

Projektowanie zwrotnic głośnikowych, część 3

Zniekształcenia

Do analizy zniekształceń, korzystając z wyżej wymienionych wiadomości, posłużę się głośnikiem 8WOOFER/P firmy Beyma. Przetwornik ten jest głośnikiem niskotonowym należącym do serii studyjnej. Charakteryzuje się niskim poziomem zniekształceń. W **tab. 3** podano jego wybrane parametry.

Membrana głośnika jest wykonana z polipropylenu. Beyma należy do nielicznych producentów głośników, którzy w notach katalogowych zamieszczają charakterystyki zniekształceń.

Na **rys. 11** pokazano charakterystykę amplitudową głośnika 8WOOFER/P z zaznaczonymi zniekształceniami. Krzywe opisane jako „H2” i „H3” to amplituda odpowiednio drugiej i trzeciej harmonicznej. Jak widać, dla częstotliwości 200 Hz skuteczność głośnika wynosi 90 dB, podczas gdy amplitudy harmonicznych są na poziomie mniejszym niż 40 dB. Stosunek poziomu składowej podstawowej do poziomu jej harmonicznych jest duży, wynosi około 90 dB–40 dB=50 dB.

Na **rys. 12** znajduje się charakterystyka impedancji tego głośnika.

Tab. 3. Wybrane parametry głośnika 8WOOFER/P firmy Beyma

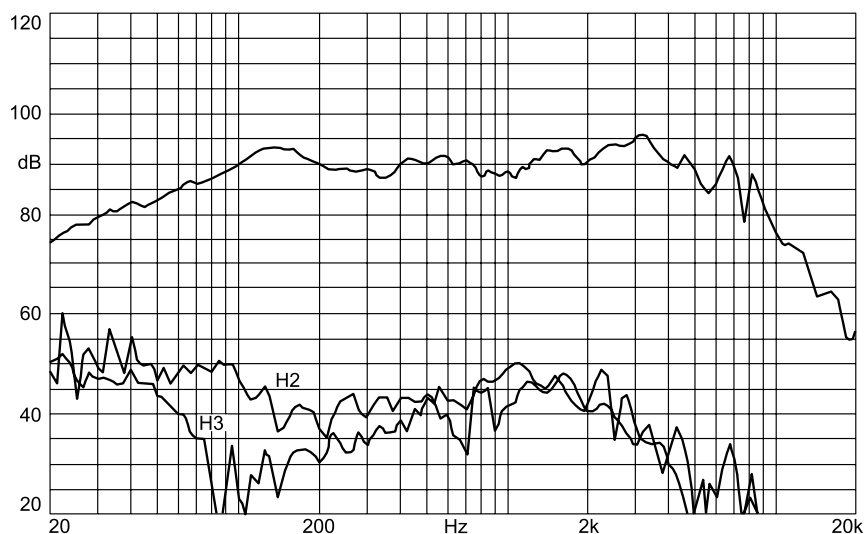
Parametr	Wartość
Impedancja	8 Ω
R_e	5,37 Ω
Moc RMS	50 W
Skuteczność	92 dB/1 W@1m
B_1	7,1
M_{ms}	0,02 kg
C_{ms}	940,2 $\mu\text{m/N}$
R_{ms}	1,97 kg/s
V_{as}	75 l
Sprawność	0,6 %
X_{max}	4,5 mm
L_e @1 kHz	0,6 mH
Częstotliwość rezonansowa f_s	35 Hz
Q_{ts}	0,38
Q_{ms}	2,33
Q_{es}	0,47

W kolejnej części kursu o projektowaniu zwrotnic zostanie omówiony wpływ budowy głośnika na jego charakterystykę amplitudową i charakterystykę impedancji. Poznane metody analizowania pacy głośników będą przydatne podczas projektowania zwrotnic dla zestawów głośnikowych.

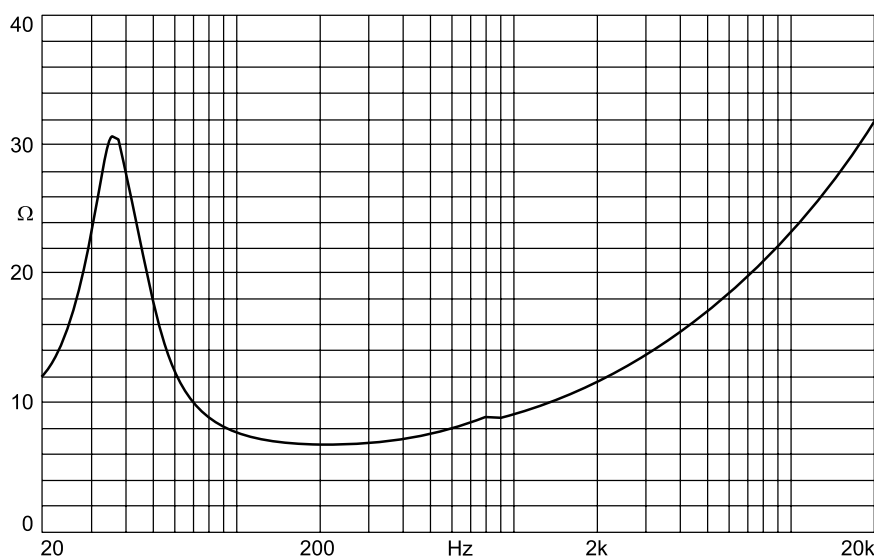
Można na niej zauważyć nierówność przy częstotliwości 900 Hz.

Najpierw spróbujemy wyznaczyć częstotliwość, dla której membrana tego głośnika zaczyna tracić sztyw-

ność. Nierówność na charakterystyce impedancji jest bardzo mała, nie towarzyszy jej odpowiadająca nierówność na charakterystyce amplitudowej. Wzrost skuteczności głośnika



Rys. 11. Charakterystyka amplitudowa głośnika 8WOOFER/P z zaznaczonymi zniekształceniami



Rys. 12. Charakterystyka impedancji głośnika 8WOOFER/P

Tab. 4. Wybrane parametry głośnika T2010 firmy Beyma

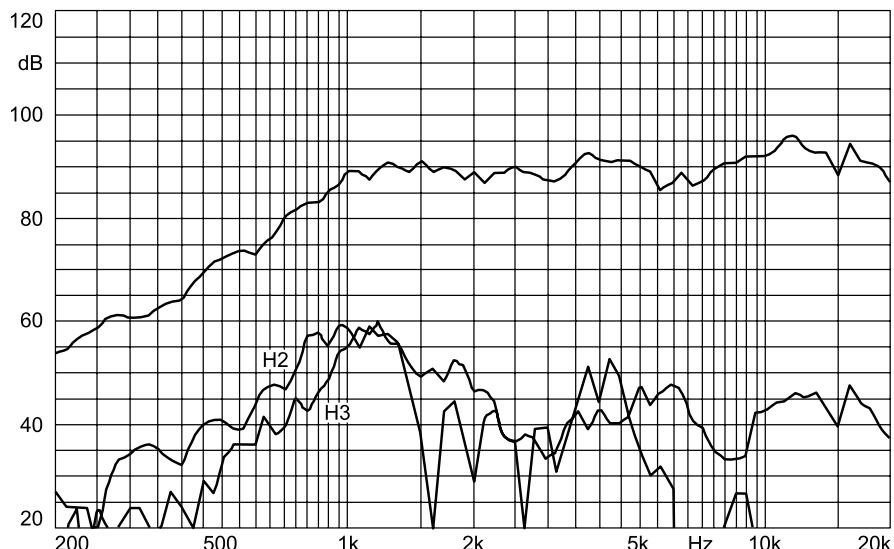
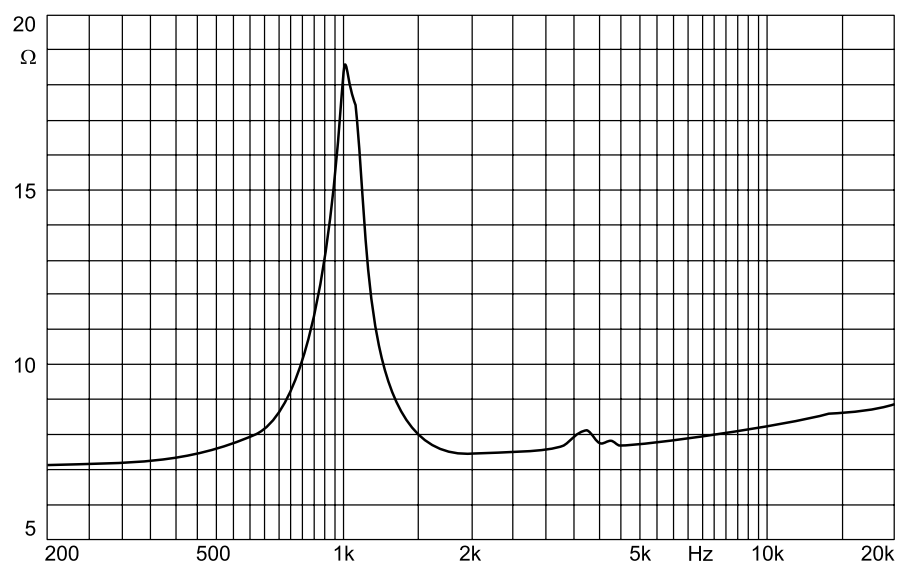
Parametr	Wartość
Impedancja	8 Ω
R_b	6 Ω
Częstotliwość rezonansowa fs	1050 Hz
Q_{ms}	5,19
Q_{es}	2,39
Q_{ts}	1,64
B_1	3,2
Moc RMS	12 W
Skuteczność	92 dB/1W @ 1m

następuje dla częstotliwości około 1 kHz, spada przy częstotliwości 2 kHz. Powyżej tej częstotliwości charakterystyka jest coraz bardziej nierówna. Spadek skuteczności głośnika powyżej częstotliwości 3 kHz następuje ze stromością 6 dB/oktawę.

Z tych informacji można wyciągnąć kilka wniosków:

- 1 Membrana zaczyna tracić sztywność przy częstotliwości około 1 kHz.
- 2 Membrana jest polipropylenowa, na charakterystyce amplitudowej nie występują duże różnice amplitudy, można założyć, że zniekształcenia wzrosną tylko nieznacznie.
- 3 Nachylenie spadku skuteczności powyżej częstotliwości 3 kHz odpowiada stromości wynikającej z modelu impedancji głośnika, w związku z tym zniekształcenia nie powinny szybko rosnąć.
- 4 Dla częstotliwości 7 kHz, 7,5 kHz oraz 8 kHz występują ostre rezonanse, częstotliwości te nie znajdują się już w obszarze pracy tłokowej głośnika, więc zniekształcenia dla tych częstotliwości będą większe.
- 5 W okolicach częstotliwości rezonansowej głośnik pracuje z dużymi wychyleniami, w związku z tym nastąpi zwiększenie zniekształceń. Zniekształcenia będą na niskim poziomie, gdy charakterystyka amplitudowa będzie płaska. Potwierdza to poziom harmonicznym.

Na charakterystyce z rys. 11 można zauważyć, iż dla częstotliwości 900 Hz poziom drugiej i trzeciej harmonicznnej wzrasta – poziom zniekształceń wzrasta. Wzrost ten jest nie duży – około 5 dB. Zauważmy także, że poziom drugiej harmonicznnej od częstotliwości 2 kHz zaczyna spadać, trzeciej od

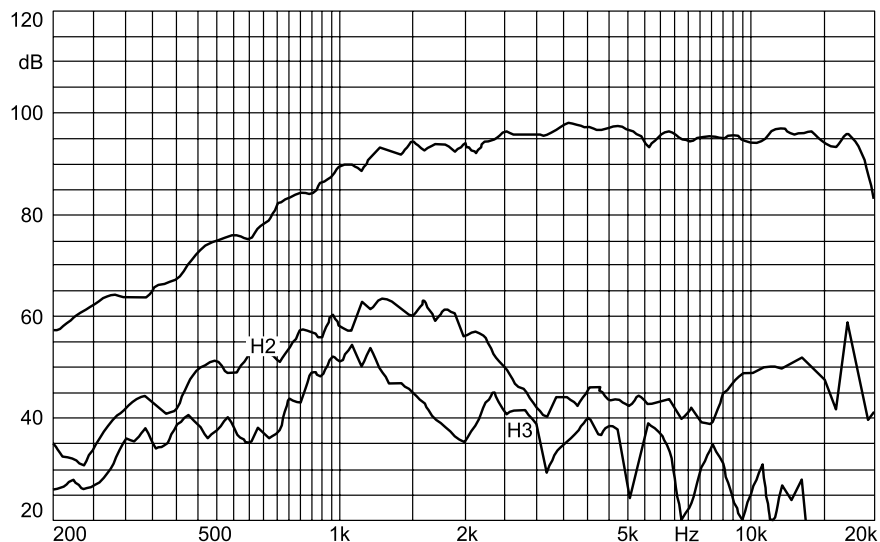
**Rys. 13. Charakterystyka amplitudowa głośnika T2010 uwzględniająca 2. i 3. harmoniczną****Rys. 14. Charakterystyka impedancji głośnika T2010**

1,5 kHz. Nie jest to spowodowane nagłą linearyzacją głośnika. Poziom składowej podstawowej zaczyna spadać dla częstotliwości 4 kHz. Druga harmoniczna dla 2 kHz ma częstotliwość 4 kHz, trzecia dla 1,5 kHz ma częstotliwość 4,5 kHz. Duże tłumienie membrany polipropylenowej powoduje tłumienie zniekształceń i sygnałów powyżej 4 kHz.

Podane wyżej analizy zniekształceń dotyczą nie tylko głośników niskotonowych, możemy je także zastosować do głośników wysokotonowych. Poniżej przedstawię analizę dwóch głośników wysokotonowych firmy Beyma – T2010 oraz T2030. Są to głośniki bardzo podobne, głównie różnią się materiałem, z którego zbudowana jest kopułka.

Głośnik T2010 należy do serii przetworników studyjnych. Posiada miękką kopułkę z supronylu, strumień magnetyczny w szczelinie jest stabilizowany miedzianym pierścieniem. W tab. 4 podano parametry głośnika T2010.

Na rys. 13 pokazano charakterystykę amplitudową wraz z poziomem drugiej i trzeciej harmonicznnej. Analizując przebieg charakterystyki amplitudowej można zauważyć rezonans w okolicach 3,5...4 kHz i podobny kształtem rezonans przy częstotliwości około 11 kHz. Trzecią harmoniczną sygnału 3,66 kHz jest częstotliwość $3 \cdot 3,66 = 11$ kHz. Możemy, więc z dużym prawdopodobieństwem założyć, iż dla częstotliwości 3,5 kHz poziom trzeciej harmonicznnej będzie znacząco większy niż dla pozostałych częstotliwości.



Rys. 15. Charakterystyka amplitudowa głośnika T2030 uwzględniająca 2. i 3. harmoniczną

Z charakterystyki możemy odczytać, iż założenie to jest prawdziwe.

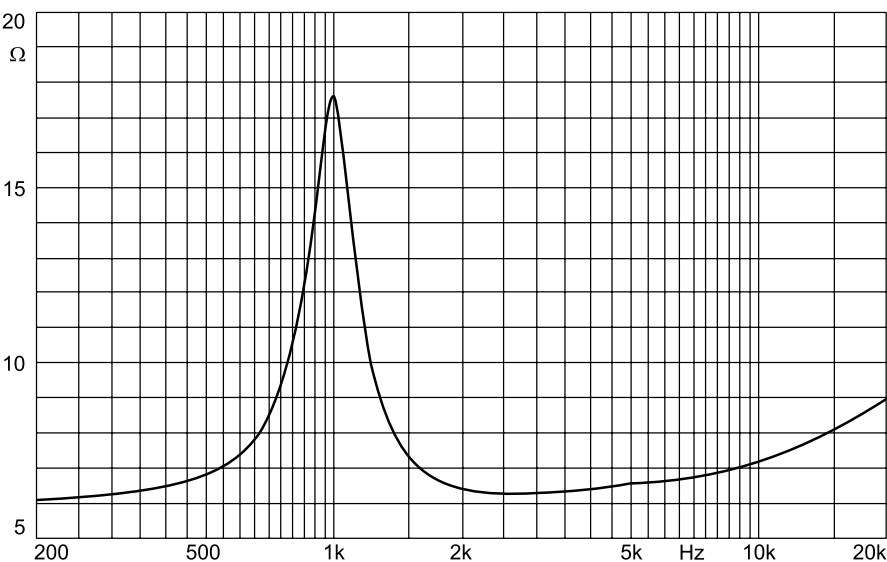
Na rys. 14 znajduje się charakterystyka impedancji tego głośnika. Również na tej charakterystyce możemy zauważyć nierówność w okolicy częstotliwości 3,5...4 kHz. Świadczy to o słabo tłumionym rezonansie. Prawdopodobnie już dla częstotliwości 3,5 kHz kopułka traci sztywność. Jednak jak można zauważyć głośnik ten został w taki sposób zaprojektowany, iż nawet powyżej granicy pasma pracy tłokowej jest on w stanie skutecznie przetwarzać sygnały. Charakterystyka poziomu drugiej harmonicznej powyżej częstotliwości 3,5 kHz przebiega bardzo nieregularnie.

Głośnik wysokotonowy charakteryzuje się bardzo małymi wychyleniami. W związku, z tym w pobliżu

jego częstotliwości rezonansowej (1050 Hz), gdy pracuje z dużymi amplitudami, zniekształcenia będą dość duże. Potwierdza to charakterystyka poziomu harmonicznym.

Drugim głośnikiem wysokotonowym, który przeanalizuję jest T2030. Charakteryzuje go twarda aluminiowa kopułka. W tab. 5 podano parametry tego głośnika.

Na rys. 15 pokazano charakterystykę amplitudową tego głośnika. Przebieg poziomu składowej podstawowej jest stały do częstotliwości około 18 kHz. Świadczy to o słabych rezonansach kopułki. Silny spadek następuje dla częstotliwości 18 kHz. Jest to prawdopodobnie częstotliwość graniczna pracy tłokowej – kopułka traci sztywność, co potwierdza podniesienie się poziomu drugiej harmonicznej. Pamiętaj-



Rys. 16. Charakterystyka impedancji głośnika T2030

Tab. 5. Wybrane parametry głośnika T2030 firmy Beyma

Parametr	Wartość
Impedancja	8 Ω
Re	5 Ω
Moc RMS	15 W
Skuteczność	95 dB/1W @ 1m
B_1	3
Częstotliwość rezonansowa	1050 Hz
Q_{ms}	3,96
Q_{es}	1,57
Q_{ts}	1,12

my jednak, iż ta harmoniczna ma częstotliwość $2 \cdot 18 = 36$ kHz, czyli znacznie powyżej możliwości ludzkiego słuchu.

Na rys. 16 znajduje się charakterystyka impedancji tego głośnika. Można na niej zauważyć bardzo nieznaczna nierówność przy częstotliwości 5,5 kHz, na charakterystyce amplitudowej można zauważyć spadek dla tej częstotliwości. Spowodowane jest to prawdopodobnie rezonansem. Długość fali odpowiadająca 5,5 kHz to 62,4 mm, rezonans półfalowy występuje na długości $62,4/2 = 31,2$ mm. W nocie katalogowej można znaleźć informację, iż kopułka ma średnicę 32 mm, więc rezonans ten jest prawdopodobnie związany z tym wymiarem. Możemy wyciągnąć też zawsze prawidłowy wniosek, iż przy częstotliwości rezonansowej (1050 Hz) poziom zniekształceń będzie większy.

Analizując poziom harmonicznym powyższymi metodami, nie udało się zauważyć zwiększenia poziomu drugiej harmonicznej, rozpoczynającego się od częstotliwości 8 kHz. Harmoniczna ta ma częstotliwość 16 kHz, czyli zbliża się do granicy pracy tłokowej membrany.

Przedstawione powyżej metody pozwalają na analizę zniekształceń głośników i taki wybór częstotliwości ich pracy, aby w jak największym stopniu korzystać z pasma pracy tłokowej. Przydatne będą przy wyborze częstotliwości podziału podczas projektowania zwrotnicy.

Roman Łyczko
lyczko_roman@poczta.ox.pl

Autor jest studentem wydziału Elektroniki i Telekomunikacji Politechniki Śląskiej w Gliwicach oraz prezesem Koła Naukowego Elektroników.