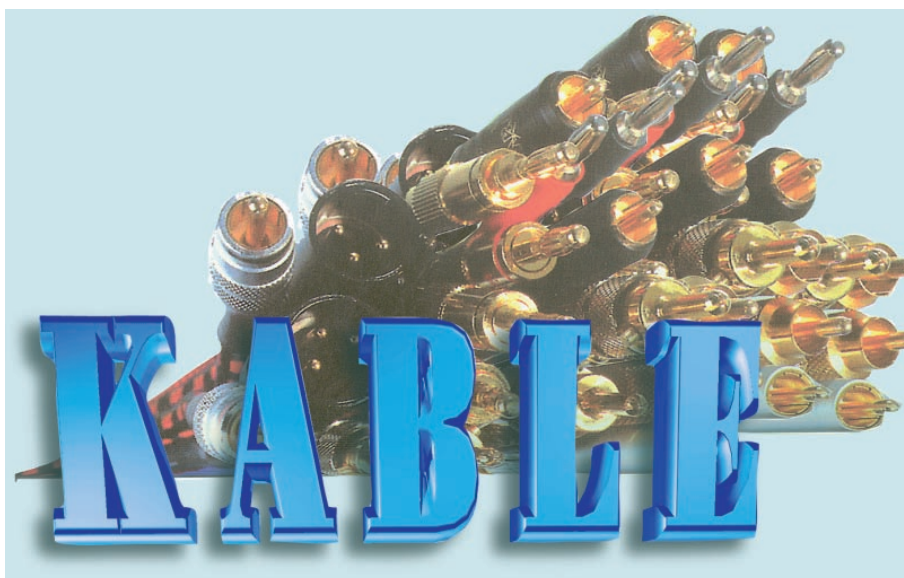


Funkcja kabli w urządzeniach audio lub w sprzęcie nagłośnieniowym jest w zasadzie oczywista. Ich zadaniem jest transmisja sygnałów audio między poszczególnymi segmentami sprzętu z możliwie najmniejszymi zniekształceniami. Od niepamiętnych czasów toczy się dyskusja dotycząca znaczenia wszelkich kabli połączeniowych. Można powiedzieć, że pojawiają się dwie skrajne postawy: jedni mówią o braku jakiegokolwiek wpływu kabli na jakość dźwięku, inni twierdzą, że mają one duży wpływ na ostateczną jakość dźwięku i absolutnie nie można pomijać ich znaczenia.



Wyrazem tej ostatniej postawy są testy kabli, a zwłaszcza określenia używane w takich testach. Co ciekawe, w wielu ocenach jakości poszczególnych kabli zupełnie pomija się parametry techniczne, które można obiektywnie zmierzyć za pomocą mniej czy może bardziej wyrafinowanej aparatury pomiarowej. Tymczasem sceptycy przypuszczają, że jeśli te kable czymś istotnym się różnią, to na obecnym etapie rozwoju techniki „to coś” można zmierzyć, choćby używając supernowoczesnej, kosmicznej aparatury. Czy więc testy opierają się na jakichś subtelnych różnicach w parametrach? Nic takiego! Testy kabli zamieszczane w specjalizowanych periodykach zawierają przede wszystkim subiektywne opinie jakiegoś specjalisty, który zresztą częstokroć kryje się pod pseudonimem lub sygnuje artykuł jedynie inicjałami. Oto kilka ciekawszych próbek, zaczerpniętych z takiego testu:

„To jeden z najbardziej dynamicznych kabli tego testu. W połączeniu z basem daje mieszankę piorunującą. Składy akustyczne, dzięki znakomitej selektywności oraz precyzji w oddawaniu detali były prezentowane bardzo efektywnie. Przestrzeń w nagraniach chorałowych zbliżyła się do osiągnięć Siltecha (nazwa innego kabla) w tej dyscyplinie, wszelkie pogłosy oraz echo i odbicia w nagraniach z kościołów i klasztorów rysowały kontury pomieszczeń.”

Tak więc dzięki temu właśnie kablowi rzekomo możemy zorientować się, czy pomieszczenie jest kwadratowe, czy okrągłe. Inny cytat:

„Ten amerykański srebrny kabel odznacza się niezwyklej delikatnością, lekkością, wręcz zwiewnością i eterycznością. Brzmienie jest koronkowe, piękne, ale bez odpowiedniej wagi – miłośnicy

„uderzenia” zapierającego dech powinni raczej go omijać”

Złośliwcy powiedzą: to można rozumieć! „Uderzenie” takim kablem może rzeczywiście zapierać dech i należy go unikać; chyba że w tym wypadku autorom testu chodzi o mocne muzyczne uderzenie.

„Zdecydowanie podobał mi się jego (kable) sposób prezentacji. Mikstura miękkości, potęgi oraz precyzji. Doskonałe wokale żeńskie i męskie. Choć przy dłuższym odsłuchu dał się zauważyć pewien brak gładkości, ale skala i przestrzeń były wciąż wysokiej próby. Choć wygląda jak kabel od lampki nocnej, mogę go gorąco rekomendować.” (...)

„Bas był obecny (w kablu), ale pozostawał nieco schowany, leniwy, nie prezentował specjalnej gamy możliwości, tak jakby ten zakres częstotliwości nie budził większego zainteresowania konstruktorów.”

„Nie zdruzgotał nas ten kabel, ale także i nie znudził. Bas dość silny, lekko spowolniony. Może bez supergrzmotnięcia, ale wystarczający do budżetowych systemów.”

„Prezentacja mikrodetali nie pozostawiała nic do życzenia, tak samo jak selektywność. Bardzo dobra przestrzeń. Kabel ten prezentuje muzykę w niezwykle ekscytujący i przykuwający uwagę sposób. Jest to kabel mogący zadowolić bardzo różnych słuchaczy o różnych gustach muzycznych. Jest dostatecznie neutralny i dokładny, aby zasłużyć na miano kabla audiofilskiego, a z drugiej strony wszyscy rapery i technoifradźwiękowcy również mogą zrobić z niego doskonały użytek.”

Czy można więc dziwić się, że liczna rzesza elektroników, wychowana w duchu „szkiełka i oka” czytając takie teksty podejrzewa, że chodzi o grubego szwindel, podobny jak w tych „cudach”, których „kto nie jest godny, ten nie zobaczy”...

I że wszyscy te cuda widzą, bo nikt się nie wychyli i nie przyzna, że nie jest godny.

A jak jest w rzeczywistości? Czy cały ten hałas wokół kabli to głośna propaganda napędzana przez producentów, którzy nadzianym snobom chcą wcisnąć kolejne zupełnie niepotrzebne rzeczy i nieźle na tym zarobić? A może kable naprawdę mają duży wpływ na końcowy efekt i nie powinno się na nie szczędzić kasy?

Odpowiedzi na te pytania niech udzielą sami Czytelnicy. Niech wybiorą bardziej lub mniej radykalne stanowisko, które ich satysfakcjonuje. A my w niniejszym artykule zajmiemy się parametrami jak najbardziej namacalnymi, które można zmierzyć, i to bez wypożyczania aparatury pomiarowej z NASA. Zajmiemy się dwoma oddzielnymi problemami:

- kablami głośnikowymi
- kablami sygnałowymi.

Na początek należy bardzo mocno podkreślić, że przeciętny audiofil zanim zajmie się doborom typu kabla i jego długości, przede wszystkim powinien uwzględnić i doprowadzić do porządku sprawę, które mają nieporównanie większy wpływ na efekt końcowy: właściwe rozmieszczenie głośników, właściwości akustyczne pomieszczenia oraz odpowiedniej jakości materiał muzyczny. Tego nie da się pominąć ani przeskoczyć. Na nic zda się grzebanie w kablach, jeśli nie poprawi się tych kilku zasadniczych rzeczy. Tak więc na brzmienie dźwięku należy spojrzeć znacznie szerzej. I na pewno kable nie są tu kluczowym elementem. Ale tym razem zajmijmy się wyłącznie kablami.

Przede wszystkim należy zadbać, by głośniki połączone były z sobą w „fazie”. Gdyby tak nie było, charakterystyka częstotliwościowa została by poważnie zakłócona, zwłaszcza w zakresie niskich częstotliwości. To chyba jest dla wszyst-

kich oczywiste. Czyli fazowanie przede wszystkim! A dalej?

Zacznijmy od sprzętu wysokiej klasy. Czasem zdarzają się sytuacje, że ktoś posiadając dobrej klasy zestaw Hi-Fi, a nawet High-End, nie czuje się w pełni usatysfakcjonowany jego brzmieniem, wychodzi natomiasz różnice między kanałami, a i z mocą zestawu coś jest nie tak. Okazuje się, że jednym ze źródeł problemów mogą być kable.

Każdy przewodnik, a co za tym idzie również kabel, można opisać za pomocą podstawowych parametrów elektrycznych: rezystancji, pojemności i indukcyjności. Są one stosunkowo łatwe do zmierzenia. W związku z tym mogą nasuwać się tu pytania: W jakim stopniu i czy w ogóle zmiana tych parametrów spowoduje zauważalne efekty w jakości odtwarzania dźwięku? Tu jako istotną ciekawostkę można podać, że wyrafinowani słuchacze w optymalnych warunkach odsłuchowych są w stanie wykryć wahania w poziomie sygnału wynoszące 0,2 dB! Choć mało jest takich osób, ta informacja pokazuje problem kabli w nieco zdrowszych proporcjach. Jeśli kable mają jakiś wpływ, to jest to wpływ niewielki, i wpływ ten da się zauważyć tylko w sprzęcie wysokiej klasy i tylko przez nielicznych szczęśliwców(?) obdarzonych nieprzeciętnym słuchem.

Na co więc zwracać uwagę przy okablowywaniu sprzętu Hi-Fi lub sprzętu nagłośnieniowego, żeby osiągnąć maksymalne efekty? Co uwzględniać, a czym się zupełnie nie przejmować?

Podejźmy do sprawy metodą „szkiełka i oka”. Niezależnie od typu przewodu, interesować nas będą następujące jego parametry:

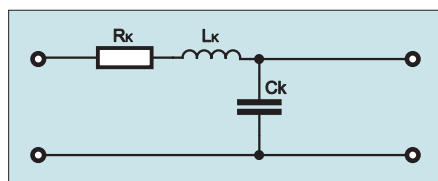
- rezystancja
- indukcyjność
- pojemność.

Tabela 1

| Rezystancja przewodów głośnikowych | | |
|---|----------|-------------|
| Sumaryczna rezystancja (w mΩ, tzn. jednej tysięcznej oma) obu żył jednego metra przewodu głośnikowego przy podanym przekroju i odpowiadającej średnicy żyły miedzianej. | | |
| Przekrój | Średnica | Rezystancja |
| 0,75 mm ² | 1,00 mm | 46,0 mΩ |
| 1,00 mm ² | 1,13 mm | 34,5 mΩ |
| 1,50 mm ² | 1,38 mm | 23,0 mΩ |
| 2,00 mm ² | 1,60 mm | 17,2 mΩ |
| 2,50 mm ² | 1,78 mm | 13,8 mΩ |
| 3,00 mm ² | 1,95 mm | 11,5 mΩ |
| 4,00 mm ² | 2,26 mm | 8,6 mΩ |
| 6,00 mm ² | 2,76 mm | 5,7 mΩ |
| 10,00 mm ² | 3,57 mm | 3,5 mΩ |

W przypadku sygnałów akustycznych o częstotliwościach co najwyżej do 20...30kHz, długość fali (rzędu 10km) jest wielokrotnie większa niż długość używanych w praktyce kabli, dlatego można spokojnie pominąć zjawiska falowe i bez utraty dokładności znacznie uprościć obliczenia. W konsekwencji przewod połączeniowy audio można traktować jako element (czwórnik liniowy), który w istocie składa się z rezystancji oraz indukcyjności przewodu, oraz pojemności między żyłami.

Rysunek 1 pokazuje schemat zastępczy każdego kabla dla częstotliwości z zakresu audio.



Rys. 1.

Rezystancja zależy oczywiście przede wszystkim od średnicy żył (oraz materiału), indukcyjność zależy od wymiarów żył, długości i od kształtu przewodu, natomiast pojemność od długości, od odległości między żyłami oraz materiału izolacji.

Ścisłej biorąc, można jeszcze uwzględnić rezystancję, włączoną równolegle do pojemności C. Nie jest to uptywność dla prądu stałego, tylko dla przebiegów zmiennych. Rezystancja ta reprezentuje straty w dielektryku, a dokładniej straty dielektryczne w materiale izolacji. Ponieważ jednak nawet dla częstotliwości dziesiątków kiloherców ta rezystancja strat wynosi setki i tysiące megaomów, można ją pominąć.

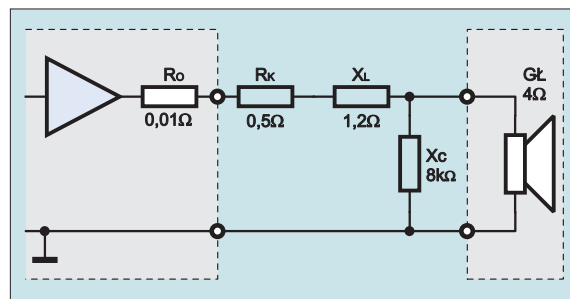
Na placu boju pozostają: rezystancja (omowa) przewodu R, indukcyjność L i pojemność C. Jakiego rzędu są to wielkości?

Zastanówmy się wspólnie. Rezystancję przewodnika o długości l, przekroju S, wykonanego z materiału o rezystywności p obliczamy ze szkolnego wzoru:

$$R = \frac{\rho \times l}{S}$$

Dla miedzi $\rho=0,01724 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$
 Dla srebra $\rho=0,01612\Omega\text{mm}^2/\text{m}$
 Dla złota $\rho=0,02222\Omega\text{mm}^2/\text{m}$

Stąd na przykład 1 metr drutu miedzianego o przekroju 1mm² (nie mylić ze średnicą, która wtedy wynosi 1,13mm) ma rezystancję 0,017Ω czyli 17mΩ. Należy zauważyć, że jest to rezystancja jednej żyły, a przecież nasz przewód ma dwie żyły. Wypadkowa rezystancja dwużyłowego kabla wyniesie więc 34mΩ/m. Zamiast przeprowadzać takie obliczenia, można skorzystać z danych zawartych w tabeli 1. Podano tam wypadkową rezystancję dwóch żył dla jednego metra przewodów o różnych przekrojach.



Rys. 2.

Wypadkowa indukcyjność dwużyłowego przewodu nie jest większa niż 1μH/m (mikrohenr na metr), natomiast pojemność nie powinna przekroczyć 100...200pF/m (pikofarów na metr), a zwykle będzie znacznie mniejsza.

Obliczmy więc z grubsza, jakie parametry będzie miał dziesięciometrowy dwużyłowy przewód miedziany o przekroju żyły 0,75mm². Zgodnie z tabelą 1 rezystancja będzie równa 0,46Ω. Indukcyjność wyniesie, powiedzmy 10μH, a pojemność przyjmijmy równą 1000pF (1nF). Pokazuje to rysunek 2.

Obliczmy teraz jakie to da oporności dla częstotliwości 20kHz.

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C}$$

$$X_L = 2\pi f L$$

Stąd

$$X_C = \frac{1}{2 \times \pi \times 20\text{kHz} \times 1\text{nF}} = \frac{1}{6,28 \times 2 \times 10^4 \times 10^{-9}} = 7,96\text{k}\Omega$$

$$X_L = 2 \times \pi \times 20\text{kHz} \times 10\mu\text{H} = 1,26\Omega$$

Co wynika z tych danych? Jeśli taki przewód zostałby użyty do połączenia wzmacniacza z kolumnami 4-omowymi, sytuacja będzie wyglądać mniej więcej tak jak na rysunku 3a. Rezystancja wewnętrzna (wyjściowa) wzmacniacza mocy jest bardzo mała, rzędu drobnych ułamków oma. Co najważniejsze, rezystancja i reaktancja indukcyjna przewodu będą porównywalne z opornością obciążenia! Ponieważ impedancja głośnika wynosi zazwyczaj 4Ω lub 8Ω, nawet niewielki opór kabla (włączony szeregowo z głośnikiem) da o sobie znać spadkiem napięcia, a w konsekwencji pewną utratą mocy w głośnikach. Natomiast pojemność ze swą reaktancją powyżej 8kΩ nie ma praktycznie wpływu, dlatego ostatecznie sytuacja wygląda jak na rysunku 3b, gdzie impedancja Z reprezentuje

zarówno rezystancję drutu, jak i reaktancję indukcyjną.

Dla oszacowania strat rezystancyjnych kabla zamiast przeprowadzać obliczenia, możesz wykorzystać miernik (omomierz) cyfrowy, choćby 3,5-cyfrowy miernik uniwersalny, który pozwoli zmierzyć rezystancję z rozdzielczością $0,1\Omega$. W celu pomiaru oporu przewodów głośnikowych, zewrzyj obie żyły od strony głośnika i zmierz rezystancję od strony wzmacniacza. Zwykle opór ten będzie znacznie mniejszy niż 1Ω , dlatego miernik powinien być wcześniej skalibrowany i przy zwarciu jego własnych przewodów powinien pokazywać „0”. Gdyby nie było możliwości kalibracji, należy zapisać wartość tego co pokazuje miernik przy zwarciu jego własnych przewodów i po zmierzeniu oporności przewodu głośnikowego odjąć tę wartość. Będziesz miał wtedy faktyczną wartość oporności mierzonego przewodu. Wspominam o tym celowo, ponieważ niejedyn „fachowiec”, przy pomiarach zapomniał o tym, że mały który miernik przy zwarciu omomierza pokazuje „0”. Podam pewien skrajny przykład: gdyby okablowanie miało oporność $3,3\Omega$ przy nominalnym obciążeniu 8Ω , to wyjściowa moc w kolumnach zostanie zredukowana aż o połowę!!! Dlatego nawet w sprzęcie średniej klasy należy dążyć do tego, żeby całkowity opór przewodów, przy obciążeniu 8Ω , utrzymywał się na poziomie poniżej $0,5\Omega$. Można to osiągnąć stosując grubsze przekroje przewodów. Jest więc o co powalczyć.

Przy sprzęcie wysokiej klasy obowiązuje zasada, że całkowita rezystancja kabla łączącego wzmacniacz mocy z głośnikiem nie powinna być większa niż w przybliżeniu $1/100$ impedancji znamionowej głośnika, czyli w przypadku 8Ω będzie to nie więcej niż $80m\Omega$. Wielu melomanów twierdzi, że właśnie odpowied-

niej jakości kable głośnikowe zapewniają znaczący skok jakościowy w odbiorze dźwięku. Ale bardzo dobre kable – bardzo dobrze kosztują – od około 10 zł za metr bieżący do około 500(!) zł za metr. Nie wpadajmy jednak w przesadę. Czy trzeba zastosować jakiś koszmarnie gruby przewód? Na podstawie tabeli 1 (Rezystancja przewodów głośnikowych), możesz wyliczyć wymagany przekrój przewodu, na podstawie wymaganej długości kabla. Przy obliczeniach trzeba pamiętać o tym, że łączną rezystancję wylicza się z oporności jednego metra przewodu, mnożąc ją przez wymaganą długość. Powiedzmy, że zastosujesz przewód o przekroju $1,5mm^2$ i długości 3m. Rezystancja wyniesie około $70m\Omega$ – w porządku – a więc nawet przy typowym przekroju nie ma się o co martwić.

Ale uwaga – można się tu natknąć na przykrą niespodziankę, gdy przewody do obu kolumn będą różnej długości. W każdej sytuacji trzeba pamiętać o tym, że przewody głośnikowe w obu kanałach zawsze powinny mieć jednakową długość. I to wcale nie ze względu na różnice głośności obu kolumn, tylko ze względu na możliwe różnice barwy dźwięku.

Barwy dźwięku? Właśnie tak! Niejedyn meloman dziwił się, dlaczego głośniki nie brzmią jednakowo, a prawdziwa przyczyna tego tkwiła właśnie w różnej długości kabli. Różna była rezystancja poszczególnych przewodów, która następnie dodawała się do rezystancji wyjściowej kanałów wzmacniacza mocy. To spowodowało, że tak zwane tłumienie w obu kanałach wzmacniacza było różne i przez to dała się zauważyć niewielka, ale jednak zauważalnie różna barwa dźwięku obu kolumn.

Czyli notujemy ważną zasadę: **oba przewody głośnikowe powinny mieć jednakową długość.**

Ale to nie wszystko. Często jest tak, że głośniki nie są równo oddalone od wzmacniacza. Co należy zrobić w takiej sytuacji? I w tym wypadku kable głośnikowe powinny być jednakowej długości. Pozostawiony nadmiar kabla od bliższego głośnika, powinien zostać ułożony w formie zygzaka. Absolutnie nie należy zwinąć go w pętlę, gdyż zwinienie przewodu spowodowałoby znaczny wzrost indukcyjności i tym samym zachwianie równowagi między poszczególnymi kanałami.

Należy przy tym pamiętać o podstawowej zasa-

dzie – wzmacniacz powinien być jak najbliżej kolumn, a ściślej: przewody głośnikowe powinny być jak najkrótsze. Dzięki temu będą mieć mniejszą rezystancję, a co za tym idzie – mniejsze będą też straty w sygnale fonicznym podczas transmisji i co najważniejsze – takie same będzie tłumienie i obie kolumny będą pracować w identycznych warunkach.

Stwierdziłmy wspólnie, że kable głośnikowe powinny być jak najkrótsze, gdyż im mniejsza rezystancja kabli tym lepiej. Jednak rezystancję można obniżyć innym sposobem – po prostu stosując kable o większym przekroju. Nie jest to jednak najlepsza droga. Należy bowiem uważać, by obniżenie rezystancji przez przesadne zwiększenie powierzchni przekroju poprzecznego przewodnika nie doprowadziło do zwiększenia indukcyjności, co może spowodować dużo większe straty w jakości przetwarzania niż zyski wynikające z obniżenia rezystancji. Jest to jak najbardziej realne, bo indukcyjność linii dwużyłowej zależy od stosunku odległości między żyłami i średnicy tych żył. A jak pokazały wcześniejsze obliczenia, opór indukcyjny może być większy od oporu czynnego (rezystancji miedzi).

Ponadto przy zwiększaniu średnicy żył da o sobie znać kolejne szkodliwe zjawisko...

Zjawisko naskórkowości

Zjawiskiem, o którym nie wolno zapominać jest efekt „naskórkowy”. Polega on na tym, że prąd przy wyższych częstotliwościach płynie po zewnętrznej powierzchni przewodu, a nie przez cały przekrój. Można powiedzieć, że prąd zmienny sam się wypiera z wnętrza przewodu, na skutek oddziaływań magnetycznych z samym sobą.

Oto wzór na głębokość wnikania w zależności od częstotliwości:

$$e = 15,9 \sqrt{\frac{\rho}{\mu_r \times f}}$$

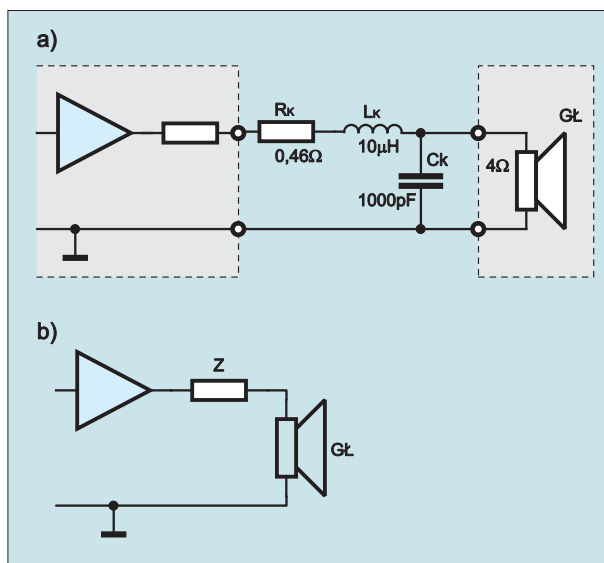
gdzie ρ dla miedzi = $0,017\Omega mm^2/m$, μ_r miedzi należy przyjąć równe 1, a częstotliwość f podać w kilohercach. Głębokość wnikania e wyjdzie w milimetrach.

Dla miedzi wzór ten można uprościć do postaci

$$e = \frac{2,1}{\sqrt{f}}$$

Gdzie częstotliwość trzeba podać w kilohercach, a wynik otrzymuje się w milimetrach. Jak łatwo obliczyć, prąd zmienny o częstotliwości 20kHz ma głębokość wnikania wynoszącą tylko 0,47 mm, a więc płynąc przez przewód głośnikowy o przekroju wynoszącym np. $6mm^2$ (odpowiada to średnicy 2,8mm), prąd o tej częstotliwości ma do dyspozycji jedynie $3,2mm^2$ zamiast pełnego $6mm^2$ przekroju, jakim przepływa prąd stały.

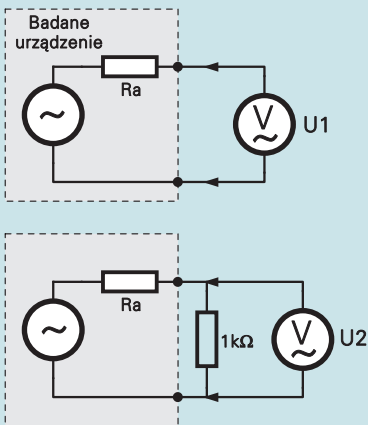
Rys. 3.



Pomiar rezystancji wyjściowej

Do pomiarów potrzebny będzie cyfrowy multimetr na zakresie napięcia zmiennego 2V (lub 200mV) oraz rezystor o wartości 1kΩ.

Układ pomiarowy pokazany jest na rysunku.



Jedynym problemem będzie uzyskanie sygnału o stałej amplitudzie i częstotliwości 50Hz...1kHz. W przypadku odtwarzacza kompaktowego można wykorzystać płytę testową i znaleźć na niej track z tonem 100...500Hz o poziomie -6dB lub 0dB. W przypadku magnetofonu można użyć taśmy testowej lub nagrać ton z generatora. W przypadku tunera należałoby albo znaleźć jakiś ciągły sygnał (gwizd), albo spróbować wykorzystać szum.

Zasada pomiaru jest następująca: najpierw dołączając woltmierz do wyjścia według rysunku a mierzymy napięcie sygnału bez obciążenia (siłę elektromotoryczną) U1. Po dołączeniu rezystora 1kΩ (rysunek b) napięcie sygnału spadnie do wartości U2.

Czym większa rezystancja wyjściowa Ra, tym więcej spadnie napięcie sygnału pod obciążeniem. Rezystancję wyjściową (w kiloomach) obliczymy z prostego wzoru:

$$R_a = \frac{U_1}{U_2} - 1$$

Dokładność i pasmo przenoszenia miernika nie mają żadnego znaczenia, ponieważ obie wartości napięcia mierzone są przy tej samej częstotliwości sygnału, a do obliczeń potrzebny jest jedynie stosunek napięć. Do pomiarów można użyć dowolnego, nawet najtańszego miernika, byleby miał odpowiedni zakres pomiaru napięć zmiennych.

Jak widać, przekrój zmniejszył się prawie o połowę i dlatego rezystancja linii dla dużych częstotliwości uległa podwojeniu! Tym razem chodzi o wzrost rezystancji, a nie pojawienie się reaktancji indukcyjnej, związanej z indukcyjnością przewodu.

Ale czy w podanym wcześniej przykładzie nie popełniliśmy błędu, nie uwzględniając naskórkowości? Dla przewodu o przekroju 0,75mm² głębokość wnikania (2 x 0,47mm) jest praktycznie równa jego średnicy, która wynosi około 1mm. Czyli dla takiego przekroju zjawisko naskórkowości na pewno nie da o sobie znać. Nawet przy przekroju 1 czy 1,5mm² wzrost rezystancji przy wysokich częstotliwościach będzie bardzo niewielki.

Wniosek? Żeby zmniejszyć efekt naskórkowości, należałoby stosować... jak najcieńsze przewody. Wówczas, gdy przewodnik ma średnicę równą najwyżej dwukrotnej wartości głębokości wnikania, to zawsze do dyspozycji jest pełny przekrój żyły i nie występuje zjawisko wzrostu rezystancji dla wyższych częstotliwości. Ale powstaje znowu problem, o którym mówiliśmy wcześniej, że jeśli przewody będą zbyt cienkie, to moc i tłumienie ... itd. Czy jest więc jakieś rozwiązanie? Tak. Aby uniknąć zjawiska naskórkowości należy stosować kabel, w którym każda z żył zbudowana jest z wielu skręconych, odizolowanych

włókien, czyli plecionkę. Daje to zwiększenie sumarycznej powierzchni bocznej i automatycznie zmniejsza rezystancję kabla dla wysokich częstotliwości. A jeszcze prościej zastosować krótkie kable (2...2,5m).

Okazuje się jednak, że niektórzy jako przewody głośnikowe stosują kable koncentryczne, które charakteryzują się znacznie lepszymi właściwościami w zakresie naskórkowości niż kable płaskie. Dotyczy to zwłaszcza żyły zewnętrznej, gdyż ma ona znacznie większą powierzchnię niż przewód lity o takim samym przekroju. Kable koncentryczne szczególnie przydatne są w sytuacji, gdy w pobliżu sprzętu audio znajdują się źródła zakłóceń, typu komputer, telewizor itp. Są znacznie mniej podatne na zmiany warunków elektromagnetycznych otoczenia, a same również wypromieniowują mniej fal na zewnątrz. Oczywiście tu także obowiązują te same zasady odnośnie przekroju i rezystancji omowej.

Ale to nadal nie wszystko. Żeby ci do końca pomieszać w głowie, jeszcze jedna infor-

macja. Są sytuacje, gdy korzystniej jest zastosować kabel o nieco... wyższej rezystancji omowej, niż wynika to z obliczeń, np. jeśli wzmacniacz ma silnie opadającą charakterystykę tłumienia. Wprawdzie pogorszy się łączny współczynnik tłumienia, zniweluje jednak jego silne opadanie i tym samym poprawi właściwości akustyczne.

Czy przypadkiem nie masz już dość tej magii? Jeśli tak, zapoznaj się z podsumowaniem.

1. W przypadku przewodów łączących wzmacniacz z kolumnami istotne znaczenie mają rezystancja i indukcyjność. Pojemność między żyłami w tym wypadku nie gra większej roli.

2. Przewody głośnikowe powinny być jak najkrótsze.

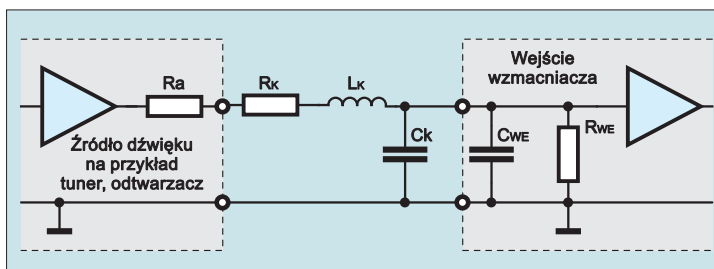
3. Oba przewody głośnikowe powinny mieć jednakową długość.

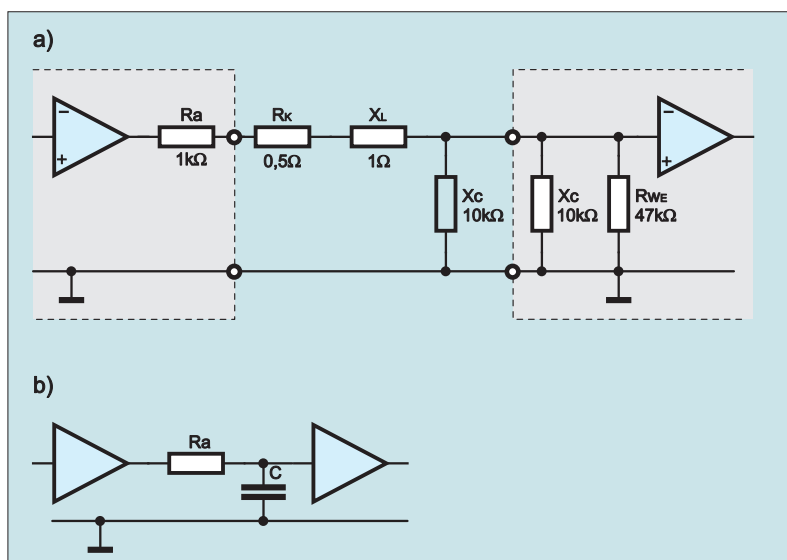
Kable sygnałowe

W przypadku przewodów głośnikowych zauważalny wpływ mogą mieć rezystancja i indukcyjność przewodu. Zupełnie inaczej jest z przewodami sygnałowymi, łączącymi wzmacniacz ze źródłami sygnału. Przewody sygnałowe to te zakończone wtykami cinch, łączące źródła sygnału (tuner, odtwarzacz CD, magnetofon) ze wzmacniaczem, oraz ewentualny przedwzmacniacz ze wzmacniaczem. Również tutaj sytuacja pod względem elektrycznym jest podobna jak w przypadku głośników – pokazuje to **rysunek 4**. Inne są jednak oporności i tu jest sedno sprawy. Przy dobrych kablach rezystancja strat w izolacji przewodu nie stanowi w zasadzie problemu. Natomiast gdyby suma pojemności była zbyt duża – obciążałaby źródło dźwięku. Należy pamiętać o tym, że dwie żyły kabla są ułożone bardzo blisko siebie. Żyły te tworzą kondensator, którego pojemność jest proporcjonalna do długości kabla.

Ale cały problem zaczyna się w „źródle dźwięku”. O ile oporność (rezystancja) wyjściowa wzmacniacza mocy wynosi ułamki oma, o tyle oporność wyjściowa tunerów, odtwarzaczy, a zwłaszcza magnetofonów może mieć nieporównanie większą wartość. W niektórych urządzeniach rezystancja ta sięga już nie omów, ale pojedynczych kiloomów. **Rysunek 5** pokazuje poszcze-

Rys. 4.





Rys. 5.

gólne oporności w pewnej przykładowej sytuacji. Jak widać, tym razem rezystancja i indukcyjność przewodu nie mają znaczącego wpływu. Kluczowe znaczenie mają:

- rezystancja wyjściowa źródła
- sumaryczna pojemność kabla i wejścia.

Elementy te tworzą najzwyczajniejszy górnoprzepustowy filtr RC.

Jeśli tak, to na samym wstępie należałoby określić rezystancję wyjściową użytego źródła R_a , żeby można było dokonać jakichkolwiek obliczeń. Informację o rezystancji wejściowej można uzyskać albo z instrukcji obsługi sprzętu lub na podstawie samodzielnego pomiaru za pomocą multimetru, prostą metodą przedstawioną w ramce.

Pojemność kabla można zmierzyć za pomocą cyfrowego multimetru. Można też przyjąć, że dla przewodu ekranowanego wynosi ona 100...200pF/m. Do pojemności kabla należy dodać pojemność wejściową wzmacniacza, której wartość jest podana w instrukcji obsługi. Gdyby nie była podana, można przyjąć, że nie przekracza ona 300...500pF. Niech suma tych dwóch pojemności wynosi C_x .

Mając rezystancję wyjściową źródła R_a i pojemność C_x można obliczyć górną częstotliwość graniczną „filtru” ze wzoru

$$F = \frac{0,159}{R_a C_x}$$

Należy pamiętać, że obliczona częstotliwość to częstotliwość, przy której sygnał zmniejsza się o 3 decybele. W sprzęcie wysokiej klasy tak obliczona częstotliwość graniczna musi być znacznie większa od 20kHz i powinna wynosić minimum 80...90kHz. Jedynie w takich warunkach tłumienie najwyższych częstotliwości akustycznych nie będzie większe niż 0,5dB, a przesunięcie fazy nie będzie większe niż -20 stopni.

Inną możliwością jest skorzystanie z tabelki 2 (Maksymalne pojemności przewodu). Dzięki niej można odczytać, jakie największe obciążenie może jeszcze być tolerowane przez źródło. Trzeba jednak zawsze pamiętać o tym, że pojemność posiada nie tylko przewód, ale także stopień wejściowy kolejnego stopnia (np. wzmacniacza) i należy to uwzględnić przy obliczeniach. W danych technicznych urządzenia można sprawdzić jaka jest jego pojemność wejściowa.

Wpływ pojemności przewodu łączącego źródło ze wzmacniaczem można też od razu określić w układzie z woltmierzem, podobnie jak przy pomiarze rezystancji wyjściowej – (zobacz tabelka). Nie trzeba mierzyć oddzielnie rezystancji wyjściowej R_a i pojemności kabla. Tym razem częstotliwość sygnału musi jednak wynosić 15...20kHz. Zamiast rezystora 1kΩ trzeba po prostu podłączyć żyłę i ekran badanego kabla i sprawdzić o ile zmniejszy się poziom sygnału. Przy częstotliwości 20kHz spadek nie powinien być większy niż 8...10%.

Ale uwaga – najtańsze multimetry cyfrowe mogą nie mierzyć sygnałów o tak dużej częstotliwości, która w tym wypadku jest niezbędna. Jeśli na zakresie 2V czy 200mV miernik pokazuje wartość z bardzo dużym błędem (nawet kilkusetprocentowym), ale jednak pokazuje, można oszacować wpływ pojemności kabla – bezwzględna dokładność nie ma znaczenia. Chodzi tylko o oszacowanie spadku napięcia po dołączeniu pojemności kabla.

wa. Następnie tę pojemność odejmuje się od maksymalnej możliwej pojemności kabla, odczytanej z tabelki. Otrzymana liczba pokazuje faktyczną maksymalną pojemność kabla, który może być podłączony do źródła sygnału.

Żeby to lepiej zrozumieć posłużmy się przykładem: zbadana przez nas rezystancja wyjściowa źródła (R_a) wynosi 1kΩ. Z instrukcji obsługi sprzętu dowiedzieliśmy się, że pojemność wejściowa wzmacniacza wynosi 330pF. Z tabeli wynika, iż dla R_a równym 1kΩ, dopuszczalna pojemność obciążenia (C_x) wynosi 1,8nF. Tak więc prawdziwa maksymalna pojemność kabla nie może przekraczać 1,47nF (1,8nF – 330pF = 1,47nF). Nie ma problemu, nawet gdyby użyty przewód miał pojemność 200pF/m, przewód mógłby mieć aż 7 metrów, i należy podkreślić, że postawiono tu bardzo ostre warunki (spadek -0,5dB przy częstotliwości 20kHz). Czyli przy odległościach rzędu 0,5...1m nie ma co robić problemu nawet przy rezystancji wyjściowej urządzenia równej 4,7kΩ.

Tabela 2

Maksymalne pojemności przewodu

R_a – rezystancja wyjściowa źródła;
 C_x – maksymalna pojemność przewodu

| | |
|---------------------|----------------|
| $R_a = 100\Omega$: | $C_x = 18$ nF |
| $R_a = 220\Omega$: | $C_x = 8,2$ nF |
| $R_a = 470\Omega$: | $C_x = 3,8$ nF |
| $R_a = 1$ kΩ: | $C_x = 1,8$ nF |
| $R_a = 1,5$ kΩ: | $C_x = 1,2$ nF |
| $R_a = 2,2$ kΩ: | $C_x = 820$ pF |
| $R_a = 4,7$ kΩ: | $C_x = 380$ pF |
| $R_a = 10$ kΩ: | $C_x = 180$ pF |

Jak z tego widać, problem nie jest poważny, jednak nie tylko ze względu na obcinanie pasma, ale też ze względu na odporność na zakłócenia przewody sygnałowe powinny być możliwie krótkie. Pamiętamy jednak o tym, że podwójna długość to podwójna pojemność.

Gdy sprzęt zawiera oddzielny przedwzmacniacz i końcówkę(i) mocy, trzeba pamiętać o tym, że stopień mocy powinien być jak najbliżej kolumn głośnikowych. Ponieważ między przedwzmacniaczem a stopniem mocy występują dość wysokie poziomy sygnałów a niezbyt duże prądy, można spodziewać się małych strat. Mniejsze jest również zagrożenie impulsami zakłócającymi ze względu na występujące warunki impedancyjne. Dlatego połączenia między przedwzmacniaczami i stopniami mocy mogą być dłuższe (choć bez przesady), a pozostałe przewody z przedwzmacniaczy w miarę możliwości jak najkrótsze.

Kable mikrofonowe

Podane informacje dotyczą również mikrofonów i przewodów mikrofonowych. Tu również, najprościej rzecz ujmując, rezystancja mikrofonu tworzy z pojemnością kabla filtr dolnoprzepustowy. Ponieważ oporność wyjściowa dobrych mikrofonów wynosi 200Ω , a wymagania dotyczące spadku pasma są łagodniejsze, mikrofony takie mogą współpracować z kablami o długościach rzędu kilkudziesięciu, a nawet stu metrów.

W przypadku mikrofonów 700-omowych, które co prawda mają większy sygnał, długość kabla nie powinna przekraczać kilkunastu metrów.

Jeszcze inaczej jest w przypadku zastosowania transformatora mikrofonowego. Taki transformator podwyższa napięcie sygnału w stosunku np. 10:1 umożliwiając zmniejszenie szumów, ale jednocześnie zwiększa rezystancję wyjściową (do drugiej potęgi przekładni) czyli 100-krotnie. Tym samym rezystancja wyjściowa podwyższającego transformatora mikrofonowego sięgnie $200\Omega \times 100 = 20k\Omega$. Z taką rezystancją może współpracować jedynie kabel o bardzo małej pojemności, rzędu 100...200pF. Dlatego transformatora mikrofonowego nie można umieszczać tuż przy mikrofonie, tylko na przeciwnym końcu kabla, nie dalej niż 1m od wejścia miksera.

Zupełnie innym, bardzo poważnym problemem praktycznym, najbardziej dostrzegalnym w przypadku kabli mikrofonowych, jest jakość ich wykonania ze strony mechanicznej. Kable kiepskiej jakości przy częstym używaniu zaczynają się brzydko związać, ekran się rozwarstwa i kabel po pewnym czasie nadaje się tylko na złom. Jeszcze innym zjawiskiem jest mikrofonowanie kabla – okazuje się, że sam kabel „zbiera” i to nie tylko przydźwięk sieci i zakłócenia, ale co niemal niepojęte, zaczyna zachowywać się jak bardzo kiepski mikrofon i zbiera także dźwięki, zwłaszcza podczas przesuwania go po podłodze sceny. I tutaj każdy praktyk potwierdzi, że na kablach mikrofonowych nie warto oszczędzać, bo pozorne oszczędności przy zakupie taniego kabla zemszczą się boleśnie podczas użytkowania.

Wnioski końcowe

Podane informacje pokazują, że problem parametrów „elektronicznych” w kablach nie jest tak ostry, jak mogłoby wynikać z niektórych potocznych opinii. Na pewno ogromne różnice jakości dają się zauważyć w kablach mikrofonowych. Natomiast problem kabli sygnałowych i głośnikowych nie dotyczy sprzętu średniej i wyższej klasy, o ile przewody te nie są nadmiernie długie. Dopiero w sprzęcie najwyższej klasy da się zauważyć wyraźne, możliwe do zmierzenia różnice pomiędzy poszczególnymi typami kabli. Choć ich negatywny wpływ na jakość odtwarzania sygnałów w dużym stopniu zauważalny jest dopiero w sprzęcie najwyższej klasy, jednakże nie ma powodów, by go zaniedbać także w sprzęcie, jaki ma w domu niezbyt zasobny audiofil. Poza tym, jak wynika z różnorodnych testów, nie zawsze cena kabla decyduje o jego przydatności i rzeczywistej wartości. Zamiast poświęcać całą uwagę kablom, należałoby przyjrzeć się innym ważnym elementom. I nie chodzi tu tylko o sam sprzęt, rozstawienie głośników, czy warunki akustyczne pomieszczenia. Nie należy oszczędzać na wtykach bananowych czy widelkach, gdyż dobry kontakt kabla z wyjściem wzmacniacza lub z kolumnami to połowa sukcesu. Miedziane kable trzeba zabezpieczyć przed kontaktem z powietrzem, żeby nie zaśniedziały. Można to uczynić przy pomocy lutowania i koszulek.

Warto przejrzeć posiadany sprzęt także pod tym względem.

Czytelników bardziej zainteresowanych tematem okablowania odsyłamy do tegorocznych numerów czasopisma „AUDIO”, zwłaszcza do numeru 1/98.

Zbigniew Orłowski
Piotr Górecki