

Niezbędnik dla amatorów i profesjonalistów

W głośnikowym żywiole, część 22

Linia transmisyjna, część 2. Obudowa na dobre zakończenie

Pierwsza, opublikowana miesiąc temu, część opisu obudowy typu „linia transmisyjna” w większości dotyczyła kwestii jej wytłumienia. Można więc powiedzieć, że zaczęliśmy od końca, ponieważ wytłumieniu najczęściej poświęca się kilka zdań na końcu opracowań dotyczących wszelkich innych rodzajów obudów. Ale linia transmisyjna zawsze była wyjątkiem. Ze względu na jej zasadę działania, zasadne było przypuszczenie, że sposób wytłumienia ma bardzo duży wpływ na ostateczne rezultaty.

Potwierdzało to wielu autorów różnych opracowań, chociaż nigdy nie przedstawiono wyników kompleksowych, porównawczych badań w tej dziedzinie, a jedynie wyniki pojedynczych eksperymentów. Wobec braku ścisłych i sprawdzonych procedur projektowania linii transmisyjnych, z zapalem badane były wszelkie elementy mogące mieć wpływ na ich działanie, a wytłumienie było wdzięcznym polem do nieskończonej ilości eksperymentów. Jednak prace Augspurgera wyjaśniły, że możliwości modyfikowania charakterystyk poprzez różnego rodzaju wytłumienie wcale nie są tak szerokie, jak sądzono wcześniej. Niezależnie od rodzaju użytego materiału, należy uznać za rozsądny taki stopień wytłumienia obudowy, aby wyrównać przebieg charakterystyki przetwarzania, silnie pofalowany przede wszystkim na skutek zmieniających się relacji fazowych między promieniowaniem głośnika a wylotu tunelu. Nie jest to jednak możliwe bez równoczesnego stłumienia rezonansu ćwierćfalowego, więc uzależnianie długości tunelu, określającego częstotliwość tego rezonansu, od częstotliwości rezonansowej głośnika, nie jest celowe.

Długość linii

Przejdźmy więc do wymiarów linii transmisyjnej. Jaki mają związek z wielkością i parametrami głośnika? We wcześniejszych opracowaniach brano pod uwagę przede wszystkim dwa parametry głośnika – częstotliwość rezonansową f_s , od której uzależniano długość tunelu i powierzchnię membrany głośnika, która wpływała na rekomendowane pole przekroju tunelu.

Jednak jak już wspomnieliśmy, prosta zależność, że w tunelu powinna układać się ćwiartka fali częstotliwości rezonansowej głośnika, niczego nie gwarantuje. Podobnie w przypadku obudowy bas – refleks – dawne przepisy, aby częstotliwość rezonansowa obudowy f_b była równa częstotliwości rezonansowej głośnika f_s , przestały obowiązywać wraz z wynikami prac Thiele – Smalla, które położenie f_b względem f_s (a także objętość obudowy) uzależniły od innego parametru głośnika – dobroci Q_{ts} . Tylko dla modelu BB4/SBB4 częstotliwość f_b jest zawsze równa f_s , a dla pozostałych modeli strojenia tylko dla głośników o dobroci Q_{ts} w okolicach 0,4 dostrojenie f_b w sąsiedztwie f_s jest optymalne ze względu na kształt charakterystyki przetwarzania. Dla głośników o dobroci niższej lepsze jest strojenie wyższe ($f_b > f_s$), a dla głośników o dobroci wyższej powinno być $f_b < f_s$ (choć z powodu charakterystyk impulsowych głośniki o $Q_{ts} > 0,4$ w ogóle nie są polecane do bas – refleksu). Można przypuszczać, że zależność tę powinniśmy przenieść na linię transmisyjną. Wyższa dobroć Q_{ts} oznacza prze-

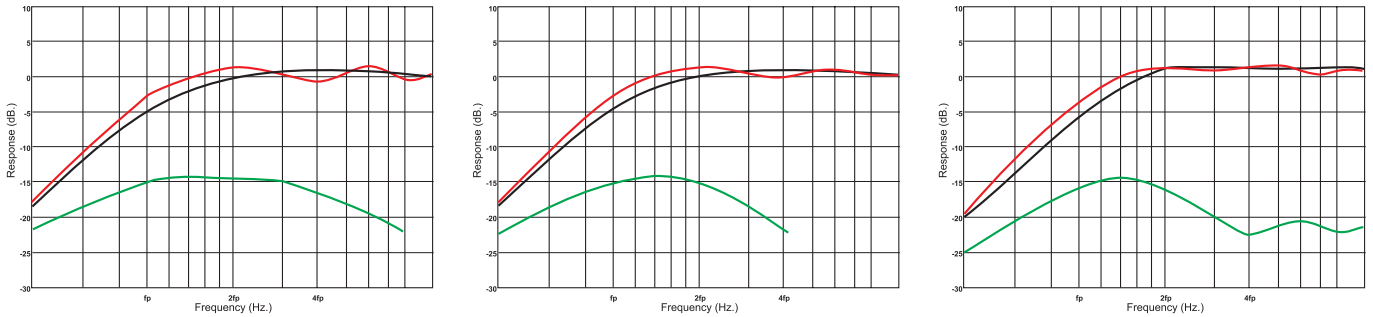
cież charakterystykę biegnącą bardziej liniowo i sięgającą niżej z częstotliwością graniczną -3dB , więc i obudowa powinna być dostrojona niżej, aby w pełni wykorzystać możliwości głośnika, niż w przypadku zastosowania głośnika o niższym Q_{ts} . Ale to tylko ogólnie zarysowane kierunki modyfikacji długości tunelu. Na jego rzeczywistą długość wpływ może też mieć zmiana prędkości dźwięku wywołana materiałem wytłumiającym.

Powierzchnia przekroju linii

Teraz zajmijmy się powierzchnią membrany. Intuicja podpowiada, że powinien być związek między nią a powierzchnią tunelu, w który „pompuje” powietrze. Kierując się tym wrażeniem, specjaliści od linii transmisyjnych przez wiele lat rekomendowali tunele o powierzchni 1,5...2 x większej od powierzchni membrany głośnika. Ale może się też wydawać, że w zaleceniu tym jest tyle precyzji, co w twierdzeniu, że dla głośnika o średnicy 18 cm odpowiednia objętość obudowy zamkniętej to 15...20 litrów, a dla 30 cm – od 50 do 100. Oczywiście wskazówki takie nie mogą zadowolić konstruktorów. Dla projektowania obudów zamkniętych czy bas – refleks mamy od dawna do dyspozycji określone wzory, a dla linii transmisyjnej tylko pomysły płynące z intuicji. Jeżeli chcemy wyznaczyć objętość obudowy zamkniętej $l_{b, \text{bas}}$ – refleks, korzystamy z parametrów Thiele – Smalla – dobroci Q_{ts} i objętości ekwiwalentnej V_{as} . Do niedawna parametr V_{as} był zupełnie ignorowany w projektach linii transmisyjnej, co po-

Tab. 1. Parametry trzech rodzajów linii dla różnych wartości Q_{ts} głośnika

	Q_{ts}	V_{as}/V_p	f_s/f_p	f_b/f_s
Linia zmniejszająca przekrój	0,36	3,10	0,4	2,0
	0,46	2,00	0,5	1,6
	0,58	1,20	0,63	1,3
Linia z przesuniętym głośnikiem	0,36	3,10	0,60	2,0
	0,46	2,00	0,74	1,6
	0,58	1,20	0,94	1,3
Linia z komorą sprzęgającą	0,31	2,14	0,4	2,0
	0,39	1,35	0,5	1,6
	0,50	0,84	0,63	1,3



Rys. 108. Trzy podstawowe, polecane geometrie linii transmisyjnej, i związane z nimi charakterystyki przetwarzania: a) tunel systematycznie zmniejszający swoją powierzchnię ku wylotowi, b) tunel z komorą sprzęgającą bezpośrednio za głośnikiem, c) tunel z głośnikiem zainstalowanym w odległości $1/5$ od jego zamkniętego końca

niekąd ma swoje uzasadnienie – sama podatność zawiesznień nie ma znaczenia dla głośnika zawieszzonego swobodnie lub w nieskończonej odgradzie, za jaką hipotetycznie można uważać idealną linię transmisyjną, absorbującą promieniowanie tylnej strony membrany bez wpływu na parametry głośnika. Ale wracając do samego przekroju tunelu i jego związku z powierzchnią membrany głośnika – jakimi konsekwencjami może grozić zbyt mały przekrój? Tutaj przypomina się tunel bas – refleksu, który przy zbyt małej powierzchni może wywoływać zbyt duże prędkości przepływu powietrza i wynikające z nich turbulencje. Dopóki jednak prędkości te nie powodują nieliniowości pracy układu rezonansowego i zniekształceń, specjalnie nie przeszkadzają nam w pracy obudów z otworem. Ale czy przyspieszenie propagacji fal w linii transmisyjnej, nawet bez wprowadzania zaburzeń w przepływie cząsteczek powietrza, nie wywołuje skutku odwrotnego do spowolnienia fal w przypadku zastosowaniu niektórych materiałów tłumiących? Jeżeli spowolnienie jest zjawiskiem korzystnym, bo wydłuża akustyczną długość, to przyspieszenia należy unikać. Stąd też zachowanie przekroju tunelu o powierzchni nie mniejszej (albo przynajmniej niewiele mniejszej) niż powierzchnia membrany głośnika wydaje się jednak uzasadnione. W takim razie żadnych turbulencji tym bardziej nie musimy się obawiać – nawet przy głośniku o bardzo dużym wychyleniu membrany (w tej sprawie rolę odgrywa

wychylenie objętościowe – a więc iloczyn powierzchni i wychylenia membrany), niekorzystne zjawiska o takim charakterze pojawiłyby się przy tunelach o znacznie mniejszej powierzchni.

Objętość linii

Mając określoną długość i przekrój tunelu, wiadoma jest już też objętość, jaką zajmuje, i w takim razie rzeczywiście nie znajdujemy okazji, aby uwzględnić parametr V_{as} . Jednak Augspurger wybiera inną drogę – uznaje, że skoro przy projektowaniu innych rodzajów obudów uwzględniany jest V_{as} , musi tak stać się również w przypadku linii transmisyjnej. W przytaczanych wcześniej artykułach publikowanych w SpeakerBuilder nie wyjaśnia jednak, na jakiej podstawie zdecydował, że objętość tunelu, w którym prowadził eksperymenty z różnego rodzaju wytłumieniem, będzie dwukrotnie większa od objętości V_{as} zainstalowanego w niej głośnika. W dalszym ciągu badań rekomenduje różne współczynniki V_{as}/V_b dla różnych kształtów tunelu i różnych parametrów głośnika, jednak pojawiają się one jako wynik poszukiwania najlepszych zmierzonych charakterystyk; być może więc określone objętości są wynikiem zastosowania tuneli o optymalnych długościach i przekrojach?

Geometria linii

Do tego wrócimy w dalszej części, a w tym miejscu dochodzimy do nie mniej ciekawego momentu prac

Augspurgera – badania zachowania się tuneli o różnych geometriach. To również nie jest temat nowy, można nawet powiedzieć, że tyle jest sposobów prowadzenia linii transmisyjnej, ile samych konstrukcji tego typu. Niemal każdy projektant wtrąca tutaj swoje trzy grosze, i również z powodu podatności na innowacje obudowa tego typu cieszy się wielką sympatią hobbistów – każdy może się wykazać inwencją, a nawet fantazją. Tym razem mamy porównanie kilku podstawowych rozwiązań, ale porównanie bezpośrednie. Najbardziej obiecujące i godne rozważenia są opcje przedstawione na **rys. 108**.

Jak widać, klasyczny tunel o stałym przekroju, z głośnikiem zainstalowanym na jednym końcu, nie jest uwzględniany jako dobre rozwiązanie – i faktycznie w takiej formie nie jest spotykany w zespołach głośnikowych. Co jest jednak dodatkowo odkrywcze w pracach Augspurgera, a co stoi w sprzeczności z dotychczasową praktyką, to stwierdzenie, że rozwiązania łączące elementy przedstawionych podstawowych geometrii, np. komorę sprzęgającą z tunelem o zmniejszającym się przekroju, nie wykazały żadnych przewag nad rozwiązaniami podstawowymi, a nawet traciły niektóre ich zalety! Tymczasem wiele znanych konstrukcji zawiera w sobie właśnie więcej niż jedno z „udoskonalen”. Jak się okazuje, dwa grzyby w barszczu...

Najszerzej wykorzystywany pomysł tunelu o jednostajnie zmniejszającym się przekroju pojawił się w związku z założeniem, że skoro w wytłumionej linii transmisyjnej zachodzi proces stopniowego wygaszania energii od tylnej strony membrany, to w dalszej części tunelu energia ta jest mniejsza niż w jego początku, co pozwala zmniejszyć powierzchnię absorbującą tę energię. Ponadto niektórzy mieli nadzieję (i ja w swoim czasie pew-

Tab. 2. Parametry trzech rodzajów obudów dla różnych wartości Q_{ts} głośnika			
	Q_{ts}	V_{as}/V_b	f_3/f_s
Linia transmisyjna	0,36	3,10	2,0
	0,46	2,00	1,6
Obudowa z otworem QB3/SQB3	0,36	1,47	1,36
	0,46	0,5	0,92
Obudowa zamknięta $Q_{tc}=0,7$	0,36	2,86	1,96
	0,46	1,36	1,54

nie też), że uniknięcie równoległości ścianek będzie zapobiegało falom stojącym, a może nawet stanie na przeszkodzie rezonansom wzdłuż linii. Nadzieje te są jednak płonne (podobnie jak w przypadku lekko stożkowych tuneli bas – refleks), ale zważając się linia transmisyjna ma inną zaletę – obniża częstotliwość podstawowego rezonansu ćwierćfalowego (wyjaśnienie powodów tego efektu nie zostało przedstawione). Tunel powinien być wytłumiony równomiernie. Stosunek powierzchni wylotu tunelu do powierzchni jego początku (przy głośniku) może wynosić aż 1:4, przy czym stosunek tych powierzchni do powierzchni membrany głośnika nie został określony wprost, ale pośrednio – poprzez rekomendowaną objętość tunelu (uzależnioną od Q_{is} i V_{as}) i jego długość (uzależnioną od Q_{is} i f_s).

Tunel poprzedzony wyraźnie wyodrębnioną komorą wykazuje zdolność do lepszego tłumienia wyższych częstotliwości, a więc jest szansą na lepsze wyrównanie charakterystyki przetwarzania. Efekt ten zawdzięcza powstaniu układu dolnoprzepustowego, analogicznego jak w obudowie bas – refleks – podatności powietrza w komorze i masy powietrza w tunelu. Augspurger ostrzega jednak przed wykonaniem zbyt dużej komory, gdyż może ona wywołać zjawiska rezonansowe... tylko że bez tego zjawiska rezonansowego nie może być efektu „samofiltrowania”, który ma być zaletą tego rozwiązania. Ale powtórzmy za autorem, że jako „bezpieczna” polecana jest komora o objętości $\frac{1}{3}$ całkowitej objętości obudowy (czyli pozostałe $\frac{2}{3}$ zajmować będzie sam tunel). Również w tym przypadku wytłumieniem wypełniamy całą obudowę – komorę i tunel, chociaż wydaje się, że stłumi to zjawiska rezonansowe, które zamierzaliśmy wykorzystać.

Jeżeli obudowa z wyodrębnioną komorą przybierze taką formę, że przejście między komorą a tunelem nastąpi w $\frac{1}{3}$ odległości od głośnika do wylotu tunelu, powstanie zjawisko rezonansowe, które spowoduje wytłumienie fali o częstotliwości, przy której wcześniej występowała pierwsza zapadłość na charakterystyce przetwarzania. Zapadłość ta była wywoływana przesunięciem w fazie między promieniowaniem głośnika a wylotu tunelu, więc wygaszenie pracy tunelu w tym zakresie pozwala na niezakłócone promieniowanie samego głośnika.

Podobny efekt można uzyskać bez

wyodrębnionej komory – za pomocą przesunięcia głośnika w prostym tunelu na pozycję $\frac{1}{5}$ całkowitej długości tunelu. Cena, jaką płacimy w tym przypadku za uzyskany efekt, to przeniesienie wyżej częstotliwości granicznej – nie wykorzystujemy bowiem pełnej długości tunelu dla ułożenia w nim fal między głośnikiem a wylotem. Wytłumienie – bez zmian, na całej długości linii z jednakową gęstością, według reguł przedstawionych w pierwszym odcinku.

Linia raczej krótka

Jako podsumowanie swoich badań Augspurger przedstawia kilka przykładów optymalnych wymiarów linii transmisyjnej – dla każdego z jej trzech rekomendowanych rodzajów (zmniejszająca przekrój – w stosunku 4:1; z przesuniętym głośnikiem – na $\frac{1}{5}$ długości tunelu; z komorą sprzęgającą – o objętości $\frac{1}{3}$ całkowitej objętości systemu), w każdym przypadku dla trzech wartości Q_{is} zainstalowanego głośnika (tab. 1).

Jak widać, długości dwóch pierwszych typów linii zostały tak dobrane, że dla głośników o określonym Q_{is} i f_s dają one taką samą dolną częstotliwość graniczną. Jednocześnie częstotliwość ta obniża się wraz ze wzrostem Q_{is} , również dlatego, że wydłuża się tunel. Jednak w przypadku linii z przesuniętym głośnikiem tunel musi być w każdym przypadku o 50% dłuższy, niż tunel zmniejszający przekrój. Ale nawet najdłuższa wersja tunelu – z przesuniętym głośnikiem, dla najwyższego Q_{is} – jest krótsza, niż obliczona dla ćwiartki fali częstotliwości rezonansowej ($f_p > f_s$), natomiast najkrótsza – zmniejszająca przekrój, dla najniższego Q_{is} – to tylko 0,4 tej długości. Warto jednak zwrócić uwagę, że chociaż linia zważająca się może być krótsza, to i tak całkowita objętość tych dwóch typów linii pozostaje taka sama (dla głośnika o określonych parametrach).

Swoją odrębność zaznacza natomiast linia z komorą sprzęgającą. Znamienne jest już, że wybrano dla niej nieco inne, niższe wartości Q_{is} , bardziej przypominające te znane z głośników stosowanych w obudowach bas – refleks. A więc podejrzenie, że linia z komorą sprzęgającą wykorzystuje zjawiska rezonansowe właściwe dla obudów z otworem, chyba się potwierdza. Obudowa z komorą musi mieć większą objętość w stosunku do dwóch poprzednich typów (przy głośniku o danych parametrach, i tej samej częstotliwości granicznej) – i to niemal dwukrotnie! Ale wy-

PROGRAMOWALNE MODEMY GSM/GPRS



- GPRS klasy B (4+1)
- Stos TCP/IP we wszystkich modułach
- Programowanie w C
- Solidna konstrukcja
- Szeroki zakres temperatur roboczych
- Akcesoria: anteny, złącza, zasilacze, kable



Autoryzowany dystrybutor



Sony Ericsson

50-071 Wrocław, Plac Wolności 7
tel. (71) 783 12 60
fax (71) 783 12 69
info.poland@eurodis.com

41-200 Sosnowiec, ul. Kiepury 45/1
tel. (32) 291 99 35
fax (32) 296 90 80
info.poland@eurodis.com

ASTAT

PRZEKAŹNIKI



NOWOŚĆ!



Przełącznik kontrolno-pomiarowy seria 71

Typ 71.41.8.230.1021

15 - 480 V AC

15 - 700 V AC

50/60 Hz

Typ 71.51.8.230.1021

0,1 - 10 A AC

0,1 - 10 A DC

do 600 A z przekładnikiem prądowym

CYFROWA KONTROLA I POMIAR

Inne przełączniki kontrolno-pomiarowe do kontroli:

- ⇒ napięcia sieciowego 230V AC
- ⇒ napięcia sieciowego 400V AC
- ⇒ asymetrii 400V AC
- ⇒ napięcia AC / DC
- ⇒ prądu AC / DC
- ⇒ temperatury silnika (PTC)
- ⇒ poziomu cieczy przewodzącej

www.astat.com.pl

ASTAT Sp. z o.o.
ul. Dąbrowskiego 441
60-451 Poznań
Tel. 061 848 88 71
Fax 061 848 82 76
info@astat.com.pl

nika to nie z większego przekroju tunełu, ale z objętości komory sprzęgającej. Mimo to nie uzyskujemy premii w postaci niższej częstotliwości granicznej. Wrażenie, że obudowa ta jest w swoim działaniu może nawet bliższa bas - refleksowi, niż linii transmisyjnej, jest coraz większe... Sprawdziłem więc ponownie w tabelkach strojenia bas - refleksu - stosunek V_{as}/V_b dla głośnika z $Q_{ts}=0,39$, według modelu QB3, jest bardzo podobny do V_{as}/V_p (1,1 vs 1,35), a więc oznaczający zastosowanie jeszcze trochę większej obudowy, ale jednocześnie pozwala osiągnąć niższą częstotliwość graniczną ($f_3/f_s=1,2$ vs 1,6).

Parametry konstrukcyjne obudów z linią transmisyjną, zaserwowane w tej tabelce, nie obiecują uzyskania niskich częstotliwości granicznych, za to pozwalają ograniczyć objętość obudowy, w stosunku do obudowy bas - refleksu, a także łatwiej zastosować głośniki o wyższych wartościach Q_{ts} ; chociaż wraz z nimi objętość wzrasta, to w stopniu znacznie mniejszym, niż dla innych typów obudów, zwłaszcza bas - refleksu. Przykłady ograniczają wartość Q_{ts} do 0,58 (a w przypadku linii z komorą sprzęgającą nawet do 0,5), ale dopuszczalne jest zastosowanie głośników o wyższych wartościach Q_{ts} - znane są konstrukcje z głośnikami o wartościach Q_{ts} sięgającymi nawet 1, czyli z głośnikami które nie mogłyby znaleźć zastosowania w obudowie żadnego innego rodzaju.

Obudowy do wyboru

W tab. 2 przygotowałem krótkie porównanie podstawowych parametrów dla trzech rodzajów obudów - linii transmisyjnej (według Augspurgera - zmniejszającej przekrój lub z głośnikiem przesuniętym), z otworem (według modelu QB3/SQB3) i zamkniętej (o dobroci $Q_{tc}=0,71$), w każdym przypadku dla dwóch dobroci Q_{ts} - 0,36 i 0,46; to wartości często spotykane i pozwalające rozważać zastosowanie głośnika w każdym z tych trzech typów obudów.

Widać, że wraz z głośnikiem o $Q_{tc}=0,46$, linia transmisyjna pozwala zastosować relatywnie niewielką obudowę - wymaga tylko $1/4$ objętości potrzebnej dla bas - refleksu, i ok. $2/3$ objętości dla obudowy zamkniętej $Q_{tc}=0,7$, (choć decydując się na obudowę zamkniętą z $Q_{tc}=1$, możemy obudowę zredukować jeszcze radykalnie, oczywiście kosztem przesunięcia w górę częstotliwości granicznej). Najniższą częstotliwość graniczną oferuje obudowa bas - refleks, ale

wymaga bardzo dużej obudowy, a przy dobroci głośnika $Q_{ts}=0,46$ na pewno wykazuje się słabą odpowiedzią impulsową. Dla $Q_{ts}=0,46$ na ringu zostaje linia transmisyjna i obudowa zamknięta $Q_{tc}=0,7$; obydwie oferują podobną dolną częstotliwość graniczną (obudowa zamknięta minimalnie niższą), ale linia transmisyjna to w tym przypadku jednak wyraźnie mniejsza objętość obudowy, co jest oczywiście zaletą.

Przy dobroci głośnika $Q_{ts}=0,36$ linia transmisyjna i obudowa zamknięta $Q_{tc}=0,7$ idą niemal łeb w łeb. Linia ponownie może być mniejsza, ale już tylko nieznacznie, tak jak nieznacznie niższą częstotliwość graniczną mamy z obudowy zamkniętej. Ale dobroć na poziomie 0,36 doskonale pasuje również do zastosowania bas - refleksu; ten musi być ponownie większy od obudowy zamkniętej i linii transmisyjnej, ale nie cztery, a „tylko” dwa razy, w zamian sprowadzi częstotliwość graniczną znacznie niżej.

Porównanie to nie wyróżnia linii transmisyjnej jako obudowy pozwalającej osiągnąć niską częstotliwość graniczną; ale co może być równie zaskakujące dla miłośników i konstruktorów tego rodzaju obudowy, linia obliczona według zaleceń Augspurgera nie będzie miała nadzwyczajnej wielkości. Jedno wiąże się z drugim - jak się wydaje, wiele obudów tego typu było większych (przede wszystkim dłuższych) od powyższych propozycji, co pozwalało z nich „wycisnąć” niżej sięgającą charakterystykę przetwarzania. Dlaczego więc Augspurger zaproponował krótsze linie? Moje podejrzenie kieruje się w stronę kryterium, wedle którego optymalizował swój model. Skupia się na charakterystyce przetwarzania w dwóch podstawowych obszarach - zlikwidowania nierównomierności w wyższym zakresie (i podaje, że dla przedstawionych rodzajów linii, wytłumionych zgodnie z zaleceniami, ograniczył je do ± 1 dB, co jest wynikiem doskonałym) i określenia dolnej częstotliwości granicznej przy spadku -3 dB. W takiej sytuacji faktycznie większe długości linii wcale nie muszą przesunąć spadku -3 dB w dół skali, ale mogą przesunąć niżej spadek -6 dB, co nie było chyba brane pod uwagę (prosty przykład - głośnik w obudowie zamkniętej z dobrocią $Q_{tc}=0,5$ osiągnie niższą częstotliwość f_{-6} , ale wyższą f_{-3} , niż w mniejszej obudowie o dobroci $Q_{tc}=0,7$). Za miesiąc kolejne koncepcje i kolejne wątpliwości... ale również projekt!

Andrzej Kisiel