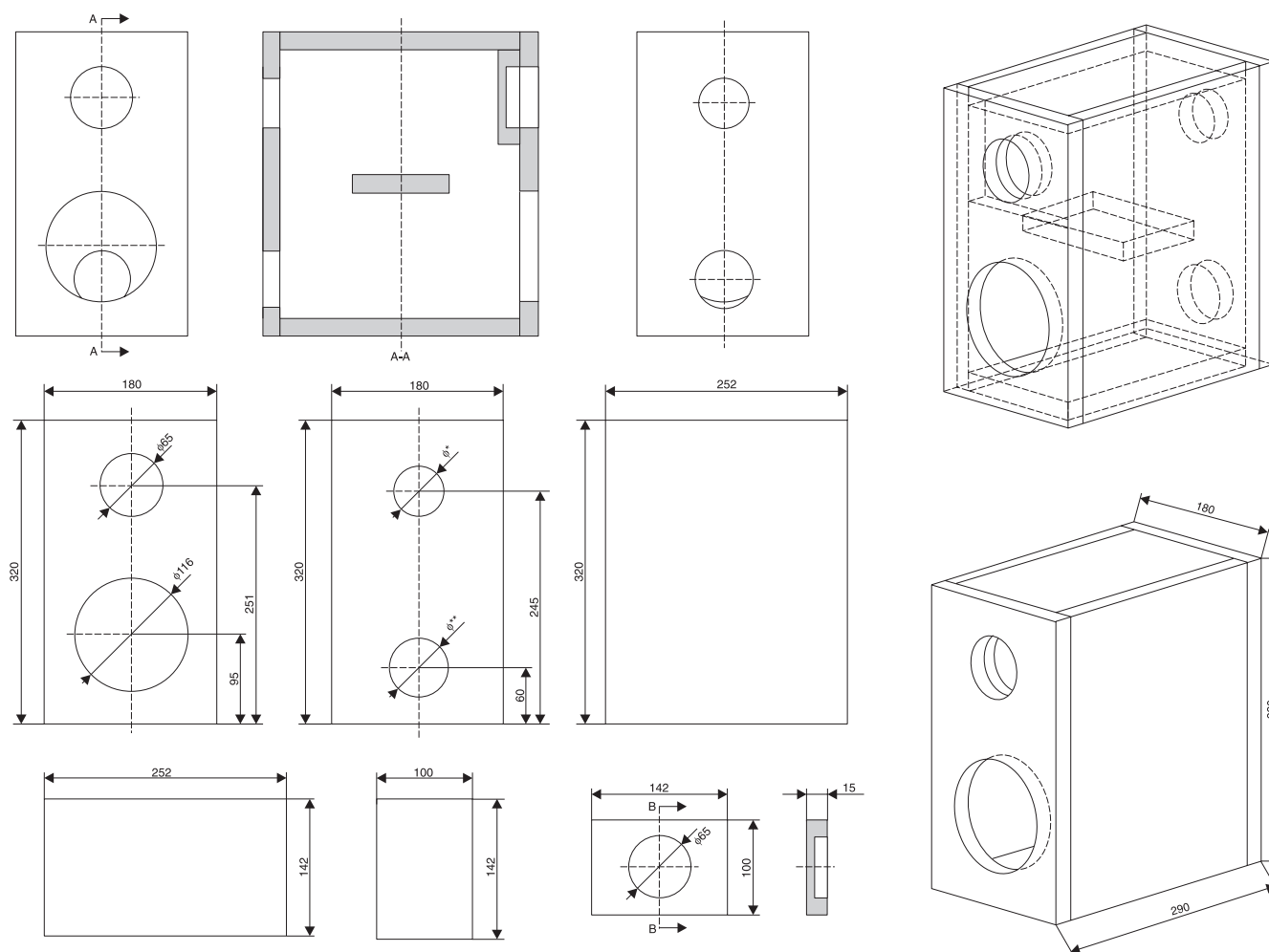
poprawa brzmienia, dźwięk jest bardziej precyzyjny, a lokalizacja źródeł staje się łatwiejsza. Warunek jest jeden: musimy wykonać wyfrezowanie pod głośnik wysokotonowy, aby zachować duże walory estetyczne.

Kolejnym, bardzo często zaniebywanym elementem zestawu głośnikowego jest zwrotnica. Wiele firm oferuje uniwersalne zwrotnice już od kilkunastu złotych, jednak stosowanie tego typu rozwiązań jest poważnym błędem. Należy pamiętać, że każdy głośnik posiada inną charakterystykę częstotliwościową, impedancji, efektywności. Stosowanie uniwersalnej zwrotnicy spowoduje, że charakterystyka częstotliwościowa będzie poszarpana. Często zdarza się, że przy częstotliwości podziału powstają dziury, w których kolumna w ogóle nie gra! Jest to spowodowane przesunięciem fazy sygnału docierającego do głośników, wynikającego z działania filtrów. Nawet najbardziej zaawansowane programy symulacyjne na niewiele się zdadzą, mogą one jedynie stanowić punkt wyjścia przy projektowaniu. Jedyną możliwością zbudowania dobrej zwrotnicy jest pomiar rzeczywistej charakterystyki częstotliwościowej zestawu za pomocą mikrofonu pomiarowego.

Częstotliwość podziału między głośnikami wynosi 3,5 kHz. Producent GDWK11/100 zaleca, aby głośnik pracował od 4,8 kHz, zastosowana 15-ka TVM przetwarza liniowo do 5 kHz, dlatego więc nie dostosowałem się do zalecenia producenta i nie zastosowałem częstotliwości podziału 4,8 kHz? Powodów jest kilka. Jednym z ważniejszych jest szybkość bardzo lekkiej kopolimeryzacji Ton-sila, która pod tym względem ma przewagę nad ciężką membraną 15-ki. Moc znamionowa całego zestawu to 60 W, GDWK może współpracować z zestawem o mo-



Rys. 1. Schemat elektryczny zwrotnicy



Rys. 2. Wymiary kolumny

cy ponad 100 W. Oprócz tego, głośnik wysokotonowy jest przytłumiony o 5 dB, więc nie ma obaw o wytrzymałość mocową kopułki.

Schemat zwrotnicy jest przedstawiony na rys. 1. Filtr dla głośnika niskotonowego ma nachylenie 12 dB/okt. Tworzą go cewka L1 oraz kondensator C1. W prototypie znajdowała się jedynie cewka tworząca filtr o nachyleniu 6 dB/okt. Po kilku dniach pomiarów okazało się, że uzyskanie płaskiej charakterystyki z filtrem tego typu jest niemożliwe - teraz widać, jak ważne są pomiary rzeczywistej charakterystyki częstotliwościowej zestawu. Głośnik wysokotonowy pracuje z filtrem 12 dB/okt (C2, L2) oraz tłumikiem złożonym z R1 i R2, którego zadaniem jest dopasowanie efektywności do głośnika nisko-średnio-tonowego. Głośnik wysokotonowy podłączony jest w przeciwfazie.

Budowa zwrotnicy polegała na doborze elementów metodą prób

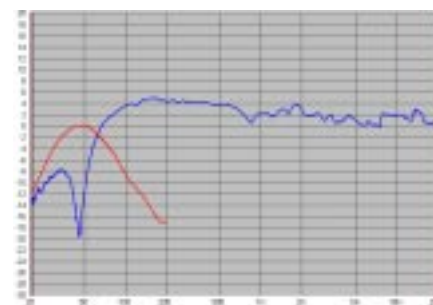
i błędów. Po zmianie któregoś z komponentów dokonywałem pomiarów oraz odsłuchu zestawu. Jak się w praktyce okazało, dobra charakterystyka częstotliwościowa nie zawsze idzie w parze z dobrą jakością dźwięku, dlatego zbudowanie od podstaw zestawu głośnikowego jest zajęciem żmudnym i czasochłonnym.

Charakterystyka częstotliwościowa została złożona z kilku pomiarów: w polu bliskim (metoda stosowana do pomiaru niskich częstotliwości) oraz w odległości 1 metra od kolumny. Do wykresu dodałem również wynik z otworu bass-reflex, charakterystykę wypadkową pozostawiam do własnej analizy.

Charakterystyka jest lekko przechylona w prawo, nie jest to jednak wynik niedopatrzenia. Kolumny były przesłuchiwane przez kilka osób, oceny brzmienia wyglądały podobnie: lekko wycofane średnie tony i momentami zbyt jędrze wysokie. Przytłumiłem

więc o dodatkowe 2 dB głośnik wysokotonowy i obniżyłem górną częstotliwość graniczną w filtrze dolnoprzepustowym. Po przesłuchaniu recenzje były dużo lepsze i taki stan pozostawiłem. Jeśli komuś jednak będzie brakowało wysokich tonów, może zastosować mniejszy tłumik.

Wymiary obudowy zostały przedstawione na rys. 2, a jej ostateczny wygląd na fot. 4. Obudowa została wytłumiona wełną mineralną o grubości 2-3 cm na tylnej oraz dolnej ścianie. Za-



Rys. 3. Charakterystyka częstotliwościowa zestawu



Fot. 4. Widok wykończonej kolumny

chcę jednak do eksperymentów, ilością i rodzajem wytłumienia możemy wpływać na charakter niskich i średnich częstotliwości. Zwrotnica została umieszczona na dolnej ścianie. Sprawę wykończenia obudowy pozostawiam Czytelnikom, osobiście użyłem naturalnego forniru, który według mnie daje najlepsze rezultaty.

Zestawy wymagają mocnego wzmacniacza. Osobiście używam

**Tab. 2. Parametry zestawu**

Moc znamionowa/max	60 W/100 W
Efektywność 1W/1m	83 dB
Pasma przenoszenia (-3dB)	45 Hz...22 kHz

końcówki o mocy 2x120 W, co wcale nie jest przesadą. Wzmacniacz o dużej mocy bardzo dobrze trzyma w ryzach głośniki, nie pozwalając im się przesterować. Jest to bardzo ważne przy głośnikach o tej średnicy. Uzyskane parametry zestawu są przedstawione w **tab. 2**.

Brzmienie zestawu jest bardzo szybkie i zróżnicowane, na szczególną uwagę zasługuje bardzo kontrolowany i całkiem niski bas. Czasami można zapomnieć, że ma się do czynienia z głośnikiem o tak małej średnicy. Wysokie oraz średnie tony zachowują „wysoki poziom“. Biorąc pod uwagę cenę, nie można zestawowi nic zarzucić.

**Jarosław Sobólski**  
igod@netlab.eu.org

**WYKAZ ELEMENTÓW****Rezystory**

R1: 4,7Ω/10W (2 szt.)

R2: 6,8Ω/10W (2 szt.)

**Kondensatory**

C1: 8,2μF polipropylen (2 szt.)

C2: 4,7μF polipropylen (2 szt.)

**Cewki**

L1: 0,5mH powietrzna, drut 1,4mm (2 szt.)

L2: 0,3mH powietrzna, drut 1mm (2 szt.)

**Różne**

Głośnik ARN150/03-4 (2 szt.)

Głośnik GDWK11/100 8R (2 szt.)

Gniazda przyłączeniowe (2 szt.)

Otwory bass-reflex: 40x170mm (2 szt.)

*Wzory płytek drukowanych w formacie PDF są dostępne w Internecie pod adresem: [pcb.ep.com.pl](http://pcb.ep.com.pl) oraz na płycie CD-EP5/2004B w katalogu PCB.*