

Niezbędnik dla amatorów i profesjonalistów

W głośnikowym żywiole, część 23

Linia transmisyjna, część 3. Obudowa na dobre zakończenie

Co z impulsem?

Uzyskane dolne częstotliwości graniczne nie imponują. Tajemnica brzmienia linii transmisyjnej (o ile nie przyjdzie stwierdzić, że król jest nagi...) musi leżeć zupełnie gdzie indziej, na przykład w charakterystykach impulsowych. Ale systematyczne badania w tym zakresie nie zostały dotąd przeprowadzone, tak że ewentualna podstawowa zaleta, jaka może jeszcze motywować do konstruowania linii transmisyjnych, pozostaje niezwyfikowana. A przecież jest oczywiste, że zupełnie inne charakterystyki impulsowe będzie miała linia z głośnikiem o niskim Q_{ts} , niż z głośnikiem o wysokim Q_{ts} , inne linia zwężająca się, a inne linia z komorą sprzęgającą. Jeżeli podstawowym powodem naszego zainteresowania linią transmisyjną jest właśnie kwestia charakterystyk impulsowych, to z góry powinniśmy odrzucić opcję z komorą sprzęgającą, która w swojej zasadzie działania wykorzystuje zjawisko rezonansu bas – refleks, który impulsu jak wiadomo nie poprawia. W dodatku dokładne zachowanie pozostają w tym przypadku nieznane, podczas gdy projektując klasyczny bas – refleks możemy je przewidzieć. Na tym tle wielce optymistyczna wydaje się opinia przeciw autorytetu głośnikowego, Josepha D'Appolito, który przedstawiając swój projekt zespołu głośnikowego Thor, bazujący na linii transmisyjnej, i powołując się na prace Augspurgera, pisze: „Zalety TL są dobrze znane. To obudowy wolne od rezonansów, dostarczające głęboki, dobrze kontrolowany bas. Z określonego głośnika, przetwarzanie basu może często sięgać znacznie niżej niż w przypadku obudowy z otworem lub zamkniętej.” Z kolei Martin Colloms, jeden z największych brytyjskich guru (a właśnie z Wielkiej Brytanii pochodzi większość pierwszych prac na temat linii transmisyjnej), twierdził jeszcze przed ukazaniem się prac Augspurgera, że możliwości linii transmisyjnej nie są w niczym lepsze od poprawnie za-

Cała praca Augspurgera poświęcona linii transmisyjnej (w każdym razie fragmenty opublikowane w Speaker Builderze), zajmuje się analizą tylko jednej charakterystyki – charakterystyki przetwarzania. Owszem, zlikwidowanie nierównomierności w zakresie wyższych harmonicznych jest ważnym celem w projektowaniu linii transmisyjnej, ale jest przecież usunięciem problemu, który w innych obudowach nie występuje. Jakże w zamian korzyści przynosi linia transmisyjna, w porównaniu do innych obudów?

projektowanego bas – refleksu... (na podstawie „The Loudspeaker Design Cookbook” Vance’a Dickasona).

Inne recepty

W książce tej linii transmisyjnej poświęcono cztery strony (wobec trzydziestu dla różnych odmian bas – refleksu), ale dobre i to.

Przedstawiona tam recepta na linię transmisyjną jest bardzo tradycyjna, i jak teraz możemy porównać, w wielu punktach istotnie różna od ustaleń Augspurgera. Linia powinna być obliczona dla $\frac{1}{4}$ fali częstotliwości rezonansowej głośnika (ale uwzględniając prędkość dźwięku w materiale wyłumiającym), zmniejszyć swój przekrój ku wylotowi, ale nie stosunku 4:1, ale co najwyżej 2,5:1 (i faktycznie takie linie są spotykane w praktyce), osiągając przy wylocie powierzchnię membrany głośnika. Jest też komentarz, że przy stosunkach powierzchni w zakresie od 1,25 (minimalny) do 1,5, dźwięk jest „zwarty i szczupły”, a przy większych pojawia się „więcej niższego basu i poprawia brzmienie średniego” (tak jakby określenie „zwarty” nie było komplementem dla średniego basu... kłania się niejednoznaczny audiofilski żargon). Ale dalej pojawia się zastrzeżenie, że wszystko ostatecznie zależy od wytłumienia linii... czyli wiemy, że nic nie wiemy.

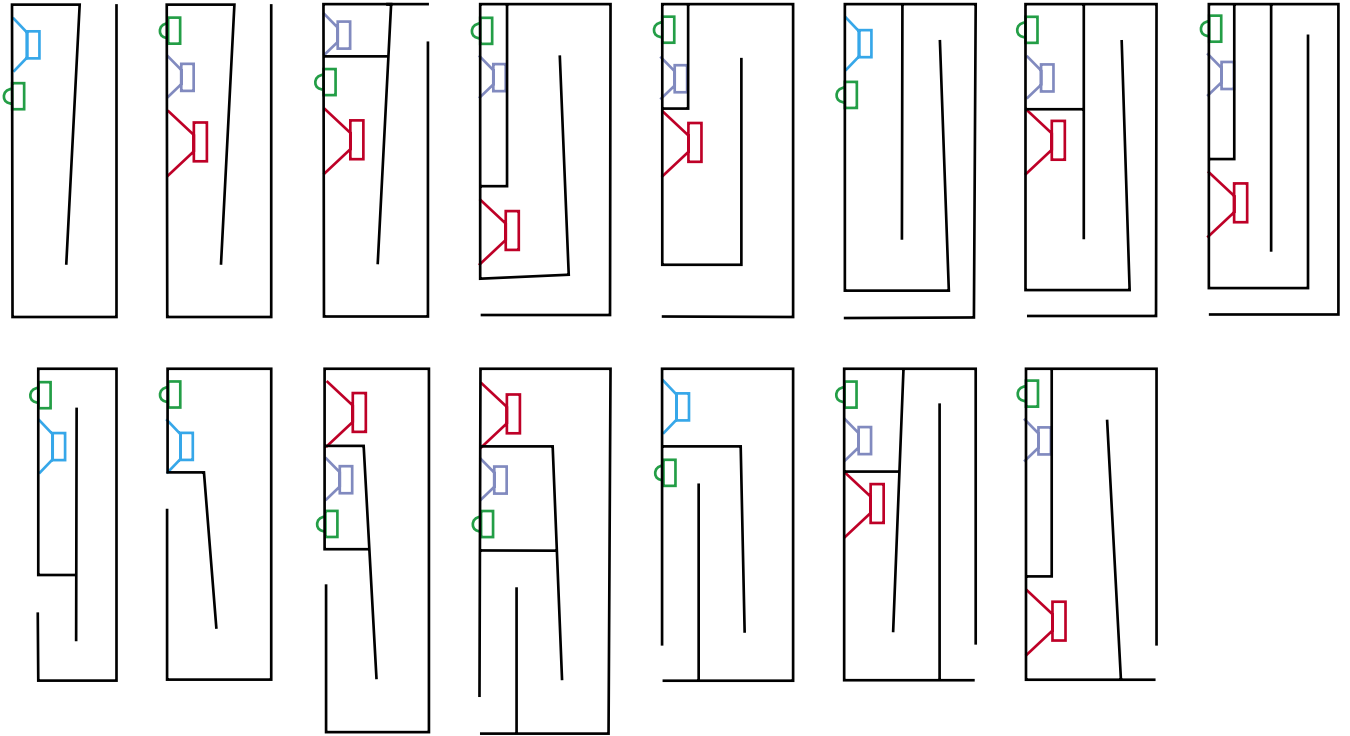
Jako materiał wytłumiający polecana jest oczywiście długowłosa wełna, ale także nowocześniejsza włóknina nylonowo – poliamidowa (Acousta – Stuf) i wełna mineralna. Właściwa gęstość wytłumienia powinna wyno-

sić 6 g/dm^3 – a więc mniej niż w zaleceniach Augspurgera, zmniejszając się ku wylotowi, aby ostatnie 30 cm pozostawić wolne.

Przytoczona jest też metoda Larry’ego Sharpa, która uzależnia gęstość materiału wytłumiającego D_s od powierzchni przekroju tunelu S_t , powierzchni membrany głośnika S_d i jego dobroci Q_{ts} według wzoru:

$$D_s = \sqrt{\frac{(S_t \cdot Q_{ts})}{S_d}}$$

Akapit „Strojenie Linii Transmisyjnej” brzmi po tych wszystkich zaleceniach kuriozalnie: „Strojenie linii transmisyjnej generalnie wykonuje się na ucho. Ustalenie charakterystyki impedancji też może być pożyteczne. Dostrój linię do najniższego, możliwie płaskiego szczytu impedancji, przy którym osiągnięte zostanie akceptowalne brzmienie.” Dalej jednak warto z pełną powagą zacytować ostatnie wnioski: „Z pewnością wszyscy entuzjaści linii transmisyjnej pragnęliby luksusu i podobnych metod matematycznych, jakie stosowane są dla innych rodzajów obudów, i ten dzień może nie jest już bardzo odległy”... Osobiście wątpię. Nie tylko ze względu na skomplikowanie tej materii (a kolejne czynniki mające wpływ na działanie linii transmisyjnej zaraz przedstawimy!). Zbyt mało producentów interesuje się obecnie tym rodzajem obudowy, aby spowodować intensywniejsze prace badawcze. Co zostało dawniej ustalone, najczęściej zmuszą metodą „prób i błędów”, i opublikowane na łamach hobbistycznych miesięczników



Rys. 109. Najczęściej spotykane rozwiązania konstrukcyjne z załamanymi liniami transmisyjnymi

(często już nieistniejących), to pozostaje do naszej dyspozycji. Nowoczesny, pewny algorytm obliczania linii transmisyjnej pojawi się dopiero wtedy, kiedy będzie takie zapotrzebowanie – czyli kiedy konstruowanie zespołów głośnikowych ponownie stanie się popularnym hobby.

Praktyczne załamanie

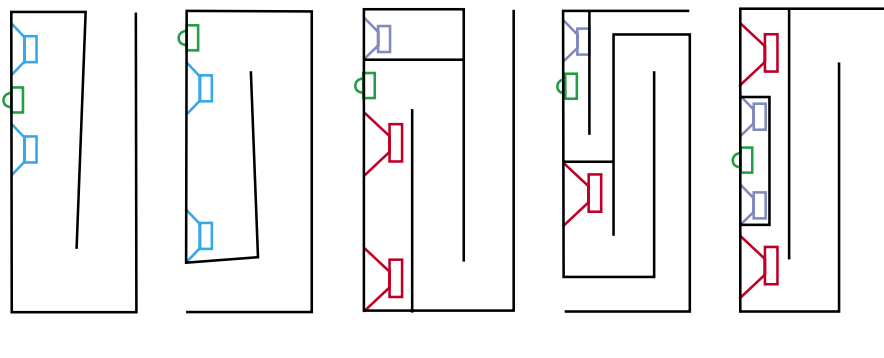
Wróćmy do różnych wariantów przebiegu linii transmisyjnej. Augspurger przedstawił kilka podstawowych propozycji, pominął jednak ważną z praktycznych powodów sytuację, kiedy tunel nie biegnie prosto, ale tworzy labirynt, jest co najmniej jeden raz „zawinięty” – tylko po to, aby „upakować” go w obudowie o typowych proporcjach. Ale sytuacja taka wywołuje skutki akustyczne – jak pokazało wiele doświadczeń, załamanie

tunelu tłumi w nim fale wyższych częstotliwości, zwłaszcza w niektórych zakresach. Umiejętne wykorzystanie tego efektu może pomóc wygasić pracę tunelu przy częstotliwości, która promieniowana jest przez tunel w fazie przeciwnej w stosunku do pracy przedniej strony membrany ($4f_p$). Jak pokazały pomiary F. Hausdorfa (Visaton), opublikowane kilkanaście lat temu w hobbistycznym magazynie Elektor Plus, w tym celu należy tunel załamać w połowie. Ale wykonana w ten sposób obudowa Thora, rozszerzyła i przesunęła efekt wygaszenia na charakterystyce tunelu w stronę wyższych częstotliwości, niż $4f_p$. W Thorze jednak zastosowano dwa, przesunięte względem siebie głośniki nisko – średniotonowe, znajdujące się więc w różnych odległościach od wylotu (drugi z nich wykorzystuje tylko

$\frac{3}{4}$ całkowitej długości tunelu, znajdując się w połowie długości pierwszej jego części). Oto więc kolejny sposób wyrównywania charakterystyki przetwarzania, o którym teoretyczne opracowania nie wspominają, ograniczając układ do jednego głośnika w jednym tunelu – zastosowanie dwóch głośników, umieszczonych w różnych miejscach linii! Znając tylko podstawowe zasady „rezonowania” linii transmisyjnej, opisane w pierwszym odcinku, łatwo będzie ustalić warianty najbardziej korzystnego wzajemnego położenia głośników, przy których ich charakterystyki będą się najlepiej uzupełniać.

Miejsce dla drugiego głośnika

Jeżeli drugi głośnik znajdowałby się w połowie długości tunelu, to przy częstotliwości, przy której od głośnika pierwszego do wylotu tunelu układa się cała fala, od głośnika drugiego ułoży się pół fali. Zjawisko niefazowej współpracy tunelu z pierwszym głośnikiem przy częstotliwości $4f_p$ zostanie „skontrowane” przez bardzo efektywną współpracę tunelu z drugim głośnikiem. Ale dla częstotliwości $8f_p$ nałoży się na siebie wygaszanie dla obydwu głośników (pierwszy ułoży w tunelu dwie pełne długości fali, drugi jedną całą falę). Ustawienie jednego z głośników w połowie długości nie pozwoli mu też



Rys. 110. Linia z dwoma rozsuniętymi głośnikami

efektywnie pracować w zakresie niższych częstotliwości. Wydaje się, że pozycja drugiego głośnika w odległości ok. $\frac{1}{4}$ od początku linii jest najbezpieczniejsza – kiedy pierwszy głośnik wpadnie w pułapkę przeciwnej fazy przy $4 \cdot f_p$, drugi głośnik będzie miał rezonans $\frac{3}{4}$ fali tej samej częstotliwości; kiedy pierwszy głośnik wpadnie w $8 \cdot f_p$ – ułoży dwie pełne długości fali – drugi ułoży półtorej fali, czyli wywoła w wylocie fazę zgodną z promieniowaniem przedniej strony membrany. Kiedy natomiast drugi głośnik układa całą falę, pierwszy dodaje do tego jeszcze przesunięcie 120° , czyli praca jego i wylotu tunelu jest przesunięta tylko o 60° . Wspólna częstotliwość, przy której obydwa głośniki ułożą w tunelu wielokrotność całej fali, to dopiero $16 \cdot f_p$. Tak wysoko na skali częstotliwości skuteczne będzie już nawet mniej intensywne tłumienie linii. Zabiegi z ustawianiem dwóch głośników można uznać za dodatkowe dla wyrównania pasma przetwarzania, ale można też założyć, że pozwalają zastosować mniej materiału wyłumiającego, co z kolei pomoże, dzięki wykorzystaniu zjawiska rezonansu ćwierćfalowego, uzyskać wyższą efektywność układu w okolicach f_p , a jednocześnie zmniejszyć amplitudę samego głośnika w tym zakresie.

Możliwości, jakie daje zastosowanie dwóch głośników, nie zostały nigdzie gruntownie omówione prawdopodobnie dlatego, że większość elementarnych prac dotyczących linii transmisyjnej powstała dawniej, kiedy zespoły głośnikowe z większą liczbą głośników niskotonowych nie były często spotykane, a dominowały układy z jednym, dużym przetwornikiem. Obecnie stosowanie dwóch głośników przetwarzających niskie tony jest bardzo rozpowszechnione, chociaż niekoniecznie w układach trójdrożnych, ale częściej w układach dwuipółdrożnych, czyli z dwoma głośnikami o umiarkowanej średnicy, z których jeden przetwarza zakres nisko – średniotonowy, a drugi tylko niskotonowy. W takiej sytuacji możemy kombinować z ich wzajemnym położeniem w tunelu, natomiast w przypadku układów trójdrożnych, przy odpowiednio niskiej częstotliwości podziału, mamy jeszcze inną sytuację – już pierwsza kolizja fazowa między głośnikiem a wylotem tunelu może pozostać poza zakresem pracy sekcji niskotonowej; np. dla częstotliwości $f_p = 50$ Hz, częstotliwość

ta wynosi 200 Hz, i jeżeli w tym zakresie pracę przejmie głośnik średniotonowy, to unikniemy problemu, który jest podstawowym powodem wytłumiania tunelu, a więc również będziemy mogli korzystać z zalet zjawiska rezonansu ćwierćfalowego.

Jedna linia zamieniona na kilka

Na tym nie koniec... Odrobina wyobraźni wystarczy, aby uświadomić sobie, że skoro w jednej linii transmisyjnej, w układzie głośnik – wylot tunelu, może występować więcej niż jeden głośnik, to również może pojawić się więcej niż jeden wylot... Co się stanie, jeżeli jeden głośnik będzie promieniował w tunel, mający otwór lub nawet kilka otworów „po drodze” do końcowego wylotu? Albo jeżeli bezpośrednio za głośnikiem tunel rozdzieli się na dwa lub więcej, o zróżnicowanych długościach? Lub gdy przy zawiniętym tunelu zrobimy „skrót”, wykonując otwór w przegrodzie? Można puścić wodze fantazji, i to nie bez powodu, ponieważ zróżnicowanie odległości, jakimi biegnie fala od tylnej strony membrany do wylotu linii zwielokrotnia, ale i rozprasza zjawiska rezonansowe, co powinno pomóc w uzyskaniu równiejszej charakterystyki przetwarzania.

Jak widać, nawet na podstawie najnowszych opracowań nie można przygotować jedynie słusznego, prostego przepisu na linię transmisyjną. Pozostaje wiele nieścisłości, a nawet sprzeczności, ale tym bardziej jest pole do własnych badań i odkryć, i satysfakcji z osiągniętych rezultatów. Jeżeli ktoś, po przeprowadzeniu samodzielnie szeregu eksperymentów, już wie, jak wydobyć z linii doskonałe brzmienie, to jest w domu. Jeżeli ktoś chce tego brzmienia szukać, proszę bardzo. Jeżeli jednak ktoś liczy na to, że skonstruowanie pierwszej w życiu linii transmisyjnej linii gwarantuje sukces, może się rozczarować. Według podstawowych porównań, linia transmisyjna nie wykazuje oczywistej przewagi nad innymi typami, bardziej popularnych, łatwiejszych do zaprojektowania i wykonania obudów. Pytanie więc, czy dookoła nas, wśród firmowych zespołów głośnikowych, jest tak mało linii transmisyjnych z powodu ich skomplikowania, czy z powodu mało satysfakcjonujących rezultatów, pozostaje otwarte.

Andrzej Kisiel

ASTAT

Przedstawiciel handlowy w Polsce

GOSSEN METRAWATT

Multimetry serii METRAHit

DKD

CAT IV

IEC



Aparatura pomiarowa rezystancji izolacji



seria METRISO

Mierniki do pomiarów instalacji elektrycznych

Hit



seria PROFITEST

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

www.astat.com.pl



MICROS sp.j.

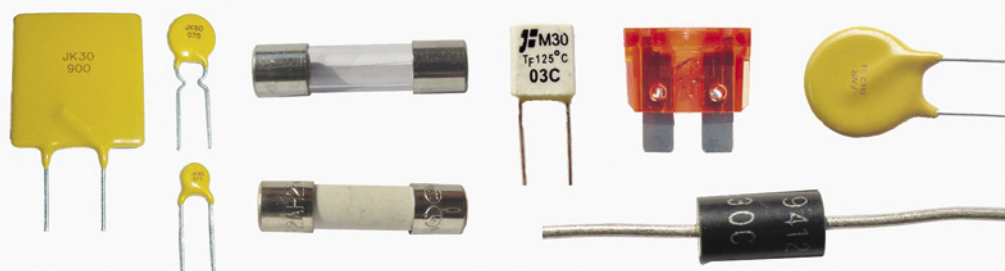
Hurtownia podzespołów elektronicznych

Kraków, ul. Godlewskiego 38
tel. (012) 636 95 66
fax. (012) 636 93 99
e-mail: biuro@micros.com.pl

Szeroki wybór podzespołów elektronicznych. Prowadzimy obsługę sklepów, zakładów produkcyjnych oraz innych podmiotów gospodarczych.

szczególony w katalogu internetowym:
<http://www.micros.com.pl>

Elementy zabezpieczające



Szeroki wybór elementów zabezpieczających: bezpieczniki (topikowe, polimerowe, termiczne, samochodowe), warystory, diody zabezpieczające

• PODZESPOŁY ELEKTRONICZNE CZYNNE I BIERNE

• ELEMENTY AUTOMATYKI PRZEMYSŁOWEJ



- Przekazniki elektromagnetyczne: miniaturowe do PCB, przemysłowe, czasowe, instalacyjne, gniazda
- Zasilacze impulsowe,
- Dławiki i filtry przeciwzakłóceń,
- Mierniki analogowe i cyfrowe,
- Złączki do szaf sterowniczych

• MATERIAŁY I SPRZĘT ELEKTROTECHNICZNY

- Włazniki krańcowe i zbliżeniowe,
- Przedłużacze z filtrem przeciwzakłóceń,
- Gniazda jedno i wielostykowe,
- Lampki energooszczędne



oraz

- Wkładki i gniazda bezpiecznikowe,
- Gniazda telekomunikacyjne uniwersalne UAE-ISDN,
- Termometry i termohigrometry cyfrowe i analogowe, timery
- Aerozole do elektroniki

PEŁNA OFERTA W INTERNECIE



ul. Kolejowa 15/17,
00-950 Warszawa, skr. pocz.174
tel. (22) 632-11-48, 632-46-71, 632-18-75
fax (22) 632-23-36, 632-39-05

<http://www.unizet.com.pl>, e-mail: unizet@unizet.com.pl

KLAWIATURY FOLIOWE

PROJEKTUJE PRODUKUJE SPRZEDAJE



TOWARZYSTWO ELEKTROTECHNOLOGICZNE

Qwerty Sp. z o.o.

UL. SIEWNA 21, 94-250 ŁÓDŹ

tel. /42 632 47 92, 633 32 84, 630 42 64, fax /42 632 85 93
e-mail: qwerty@qwerty.pl, www.qwerty.pl

Twój świadomy cenowo dostawca obwodów drukowanych



Online Kalkulacja ceny
Online Składanie zamówień
Online Przebieg zamówienia
Online 24/24h i 7/7d

à la carte

Verified

- komasacja dla prototypów i małych serii
- od 1 do 1000 sztuk
- od 4 dni roboczych wzwyż
- do 6 warstw

- szeroka skala możliwości technologicznych
- do 20 warstw
- od 1 sztuki wzwyż
- od 2 dni roboczych wzwyż

MEGApool

- komasacja dla serii
- 250, 500 lub 1000 sztuk
- średnie serie w cenie MEGA serii

www.eurocircuits.pl