

Projekty układów zwrotnic do zestawów głośnikowych

Z uwagi na duże zainteresowanie projektowaniem i samodzielnym wykonaniem nagłośnienia do użytku domowego, w poniższym artykule przedstawiono dwa projekty pasywnych zestawów głośnikowych o wysokiej jakości odtwarzania dźwięku, jakie każdy czytelnik może wykonać we własnym zakresie przy użyciu elementów elektronicznych, które są bez problemu dostępne na rynku. Obydwa zestawy głośnikowe wykorzystują nieznacznie tylko zmodyfikowane obudowy popularnych zestawów głośnikowych firmy Tonsil, typu „Altus 300” oraz „Zeus”, co w znaczącym stopniu obniża koszt wykonania tych urządzeń.

1.1. Zestaw głośnikowy w obudowie typu „Altus 300”

Pierwszą propozycję stanowi zestaw głośnikowy w obudowie typu „Altus 300”. Taki zestaw można sobie wykonać tanim kosztem we własnym zakresie. Charakteryzuje się on wyrównaną charakterystyką poziomu ciśnienia akustycznego w funkcji częstotliwości, wyrównaną charakterystyką opóźnienia grupowego w funkcji częstotliwości oraz wyrównaną charakterystyką modułu impedancji w funkcji częstotliwości poza obszarem rezonansów głośnika niskotonowego w obudowie basrefleks, co jest szczególnie korzystne z punktu widzenia użytkowników wzmacniaczy lampowych. Zwrotnica tego zestawu głośnikowego była wielokrotnie optymalizowana pod kątem uzyskania jak najlepszych rezultatów dźwiękowych i parametrów elektrycznych. Zestaw jest trójdrożny. Częstotliwości podziału to 500 Hz oraz 5 kHz. Impedancja znamionowa to 8 Ω .

Aby wykonać taki zestaw będziemy potrzebować następujących elementów:

1. Dwie obudowy od zestawu głośnikowego „Altus 300” wraz z przyłączami, gniazdami maskownic, maskownicami, cokołami i rurami basrefleks, wykonane z płyty MDF o grubości 18 mm. Można je zamawiać w najrozmaitszych wykonaniach przy zastosowaniu

różnych rodzajów oklein. Najbardziej popularne wykonanie to front i tył w okleinie typu czarna morka natomiast ścianki boczne w okleinie typu czarny jesion. Istnieje jednak możliwość zastosowania różnych kombinacji rodzajów oklein i jeśli komuś zależy na bardziej klasycznym wyglądzie zestawu, można np. zastosować kombinację – front i tył w okleinie typu czarna morka natomiast ścianki boczne w okleinie typu orzech. Producent przewiduje również możliwość wykonania obudów do tego zestawu głośnikowego w odbiciu lustrzanym.

2. Dwa głośniki niskotonowe GDN 30/60/3 w wykonaniu ośmioomowym z kobaltowym obwodem magnetycznym (najlepiej ze starej produkcji z lat siedemdziesiątych dwudziestego wieku, po regeneracji, ponieważ wersja współczesna nie posiada na rdzeniu obwodu

magnetycznego miedzianego pierścienia Faradaya i jej zastosowanie wymaga przeobrażenia obwodu kompensacyjnego (Zobla w proponowanej zwrotnicy). Istnieje także możliwość zastosowania tego głośnika w wersji produkowanej współcześnie. W tym artykule znajdzie się komentarz dotyczący modyfikacji układu zwrotnicy celem umożliwienia jej współpracy z głośnikiem w tym wykonaniu.

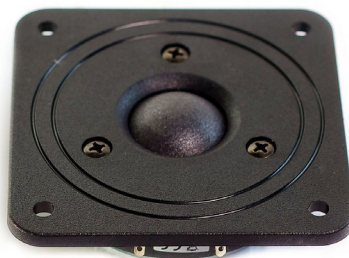
3. Dwa głośniki średnionowe GDM 18/80 w wykonaniu ośmioomowym.
4. Dwa głośniki wysokotonowe GDWK 9/80/1 w wykonaniu ośmioomowym.
5. Pierścienie dekoracyjne do głośników niskotonowych i średnionowych wykonane w Tonsilu na zamówienie bez fazowania otworów montażowych (otwory z fazowaniami dla śrub z łbem stożkowym „wyrabiają się” podczas montażu i demontażu co wygląda nieestetycznie), przeznaczone



Rysunek 1.1. Głośnik niskotonowy Tonsil typu GDN 30/60/3 Źródło: <https://www.skleptonsil.pl/>



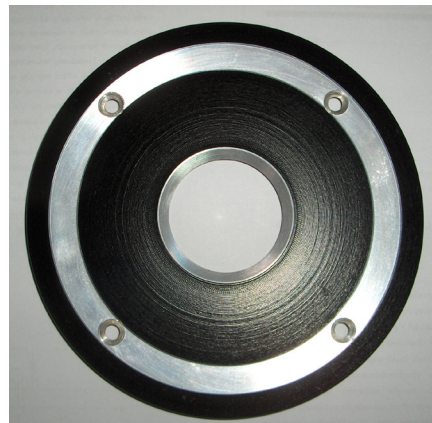
Rysunek 1.2. Głośnik średnionowy Tonsil typu GDM 18/80 Źródło: <https://www.skleptonsil.pl/>



Rysunek 1.3. Głośnik wysokotonowy Tonsil typu GDWK 9/80/1 Źródło: <https://www.skleptonsil.pl/>



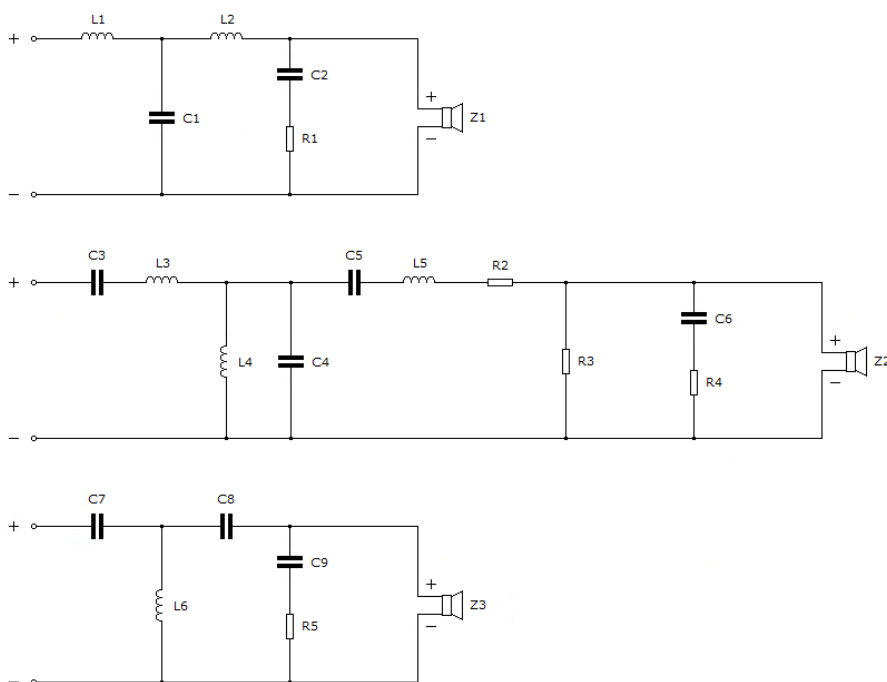
Rysunek 1.4. Śruba z gwintem metrycznym M4 z łbem walcowym pod płaski śrubokręt wykonana zgodnie z normą DIN84



Rysunek 1.5. Pierścień dekoracyjny głośnika wysokotonowego Tonsil typu GDWK 9/80/1

Tabela 1.1. Wykaz elementów składowych zwrotnicy zestawu głośnikowego w obudowie typu „Altus 300”

R1	8,2 Ω/20 W
R2	2,2 Ω/20 W
R3	15,0 Ω/20 W
R4	8,2 Ω/20 W
R5	8,2 Ω/20 W
L1	3,58 mH/0,820 Ω/Ø 1,2 mm
L2	1,15 mH/0,445 Ω/Ø 1,2 mm
L3	0,35 mH/0,270 Ω/Ø 1,0 mm
L4	1,60 mH/0,650 Ω/Ø 1,0 mm
L5	0,12 mH/0,140 Ω/Ø 1,0 mm
L6	0,16 mH/0,240 Ω/Ø 0,8 mm
C1	56,0 µF/400 V/MKP
C2	18,0 µF/400 V/MKP
C3	27,0 µF/400 V/MKP
C4	6,8 µF/400 V/MKP
C5	68,0 µF/400 V/MKP
C6	6,8 µF/400 V/MKP
C7	2,7 µF/400 V/MKP
C8	8,2 µF/400 V/MKP
C9	1,0 µF/400 V/MKP
Z1	GDN 30/60/3
Z2	GDM 18/80
Z3	GDWT 9/80/1



Rysunek 1.6. Schemat ideowy zwrotnicy zestawu głośnikowego w obudowie typu „Altus 300”



Rysunek 1.7. Nakrętki pazurkowe z gwintem metrycznym wewnętrznym M4



Rysunek 1.10. Wygląd zewnętrzny gotowego zestawu głośnikowego w obudowie typu „Altus 300”

do przykręcania wkrętami M4 z łbem walcowym pod płaski śrubokręt (wykonane zgodnie z normą DIN84).

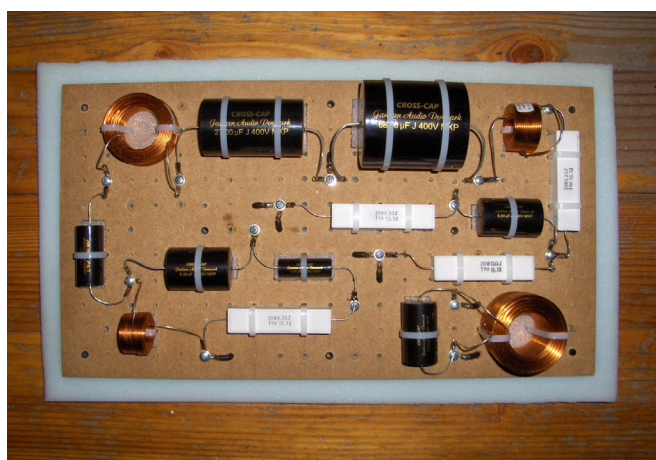
- Pierścienie dekoracyjne do głośników wysokotonowych wykonane w Tonsilu na zamówienie bez fazowania otworów montażowych (nie są one produkowane seryjnie ale można je wykonać w produkcji jednostkowej).
- Watolina do wytłumienia.
- Elementy zwrotnicy.

9. Nakrętki pazurkowe.

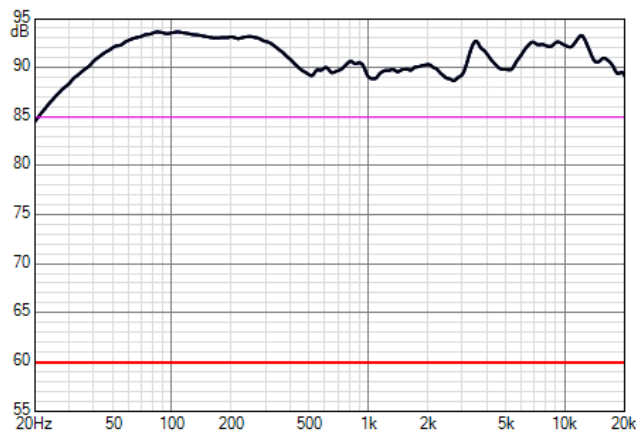
Obudowy tego zestawu głośnikowego różnią się od fabrycznie produkowanych. Musimy wziąć to pod uwagę podczas składania zamówienia. Przede wszystkim w fabrycznym zestawie głośnikowym występuje głośnik wysokotonowy tubowy typu GDWT 9/100, którego średnica montażowa wynosi $\varnothing 78$ mm. Proponowany zestaw głośnikowy



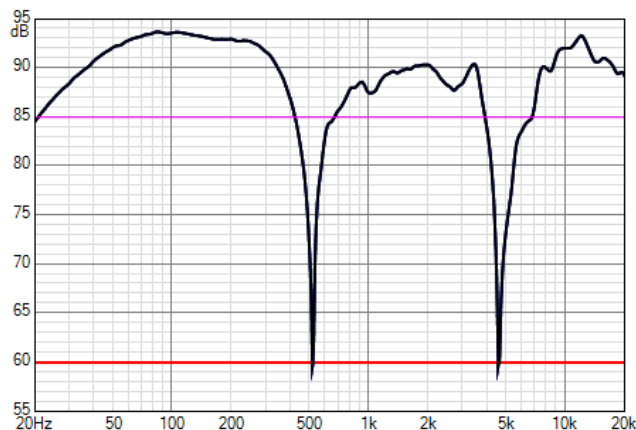
Rysunek 1.8. Zwrotnica zestawu głośnikowego w obudowie typu „Altus 300” – tor niskotonowy



Rysunek 1.9. Zwrotnica zestawu głośnikowego w obudowie typu „Altus 300” – tor średniotonowy i wysokotonowy



Rysunek 1.11. Wypadkowa charakterystyka poziomu ciśnienia akustycznego w funkcji częstotliwości zestawu głośnikowego w obudowie typu „Altus 300” (wszystkie głośniki podłączone synfazowo)



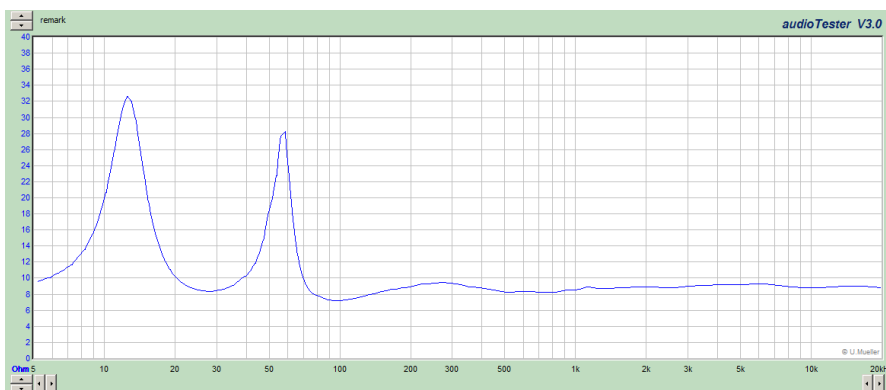
Rysunek 1.12. Wypadkowa charakterystyka poziomu ciśnienia akustycznego w funkcji częstotliwości zestawu głośnikowego w obudowie typu „Altus 300” (głośnik średniotonowy podłączony afazowo)

wykorzystuje głośnik wysokotonowy kopułkowy typu GDWK 9/80/1, którego średnica montażowa wnosi \varnothing 80 mm. A zatem otwór pod ten głośnik powinien zostać wyfrezowany na obrabiarce CNC właśnie na wymiar \varnothing 80 mm. Oprócz tego w przypadku gdy chcemy zamocować głośniki oraz przyłączyć przy pomocy nakrętek pazurkowych z gwintem metrycznym wewnętrznym M4, musimy zlecić wywiercenie na obrabiarce CNC wszystkich otworów montażowych na wymiar \varnothing 5,0 mm, \varnothing 5,5 mm lub \varnothing 6,0 mm, w zależności od tego jakim rodzajem nakrętek pazurkowych akurat dysponujemy. Jeśli zamierzamy natomiast zamocować głośniki oraz przyłączyć przy pomocy wkrętów do drewna, możemy z tej modyfikacji zrezygnować. Nie jest to jednak wskazane ze względu na to, że każdorazowy demontaż zestawu głośnikowego (np. podczas zaistnienia konieczności przeprowadzenia napraw lub regeneracji głośników) może sprawić, że otwory w płycie MDF się „wyrabiają”. Na ściankach przyklejamy od wewnątrz butaprenem lub przymocowujemy zszywaczem tapicerskim watolinę.

Następnie przystępujemy do montażu zwrotnicy według schematu zaproponowanego na rysunku 1.6. Zwrotnicę najlepiej umieścić w każdej obudowie na dwóch osobnych płytach (czyli na zestaw wyjdą cztery płyty tekstolitowe bądź pilśniowe). Osobno tor niskotonowy i osobno średniotonowy i wysokotonowy. Rozmieszczenie elementów pokazano na rysunkach 1.8. oraz 1.9.

Zwrotnice przykręcamy za pośrednictwem nóżek dystansowych wkrętami do drewna do tylnej i dolnej ścianki zestawu. Pod każdą płytą zwrotnicy podkładamy piankę poliuretanową.

Połączenia pomiędzy głośnikami a zwrotnicą realizujemy dwużyłowymi przewodami miedzianymi o następujących przekrojach:



Rysunek 1.13. Wypadkowa charakterystyka modułu impedancji w funkcji częstotliwości zestawu głośnikowego w obudowie typu „Altus 300”

- 2,5 mm² – tor niskotonowy,
- 1,5 mm² – tor średniotonowy,
- 0,5 mm² – tor wysokotonowy.

Połączenie pomiędzy zwrotnicami a przyłączem – 2,5 mm².

Zastosowanie głośnika GDN 30/60/3 z bieżącej produkcji wymaga zwiększenia pojemności kondensatora C2 w układzie kompensacyjnym Zobla z 18 μF do 33 μF. Głośniki w wersji z bieżącej produkcji nie posiadają bowiem na rdzeniu obwodu magnetycznego miedzianego pierścienia Faradaya.

1.2. Zestaw głośnikowy w obudowie typu „Zeus”

Drugą propozycję stanowi zestaw głośnikowy w obudowie typu „Zeus”. Taki zestaw można sobie także wykonać tanim kosztem we własnym zakresie. Charakteryzuje się on wyrównaną charakterystyką poziomu ciśnienia akustycznego w funkcji częstotliwości, wyrównaną charakterystyką opóźnienia grupowego w funkcji częstotliwości oraz wyrównaną charakterystyką modułu impedancji w funkcji częstotliwości poza obszarem rezonansów głośnika niskotonowego w obudowie

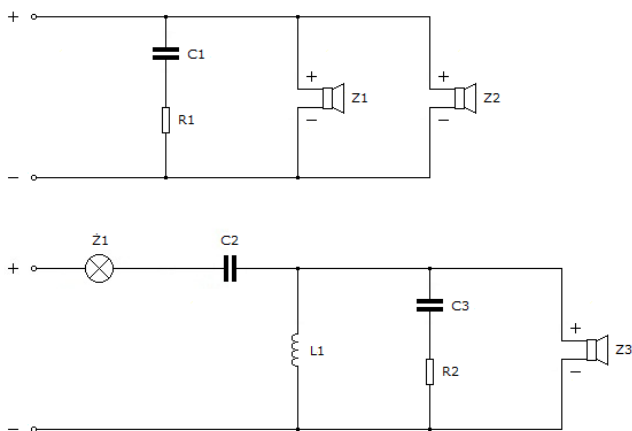
basrefleksa a także bardzo dużą efektywnością, co jest szczególnie korzystne z punktu widzenia użytkowników wzmacniaczy lampowych. Zwrotnica tego zestawu głośnikowego stanowi modyfikację fabrycznego układu, który został uzupełniony o dwa odpowiednio dobrane obwody kompensacyjne. Zobla celem wyrównania wypadkowej charakterystyki modułu impedancji w funkcji częstotliwości. Zastosowano także inne niż w oryginale głośniki niskotonowe. Zestaw jest dwudrożny. Częstotliwość podziału to 4 kHz. Impedancja znamionowa to 4 Ω.

Aby wykonać taki zestaw będziemy potrzebowali następujących elementów:

1. Dwie obudowy od zestawu głośnikowego typu „Zeus” wraz z przyłączami, gniazdami maskownic, maskownicami i rurami basrefleksa, wykonane z płyty MDF o grubości 18 mm. Można je zamawiać w najrozmaitszych wykonaniach przy zastosowaniu różnych rodzajów oklein. Najbardziej popularne wykonanie to front i tył w okleinie typu czarna morka natomiast ścianki boczne w okleinie typu czarny jesion.



Rysunek 1.14. Głośnik niskotonowy Tonsil typu GDN 30/80/2 Źródło: <https://www.skleptonsil.pl/>



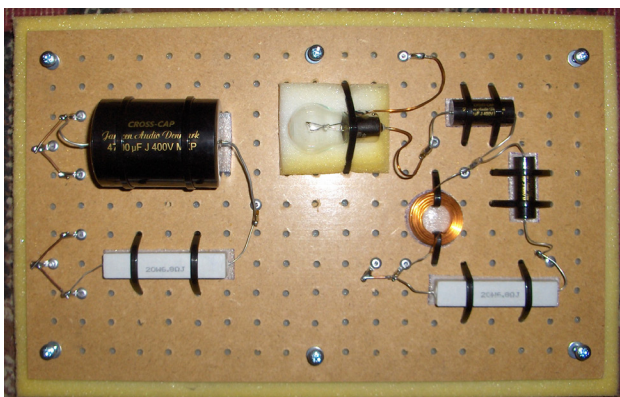
Rysunek 1.16. Schemat ideowy zwrotnicy zestawu głośnikowego w obudowie typu „Zeus”



Rysunek 1.18. Żarówka samochodowa od kierunkowskazów 12 V / 21 W Źródło: <https://www.skleptonsil.pl/>



Rysunek 1.15. Głośnik wysokotonowy Tonsil typu GDWT 12-19/150 Źródło: <https://www.skleptonsil.pl/>



Rysunek 1.17. Zwrotnica zestawu głośnikowego w obudowie typu „Zeus”



Rysunek 1.19. Wygląd zewnętrzny gotowego zestawu głośnikowego w obudowie typu „Zeus”

Tab. 1.2. Wykaz elementów składowych zwrotnicy zestawu głośnikowego w obudowie typu „Zeus”

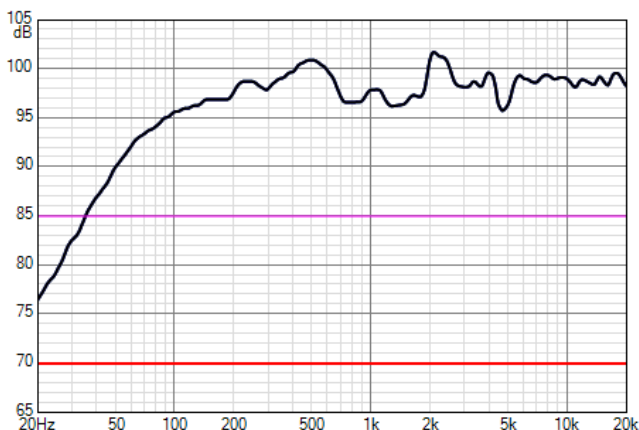
R1	6,8 Ω /20 W
R2	6,8 Ω /20 W
L1	0,20 mH/0,350 Ω /Ø 0,7 mm
C1	47,0 μ F/400 V/MKP
C2	1,5 μ F/400 V/MKP
C3	1,0 μ F/400 V/MKP
Ż1	12 V/21 W
Z1	GDN 30/80/2
Z2	GDN 30/80/2
Z3	GDWT 12-19/150

Istnieje jednak możliwość zastosowania różnych kombinacji rodzajów oklein i jeśli komuś zależy na bardziej klasycznym wyglądzie zestawu, można np. zastosować kombinację – front i tył w okleinie typu czarna morka natomiast ścianki boczne w okleinie typu orzech.

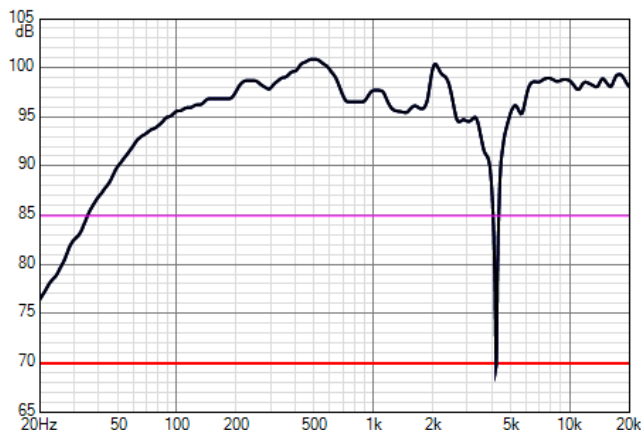
2. Cztery głośniki GDN 30/80/2 w wykonaniu ośmioomowym.
3. Dwa głośniki GDWT 12-19/150 w wykonaniu ośmioomowym.
4. Watolina do wyłumienia.

5. Elementy zwrotnicy.

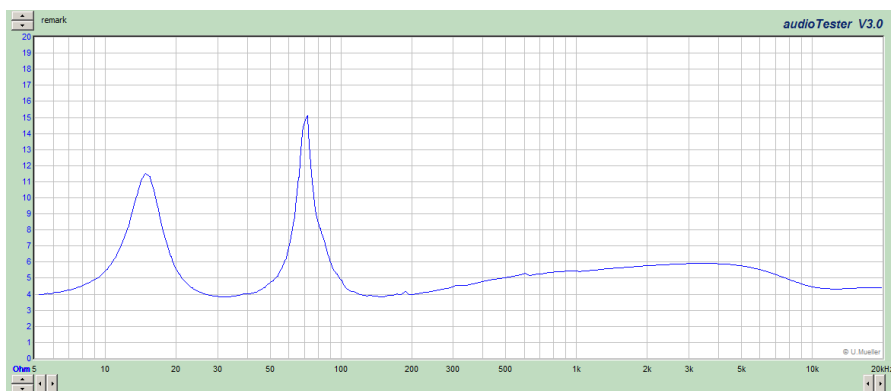
O b u d o w y tego zestawu głośnikowego w zasadzie nie różnią się od fabrycznie produkowanych. Możemy jedynie opcjonalnie zlecić wywiercenie na obrabiarce CNC wszystkich otworów montażowych o średnicach \varnothing 5,0 mm, \varnothing 5,5 mm lub \varnothing 6,0 mm w przypadku gdy chcemy zamocować wszystkie elementy przy pomocy nakrętek



Rysunek 1.20. Wypadkowa charakterystyka poziomu ciśnienia akustycznego w funkcji częstotliwości zestawu głośnikowego w obudowie typu „Zeus” (wszystkie głośniki podłączone synfazowo)



Rysunek 1.21. Wypadkowa charakterystyka poziomu ciśnienia akustycznego w funkcji częstotliwości zestawu głośnikowego w obudowie typu „Zeus” (głośnik wysokotonowy podłączony afazowo)



Rysunek 1.22. Wypadkowa charakterystyka modułu impedancji w funkcji częstotliwości zestawu głośnikowego w obudowie typu „Zeus”

pazurkowych. Jeśli zamierzamy natomiast zamocować głośniki wysokotonowe oraz przyłączyć przy pomocy wkrętów do drewna, możemy z tej modyfikacji zrezygnować. Nie jest to jednak wskazane ze względu na to, że każdorazowy demontaż zestawu głośnikowego (np. podczas zaistnienia konieczności przeprowadzenia napraw lub regeneracji głośników) może sprawić, że otwory w płycie MDF się „wyrobiją”. Na ściankach przyklejamy od wewnątrz butaprenem lub przymocowujemy zszywaczem tapicerskim watolinę.

Następnie przystępujemy do montażu zwrotnicy według schematu zaproponowanego na rysunku 1.16. Zwrotnicę najlepiej umieścić w każdej obudowie na jednej osobnej płycie (czyli na zestaw wyjdą dwie płyty tekstolitowe

bądź pilśniowe). Rozmieszczenie elementów pokazano na rysunku 1.17.

Opcjonalnie przed filtrem toru wysokotonowego można zamontować żarówkę samochodową od kierunkowskazów w celu zabezpieczenia głośnika wysokotonowego przed przeciążeniem.

Zwrotnicę przykręcamy za pośrednictwem nóżek dystansowych wkrętami do drewna do tylnej ścianki zestawu. Pod każdą płytę zwrotnicy podkładamy piankę poliuretanową.

Połączenia pomiędzy głośnikami a zwrotnicą realizujemy dwużyłowymi przewodami miedzianymi o następujących przekrojach:

- 2,5 mm² – tor niskotonowy,
- 1,0 mm² – tor wysokotonowy.



Rysunek 1.23. Okładka książki pt. „Wprowadzenie do projektowania układów zwrotnic zestawów głośnikowych. Poradnik praktyczny.”

Połączenie pomiędzy zwrotnicą a przyłączem – 2,5 mm².

Książka o zwrotnicach do zestawów głośnikowych

Zapraszam do zapoznania się z moją najnowszą książką pt. „Wprowadzenie do projektowania układów zwrotnic zestawów głośnikowych. Poradnik praktyczny.”:

- <https://bit.ly/3Zl38cy>
- <https://bit.ly/3VYCHqI>
- <https://bit.ly/3ikG6SL>

oraz:

- <https://bit.ly/3jPXCyn>
- <https://bit.ly/3jWhWhH>

mgr inż. Tomasz Łysek