

W tym i poprzednim numerze EdW przedstawiono układ generatora funkcji. Prosta konstrukcja i bardzo niska cena zachęca wielu do wykonania tego urządzenia. Nie wystarczy jednak mieć taki generator, trzeba umieć się nim posługiwać i w pełni wykorzystać jego możliwości. Niniejszy artykuł zawiera garść wskazówek dotyczących użycia generatora podczas pomiarów.

# Generator funkcji w praktyce

Konkurs dla początkujących!!!

Generatory funkcji są znakomitą pomocą przy pomiarach wielu urządzeń elektronicznych, w szczególności układów audio. Aby w pełni wykorzystać ich zalety, warto poświęcić trochę czasu na zapoznanie się z informacjami zawartymi w artykule, a potem przeprowadzić szereg prób.

Każdy elektronik ma na swym sumieniu (jeśli jeszcze nie ma – to będzie miał) wykonanie mniej czy bardziej udanego wzmacniacza małej częstotliwości. W EdW zaprezentowano już kilka wzmacniaczy mocy i przedwzmacniaczy, i wcale nie jest to koniec prezentacji – wprost przeciwnie.

Wykonanie dobrego wzmacniacza mocy wcale nie jest takie łatwe. Ostatecznie o ocenie wzmacniacza decyduje subiektywna opinia po przeprowadzeniu odsłuchu. Wiem jednak z praktyki, że elektronik bardzo chciałby znać prawdziwe parametry swego sprzętu. Niestety, mało kto posiada profesjonalny sprzęt pomiarowy. Panuje więc powszechna opinia, że bardzo trudno jest poznać rzeczywiste parametry urządzeń audio wykonanych we własnym zakresie.

Pogląd taki jest tak samo błędny, jak powszechny.

Właśnie generator funkcji i oscyloskop pozwalają zmierzyć wiele ważnych parametrów. Szczerze mówiąc, jeszcze jednym naprawdę potrzebnym przyrządem jest miernik zniekształceń nieliniowych (przyrząd taki zostanie przedstawiony w jednym z następných numerów EdW). Trzy wymienione urządzenia: generator funkcji, oscyloskop i miernik zniekształ-

ceń, całkowicie wystarczą przy badaniu ogromnej większości układów audio.

## Wzmacniacze mocy

W przypadku wzmacniaczy mocy generator funkcji pozwala zmierzyć wzmocnienie, pasmo przenoszenia, moc wyjściową oraz szybkość narastania napięcia wyjściowego.

Ale wcześniej, bez generatora i obciążenia trzeba sprawdzić czy układ nie pobiera zbyt wielkiego prądu w stanie spoczynku.

Najlepiej takie pierwsze pomiary przeprowadzać przy użyciu zewnętrznego zasilacza z ograniczeniem prądowym. Użycie zasilacza dużej mocy grozi nieodwracalnym uszkodzeniem układu w przypadku jakiegoś błędu. Użycie zasilacza z ograniczeniem prądowym ustawionym na 50...100mA zabezpiecza przed takimi przykrymi niespodziankami. Przy pierwszym włączeniu można stopniowo zwiększać napięcie zasilacza (lub zasilaczy), mierząc jednocześnie pobierany prąd spoczynkowy. W praktyce żaden ze wzmacniaczy mocy nie powinien mieć prądu spoczynkowego większego niż kilkadziesiąt miliamperów.

Gdy prąd spoczynkowy jest właściwy, należy sprawdzić, czy wzmacniacz w ogóle pracuje, i czy na jego wyjściu pojawia się prawidłowy sygnał, bez zniekształceń i obcych składowych (przydźwięk sieci, wzbudzenie, itp.). Pomiary przeprowadza się w układzie pokazanym na rysunku 1.

Uwaga! Przy badaniu wzmacniaczy mostkowych (wszystkie wzmacniacze „samochodowe” o mocach powyżej 6W,

w tym opisywane w EdW TDA1554 i TDA7056) należy pamiętać, że żadne z wyjść nie jest na potencjale masy. Przy odrobinie nieuwagi można jedno z tych wyjść zewrzeć do masy, przez ekran kabla pomiarowego (sondy) oscyloskopu. Może to doprowadzić nawet do uszkodzenia wzmacniacza. Dlatego na rysunku 1 pokazano przełącznik dwuobwodowy. W przypadku wzmacniaczy, w których głośnik jest dołączony jednym końcem do masy, wystarczy użyć przełącznika jednoobwodowego.

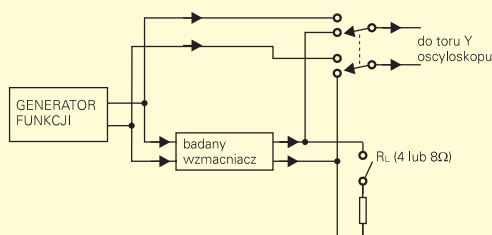
Pierwsze orientacyjne obserwacje należy przeprowadzić przy zasilaniu z zasilacza o małej wydajności (100mA) i napięciu takim, jak planowane napięcie zasilające. Oczywiście nie należy podłączać obciążenia na wyjściu.

Te pierwsze pomiary najlepiej wykonać stosując przebieg trójkątny i prostokątny.

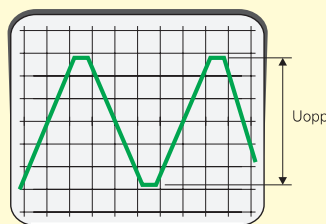
Najpierw należy podać na wejście przebieg trójkątny o częstotliwości w granicach 1kHz i stopniowo zwiększać jego amplitudę – w pewnej chwili okaże się, iż ostre wierzchołki przebiegu trójkątnego ulegają spłaszczeniu. Można w ten sposób określić maksymalne napięcie wyjściowe przy danym napięciu zasilającym. Pokazuje to rysunek 2. Przy mniejszych amplitudach przebieg powinien mieć proste, liniowe zbocza i ostre wierzchołki.

Przy okazji można też zmierzyć wzmocnienie. To najprostsza sprawa.

Wzmocnienie oblicza się podając na wejście sygnał trójkątny (lub jakiegokolwiek inny) i mierząc oscyloskopem amplitudy sygnałów na wejściu i na wyjściu. Stosunek tych sygnałów informuje o wzmocnieniu wzmacniacza. Podczas pomiaru wzmocnienia sygnał nie może być zbyt duży, by nie nastąpiło przesterowanie wzmacniacza i zniekształcenie sinusoidy. Nie należy mierzyć napięć wejściowych i wyjściowych zwykłym cyfrowym multimetrem, ponieważ większość takich multimetrów nie może dokładnie zmierzyć napięć zmiennych o częstotliwościach większych niż kilkadziesiąt...kilkaset herców.



Rys. 1. Układ testowy.



Rys. 2. Obciążony przebieg trójkątny.

Ważnym parametrem wzmacniacza jest maksymalna moc wyjściowa.

Pomiar mocy wyjściowej można przeprowadzić (i rzeczywiście przeprowadza się) przy pomocy sygnału sinusoidalnego, a nie trójkątnego czy prostokątnego, bo dałoby to fałszywe wyniki.

Te pomiary należy jednak przeprowadzić już z oryginalnym zasilaczem i po podłączeniu do wyjścia nominalnego obciążenia (najczęściej  $8\Omega$ , w sprzęcie samochodowym –  $4\Omega$ ). Pomiary bez obciążenia mogą dać fałszywe wyniki (dużo lepsze od rzeczywistych).

W pierwszej kolejności należy zmierzyć moc maksymalną oddawaną przez wzmacniacz. Jest to bardzo proste. Należy obciążyć wzmacniacz (oba kanały wzmacniacza stereofonicznego) głośnikiem lub kolumną o odpowiedniej mocy, a jeszcze lepiej rezystorami większej mocy (4 lub  $8\Omega$ ). Chodzi o to, by zmierzyć maksymalną moc wyjściową w warunkach zbliżonych do naturalnych. Na wejście (oba wejścia wzmacniacza stereo) należy podać przebieg sinusoidalny i tak dobrać jego amplitudę, aby szczyty przebiegu na wyjściu uległy niewielkiemu zdeformowaniu – będzie to wyglądało, jak na **rysunku 3**. Przy takiej niewielkiej deformacji sinusoidy zawartość niekształceń wynosi 2...5%. Moc oddawana do obciążenia w takich warunkach będzie maksymalną mocą wzmacniacza (tak zwaną mocą sinusoidalną, nie tzw. muzyczną)

Aby określić tę moc, należy zmierzyć wartość międzyszczytową napięcia wyjściowego na obciążeniu, mierząc wysokość przebiegu i uwzględniając współczynnik odchylenia toru Y.

Powiedzmy, że przy obciążeniu wzmacniacza rezystancją  $8\Omega$  i przy napięciu sieci równym 210V, obraz na ekranie ma wysokość 5,5 działki, a współczynnik odchylenia nastawiony pokrętkiem oscyloskopu wynosi 10V/działkę. To znaczy, że międzyszczytowa amplituda przebiegu wynosi 55V.

Amplituda wynosi połowę tego, czyli 27,5V. Do obliczenia mocy potrzebna jest wartość skuteczna napięcia. Dla przebiegu sinusoidalnego wartość skuteczna napięcia jest równa 0,707 amplitudy.

W naszym przypadku:

$$27,5V \times 0,707 = 19,5V$$

moc obliczamy ze znanego wzoru:

$$P = \frac{U^2}{R}$$

czyli:

$$P = \frac{(19,5V)^2}{8\Omega} = \frac{380}{8} = 47,5W$$

Nasz wzmacniacz przy niekorzystnych warunkach (obniżone napięcie sieci, pomiar przy sygnale ciągłym) dysponuje mocą ciągłą (tzw. sinusoidalną) 47,5W. Przy obciążeniu sygnałem muzycznym i przy nominalnym napięciu sieci moc ta będzie jeszcze trochę większa.

Pomiar mocy maksymalnej jest jak wiadać, bardzo prosty.

W każdym wzmacniaczu trzeba też zmierzyć pasmo przenoszenia, czyli przebieg wzmocnienia dla różnych częstotliwości. W zasadzie pasmo przenoszenia mierzy się podając na wejście przebieg sinusoidalny o jednakowej amplitudzie i zmiennej częstotliwości. Wzmocnienie przy częstotliwości 1kHz uznaje się za nominalne. Granicznymi częstotliwościami (górną i dolną) są częstotliwości, przy których wzmocnienie spada o 3dB (czyli do wartości 0,707 wzmocnienia nominalnego). Przyjmuje się, że wzmacniacz mocy powinien przenosić przynajmniej częstotliwości w zakresie 20Hz...20kHz.

Badanie wzmocnienia w funkcji częstotliwości też nie jest skomplikowane. Pomiar przebiegu charakterystyki częstotliwościowej można przeprowadzić przy określonej mocy oddawanej do obciążenia (na przykład przy 10% lub 20% mocy maksymalnej), ale raczej nie przy pełnej mocy. W zasadzie pomiary te należałoby przeprowadzić po dołączeniu oryginalnych głośników, które będą potem współpracować ze wzmacniaczem. Ale jest to niebezpieczne. Bardzo wielu elektroników przeprowadzało już takie próby i chciało, jak mówimy potocznie „przezwizdać” wzmacniacz i głośniki przebiegiem o zmiennej częstotliwości. Jeśli moc oddawana przez wzmacniacz była większa niż 20% mocy nominalnej dołączonej kolumny, to z reguły następowało uszkodzenie głośników wysokotonowych w kolumnie. Trzeba pamiętać, że napis na

głośniku wysokotonowym 60W  $8\Omega$  wskazuje, że głośnik może być stosowany w zestawie (kolumnie) o takiej mocy, ale w żadnym wypadku do tego głośnika nie wolno doprowadzać mocy większej niż 10% podanej wartości. Dotyczy to tylko głośników wysokotonowych.

Dlatego sprawdzendo charakterystyki częstotliwościowej dla bezpieczeństwa warto przeprowadzać z użyciem rezystorów zamiast głośników.

W praktyce robi się to następująco:

Trzeba ustawić potrzebną wartość mocy wyjściowej, a potem właściwie ustawić obraz na oscyloskopie. Gdy generator jest wyłączony, linia podstawy czasu powinna być ustawiona u dołu ekranu, tak, jak pokazano to na **rysunku 4a** (wejście toru Y oscyloskopu powinno być sprzężone stałoprądowo – przełącznik w pozycji DC). Po włączeniu generatora (sinus 1kHz), trzeba tak ustawić skokowy i płynny regulator wzmocnienia w torze Y oscyloskopu, by przebieg sięgał aż do piątej działki ekranu, tak, jak pokazuje to **rysunek 4b**. Szybkość podstawy czasu można ustawić dowolnie, byle tylko można obserwować wierzchołki przebiegu. Następnie należy zmniejszać częstotliwość generatora. Trzeba znaleźć taką częstotliwość, przy której wysokość przebiegu na ekranie wyniesie 3,5 działki (3,5/5 daje 0,7 czyli właśnie około 0,707 co odpowiada -3dB). Jest to dolna (lub górna) częstotliwość graniczna.

Teraz trzeba tak ustawić skokowy regulator podstawy czasu, aby na ekranie uzyskać co najwyżej dwie połowki przebiegu – tak jak na **rysunku 4c**. Należy zmierzyć okres przebiegu mierząc przebieg na ekranie i uwzględniając współczynnik podstawy czasu. Przypuśćmy, że okres przebiegu na rysunku 4c ma 8,2 działki, a współczynnik podstawy czasu wynosi 10ms/działkę. Daje to okres przebiegu:

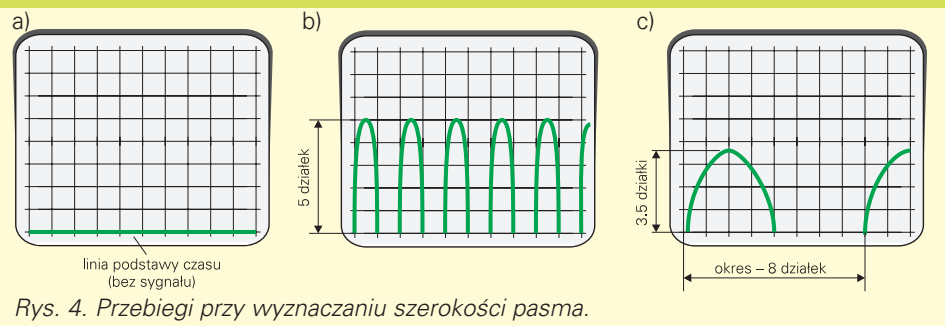
$$T = 8,2 \times 10 = 82ms$$

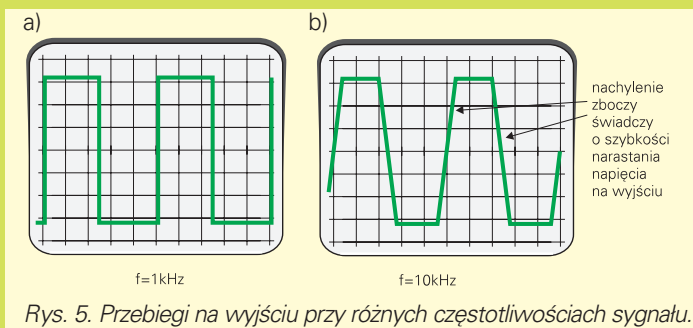
stąd obliczamy częstotliwość:

$$f = \frac{1}{T}$$

$$f = \frac{1}{82ms} = 12,2Hz$$

Nasz wzmacniacz ma więc dolną częstotliwość graniczną około 12Hz.





Rys. 5. Przebiegi na wyjściu przy różnych częstotliwościach sygnału.

Podobnie znajdujemy górną częstotliwość graniczną.

Po znalezieniu częstotliwości granicznych wypadałoby jeszcze sprawdzić, czy w tak określonym paśmie użytecznym nie ma jakiś niespodzianek, czy wszystkie częstotliwości w tym zakresie są wzmacniane równomiernie. Można to zrobić przestrajając powoli generator od dolnej częstotliwości granicznej do górnej i obserwując przebieg na ekranie. Jak widać jest to dość żmudne zajęcie.

W wielu przypadkach nie zależy nam na dokładnym określeniu częstotliwości granicznych, ani na dokładnym pomiarze przebiegu charakterystyki częstotliwościowej. Bardzo często wystarczą dane orientacyjne.

Istnieje bardzo prosty sposób przeprowadzenia takiego orientacyjnego pomiaru. Wystarczy wykorzystać przebieg prostokątny.

Zamiast więc „bawić się” z przebiegiem sinusoidalnym, należy podać na wejście przebieg prostokątny o częstotliwości 1kHz, który da na wyjściu przebieg o amplitudzie mniejszej niż zmierzona wcześniej maksymalna wartość  $U_{opp}$ . (chodzi o to, by na pewno wzmacniacz nie był przesterowany). Obserwacja kształtu przebiegu na wyjściu da wstępną informację o paśmie przenoszenia, prze-

biegu charakterystyki częstotliwościowej, szybkości wzmacniacza oraz o tendencjach do wzbudzenia się. Jeśli wzmacniacz miałby pasmo przenoszenia bardzo szerokie, sięgające od góry do częstotliwości rzędu megaherców, to przebieg na wyjściu, miałby dokładnie taki sam kształt, jak przebieg na wejściu, czyli taki jak pokazano na **rysunku 5a**. Niestety nie zawsze tak będzie. Wzmacniacze mocy nie są zwykle zbyt szybkie, dlatego zwykle zbocza przebiegu na wyjściu nie są tak ostre, jak na wejściu. Można tu w bardzo prosty sposób zmierzyć szybkość narastania napięcia na wyjściu (należy to zrobić, ale po obciążeniu wzmacniacza rezystorem 4 lub 8 $\Omega$ ). Przy większych częstotliwościach zamiast ładnego przebiegu prostokątnego uzyskuje się trapez – widać to bardzo wyraźnie przy zwiększeniu częstotliwości przebiegu do 10kHz – ilustruje to **rysunek 5b**.

Z pomocą przebiegu prostokątnego można też dokładnie zmierzyć kolejny ważny parametr – szybkość zmian napięcia na wyjściu (pod obciążeniem). W tym celu należy zwiększać częstotliwość – aż z przebiegu prostokątnego zrobi się trapez (a może nawet trójkąt). Pomiar ten należy przeprowadzić przy mocy wyjściowej wynoszącej mniej więcej połowę mocy maksymalnej i przy częstotliwości około 10kHz. Uwaga! – przy takim pomiarze nie wolno dołączać głośników, ani kolumn, bo mogą łatwo ulec uszkodzeniu. Obraz na ekranie będzie wyglądał jak na rysunku 5b. Mając na ekranie przebieg

o wyraźnie nachylenych zboczach, można w prosty sposób określić szybkość narastania napięcia wyjściowego (na obciążeniu). Dla spotykanych popular-

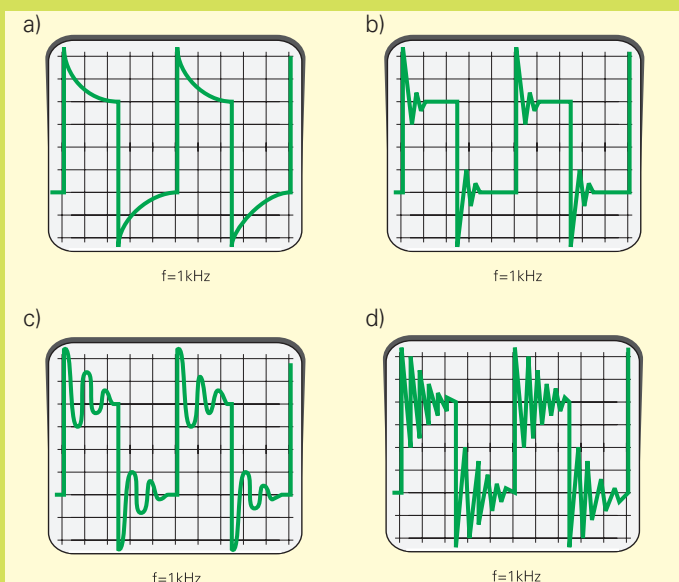
nych wzmacniaczy wynosi ona od kilku do kilkudziesięciu woltów na mikrosekundę. Czym większa szybkość, tym większa górna częstotliwość graniczna i tym lepszy wzmacniacz.

Oprócz takiego nachylenia zboczy prawie zawsze obserwuje się dodatkowe zniekształcenia przebiegu. Złaszcza wzmacniacze mocy budowane z pojedynczych tranzystorów przy jakichkolwiek błędach w układzie, dadzą na wyjściu przebieg zdeformowany. Na **rysunku 6** pokazano przebiegi, jaki często daje się zaobserwować w praktyce. Takie szpilki lub tłumione sinusoidy na początku impulsu, zwane ogólnie przerostami, świadczą o wzroście wzmocnienia w zakresie najwyższych częstotliwości i tendencji do samowzbudzenia na wysokich częstotliwościach. Jest to niedobry znak.

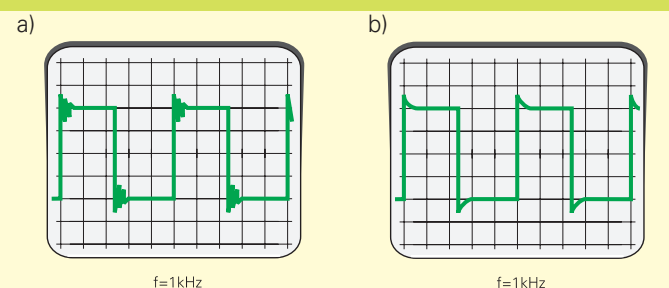
Na szczęście, jeśli zakłócenie nie jest duże, nie większe niż powiedzmy 1/4 wysokości impulsu, a do tego krótkie (jak pokazano na **rysunku 7**), to najprawdopodobniej wzmacniacz będzie pracował poprawnie, i przy późniejszym odsłuchu nie dadzą się zauważyć żadne negatywne zjawiska. Jeśli jednak szpilka jest wysoka, i do tego szeroka, lub pojawia się widoczny tłumiony przebieg sinusoidalny (jak na rysunku 6) to trzeba będzie poszukać przyczyny i ją usunąć. W układach budowanych z pojedynczych tranzystorów przyczyn może być wiele i nie sposób ich wymienić. Jest to zresztą poważne i trudne zagadnienie, związane z kompensacją częstotliwościową wzmacniaczy.

We wzmacniaczach scalonych budowanych według typowego układu aplikacyjnego sprawa jest znacznie prostsza: obecność takich szpilek, lub innych zniekształceń zboczy impulsów, zazwyczaj świadczy o błędnym poprowadzeniu obwodu masy i (lub) niewłaściwym odsprężeniu szyn zasilających (to ważne zagadnienie również wykracza poza ramy niniejszego artykułu).

W każdym razie zniekształcenia przebiegu prostokątnego na wyjściu niosą informację o paśmie przenoszenia wzmacniacza i jego tendencji do wzbudzenia się. Wszelkie „występy”, czyli przerosty na przednim zboczu impulsu, pokazane na



Rys. 6. Przykłady przerostów.



Rys. 7. Dopuszczalne przerosty.

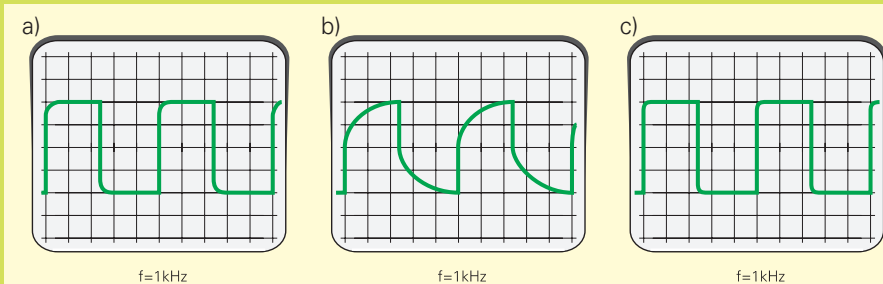
rysunkach 6 i 7, wskazują na jakieś nieprawidłowości przebiegu charakterystyki częstotliwościowej (i fazowej) w zakresie najwyższych częstotliwości. Nierzadko dotyczy to częstotliwości rzędu setek kiloherców, a nawet megaherców. Krótko mówiąc gdzieś w zakresie wysokich częstotliwości dzieje się coś niedobrego, zazwyczaj wzmocnienie jest większe od nominalnego.

Ale czasem daje się zaobserwować nie tyle szpilki, co zaokrąglenia na przednim zboczach przebiegu. Kilka przykładów pokazano na **rysunku 8**. Jeśli przy częstotliwości przebiegu równej 1kHz na wyjściu wystąpi przebieg jak na rysunku 8b, to znaczy, że popełniono jakiś karygodny błąd i wzmacniacz przenosi tylko małe częstotliwości, poniżej 1kHz, a wyższych zupełnie nie przenosi. Przebieg, jak na rysunku 8a świadczy, że pasmo nie jest zbyt szerokie, ale być może wystarczy w praktyce. Przebieg z rysunku 8c pokazuje, iż w zakresie wysokich częstotliwości wzmocnienie jest mniejsze i tym samym pasmo też nie jest rewelacyjne. Być może pasmo sięga nawet granicy 20kHz, ale dobry wzmacniacz powinien być szybki i mieć znacznie szersze pasmo. Wszelkie zaokrąglenia wierzchołków wskazują na mniejsze wzmocnienie dla najwyższych częstotliwości.

Czy można tu dać szczegółowe wskazówki odnośnie interpretacji zniekształceń z rysunków 6...8, czyli ustalenia przyczyny takiego stanu rzeczy?

Jest to bardzo trudne, bowiem w grę wchodzi tu nie tylko przyjęta umownie (górną) częstotliwość graniczna, czyli częstotliwość przy której wzmocnienie zmniejsza się (lub zwiększa) o 3dB w stosunku do wzmocnienia przy częstotliwości odniesienia (zwykle 1kHz). Na kształt impulsu na wyjściu wzmacniacza mają też znaczny wpływ szybkość opadania charakterystyki w zakresie wysokich częstotliwości, a także charakterystyki fazowe.

Przykładowo na **rysunku 9** możesz zobaczyć jak wygląda charakterystyka częstotliwościowa dwóch wzmacniaczy o takiej samej górnej częstotliwości granicznej, równej 20kHz. Częstotliwość graniczna jest wprawdzie taka sama, ale



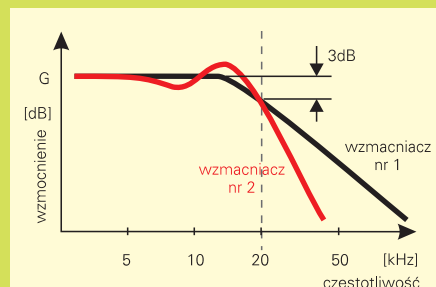
Rys. 8. Przebiegi świadczące o ograniczeniu pasma od góry.

szybkość jej opadania jest inna (różne są też niepokazane charakterystyki fazowe) – w efekcie obraz przebiegu prostokątnego na wyjściu obu wzmacniaczy będzie nieco inny – w przypadku wzmacniacza nr 2 wystąpią niewielkie zakłócenia wierzchołka impulsu, najprawdopodobniej takie, jak na rysunku 7b. To zagadnienie jest jednak zbyt skomplikowane, jak dla naszych praktycznych rozważań. Ogólnie biorąc, szerokość tych szpilek lub zaokrąglenia wskazuje na zakres częstotliwości przenoszonych przez wzmacniacz i na przebieg charakterystyki w zakresie najwyższych częstotliwości. Tyle wystarczy w praktyce. Resztę trzeba i tak poznać metodą prób, bowiem zagadnienie konstruowania wzmacniaczy mocy audio wysokiej klasy wcale nie jest takie proste, jak mogłoby się wydawać, i na pewno nie wystarczy tu wiedza z książek.

Przy próbach warto sprawdzić, jak zmienia się obraz tych zniekształceń przy zwiększeniu częstotliwości do 10kHz.

Do tej pory mówiliśmy, jak obraz przebiegu prostokątnego na wyjściu wskazuje na pasmo przenoszenia w zakresie wysokich częstotliwości – są to bardzo cenne informacje, trudne do uzyskania innymi metodami, ale niestety też dość trudne, jeśli chodzi o ustalenie przyczyn nieprawidłowości. Przyczyn, przynajmniej na początku, trzeba szukać metodą prób i błędów.

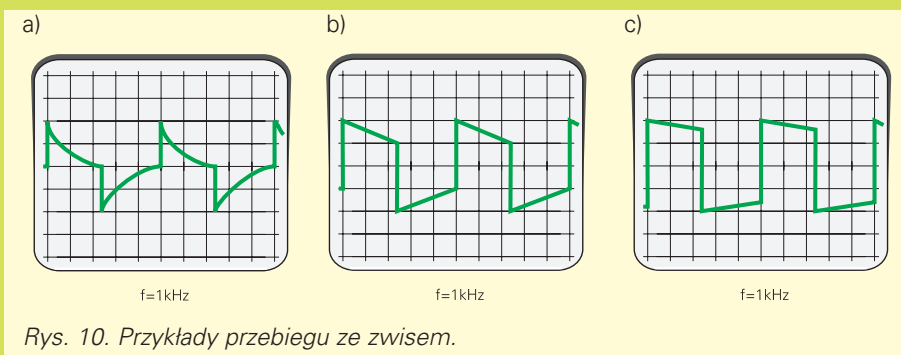
Ale kształt przebiegu na wyjściu niesie też informację, jak wygląda pasmo przenoszenia wzmacniacza od strony najniższych częstotliwości. Na rysunkach 6 i 7 pokazano przykłady wystąpienia przerostów. Natomiast na **rysunku 10** pokazano przykłady tak zwanego zwisu. Ry-



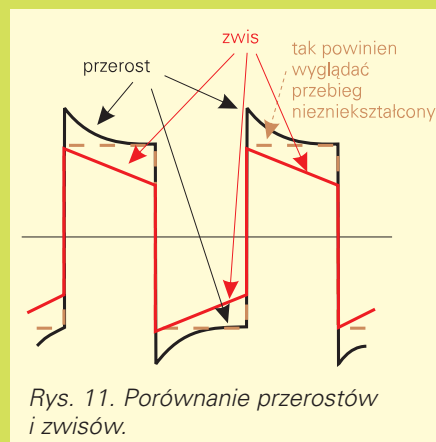
Rys. 9. Charakterystyki częstotliwościowe dwóch wzmacniaczy.

**sunek 11** pokazuje, czym zwis tym różni się od przerostu. Dla ułatwienia w obu przypadkach zaznaczono, jak powinien wyglądać prawidłowy przebieg prostokątny. Może się wydawać, że trudno odróżnić oba przypadki. Nie jest tak źle. W praktyce jest to łatwe, ponieważ zazwyczaj obserwacje przy częstotliwości przebiegu równej 1kHz potem możemy sprawdzić przy 100Hz i 10kHz. Za przerosty odpowiedzialne są „górkę” w górnym zakresie charakterystyki częstotliwościowej, natomiast za zwis – zbyt małe pasmo przenoszenia od strony niższych częstotliwości.

Trzeba zrozumieć, kiedy powstaje zwis. Nietrudno się domyślić, że przebieg z rysunku 10 powstanie, gdy przebieg prostokątny przepuścimy przez... prosty filtr górnoprzepustowy, pokazany na **rysunku 12**. W zależności od częstotliwości granicznej filtra, czyli od wartości stałej czasowej otrzymamy różne przebiegi. Przebieg z rysunku 10a powstanie, gdy stała czasowa RC będzie bardzo mała,

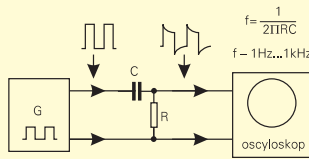


Rys. 10. Przykłady przebiegu ze zwisem.

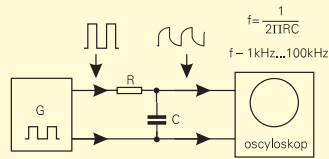


Rys. 11. Porównanie przerostów i zwisów.

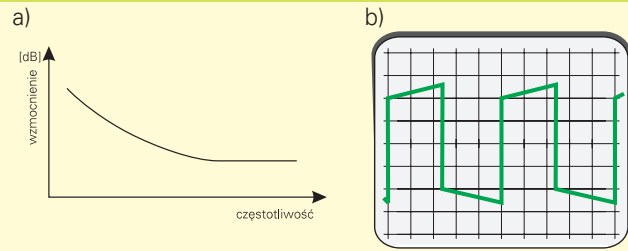




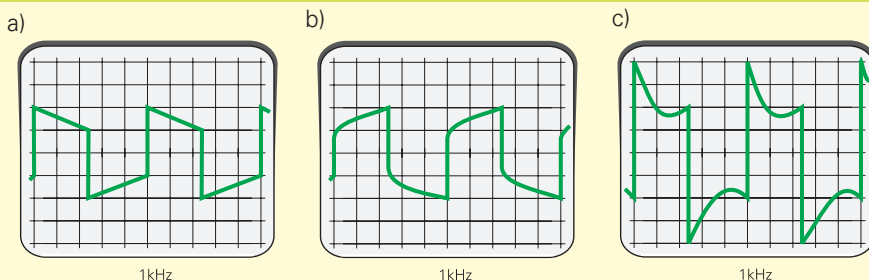
Rys. 12. Badanie filtra górnoprzepustowego.



Rys. 13. Badanie filtra dolnoprzepustowego.



Rys. 14. Charakterystyka i przebiegi przy podbiciu niskich częstotliwości.



Rys. 15. Przebiegi przy różnym ustawieniu regulatorów barwy dźwięku.

czyli częstotliwość graniczna – duża. Czym niższa będzie częstotliwość graniczna, tym bardziej przebieg będzie zbliżony do prostokątnego.

Już wiemy: zwis w przebiegu wyjściowym świadczy o dolnej częstotliwości granicznej wzmacniacza. Współczesne wzmacniacze mają częstotliwość graniczną rzędu 20Hz i mniej. W takiej sytuacji przebieg prostokątny o częstotliwości 1kHz nie powinien mieć widocznego zwisu – jeśli zwis jest znaczny, należy dokładnie sprawdzić wzmocnienie w zakresie małych częstotliwości.

Dla nabrania wprawy w ocenie górnej i dolnej częstotliwości granicznej wzmacniacza, warto przeprowadzić eksperymenty z filtrami górnoprzepustowym z rysunku 12 i dolnoprzepustowym z rysunku 13. Należy dobrać wartości RC dla kilku różnych częstotliwości i sprawdzić kształt przebiegu na wyjściu. Przypominam, że częstotliwość graniczną obliczamy w obu wypadkach ze wzoru:

$$f_g = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{0,159}{RC}$$

Rezystor powinien mieć oporność rzędu od jednego do kilkudziesięciu kiloomów, a kondensatory mogą być o dowolnej pojemności.

Przeprowadzenia takich doświadczeń będzie później, przy pomiarach wzmacniacza, znakomitą pomocą w szybkim określeniu obu częstotliwości granicznych po jednym spojrzeniu na ekran oscyloskopu. Dla zwiększenia dokładności warto takie treningi przeprowadzić dla trzech częstotliwości: 100Hz, 1kHz i 10kHz.

Należy jeszcze wspomnieć, jak wpływa na kształt impulsu wyjściowego podbicie charakterystyki w zakresie niskich

częstotliwości. Na rysunku 14a pokazano kształt charakterystyki częstotliwościowej, a na rysunku 14b – przebieg na wyjściu wzmacniacza.

Przenumerowaliśmy EdW otrzymaliśmy w maju płytkę przedwzmacniacza z układem regulacji barwy dźwięku. Układ ten znakomicie pomoże nabrać wprawy w ocenie pasma metodą „na oko”. Zachęcam do praktycznych eksperymentów. Miałem przygotować dla leniwych gotowe rysunki przedstawiające zależność kształtu przebiegu na wyjściu od ustawienia pokręteł oby potencjometrów regulacji barwy. Zrezygnowałem z tego pomysłu (a może to ja okazałem się leniwy) i przygotowałem tylko rysunki przebiegów. Zadaniem Czytelników jest określenie w jakich pozycjach regulatorów uzyskuje się przebiegi podobne do pokazanych na rysunku 15.

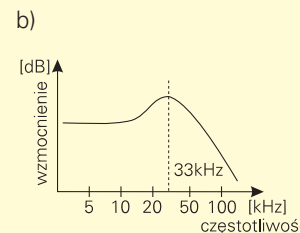
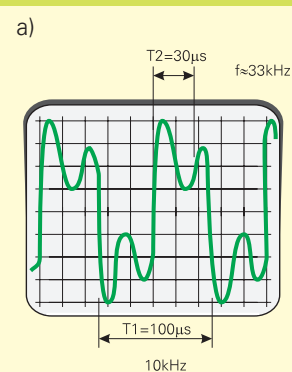
Do tej pory omówiłem przypadki, które można określić mianem klasycznych. Do takich klasycznych przypadków trzeba jeszcze zaliczyć obrazki z rysunków 16 i 17. Pojawianie się na grzbiecie przebiegu prostokątnego tłumionej sinusoidy, świadczy o podbiciu charakterystyki częstotliwościowej w zakresie wyższych częstotliwości. Określając częstotliwość pojawiających się drgań można dokładnie określić, dla jakiej częstotli-

wości to podbicie jest największe. Wielkość pierwszego przerostu świadczy o wysokości podbicia charakterystyki, natomiast szybkość tłumienia tych dodatkowych drgań świadczy między innymi o skłonności wzmacniacza do samowzbudzenia się na tej częstotliwości. Ilustrują to rysunki 16 i 17.

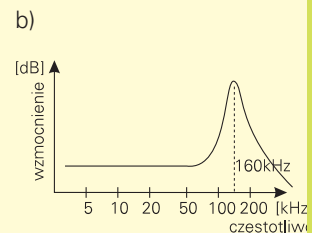
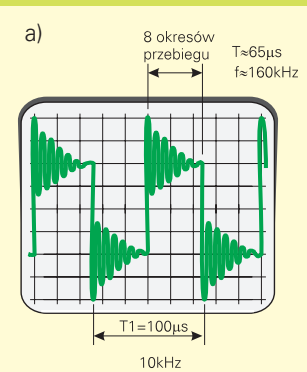
## Inne przypadki

Życie zawsze jest bogatsze, niż jakiegokolwiek teoretyczne przewidywania. Spotyka się więc jeszcze inne przypadki dziwnego zachowania wzmacniacza, zwłaszcza tych wykonywanych z elementów dyskretnych, a nie z układów scalonych. Na przykład bez obciążenia wzmacniacz zachowuje się bez zarzutu. Ale po dołączeniu obciążenia i przy mocach bliskich maksymalnej, na części przebiegu pojawia się wzbudzenie o częstotliwości setek kiloherców lub jeszcze większej. Stosowny obrazek pokazano na rysunku 18.

Czasami częściowe wzbudzenie pojawia się tylko na części przebiegu i to tylko przy mocach wyjściowych zbliżonych do mocy maksymalnej – przykład zobaczysz na rysunku 19.



Rys. 16. Przykład podbicia w górnej części charakterystyki częstotliwościowej.



Rys. 17. Przykład podbicia w górnej części charakterystyki częstotliwościowej.

Niekiedy wzmacniacz niejednakowo przenosi zbrocza przebiegu – rosnące i malejące – przykład na **rysunku 20**.

Dość często spotyka się sytuację, że wzmacniacz w sposób ciągły wzbudza się na wysokiej częstotliwości (dziesiątki i setki kiloherców). Nawet przy braku sygnału na wejściu, na wyjściu pojawia się pasożytniczy przebieg o amplitudzie rzędu kilku woltów. Nie słychać go w głośniku, bo ma zbyt wysoką częstotliwość. Trzeba przy tym zaznaczyć, że taki wzmacniacz z wzbudzeniem w miarę prawidłowo przenosi sygnały o częstotliwościach akustycznych.

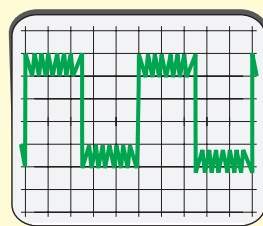
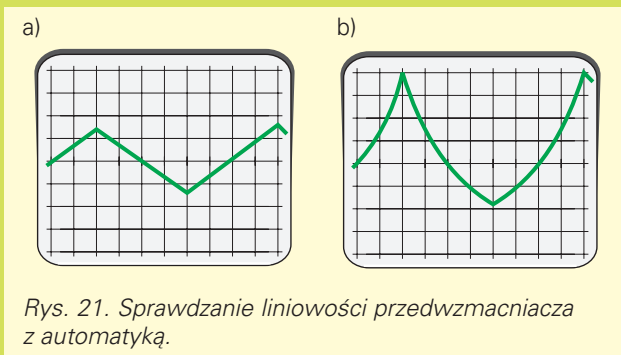
Czy takie zjawisko jest groźne?

Zazwyczaj obecność takiego wzbudzenia powoduje znaczny wzrost poziomu szumów – dlatego jeśli wzmacniacz szumi bardziej, niż należało oczekiwać, konieczne trzeba sprawdzić, czy nie wzbudził się on na wysokiej, niesłyszalnej częstotliwości. Ponadto takie wzbudzenie powoduje znaczny wzrost poboru prądu, a niekiedy nawet prowadzi do uszkodzenia wzmacniacza wskutek przegrzania.

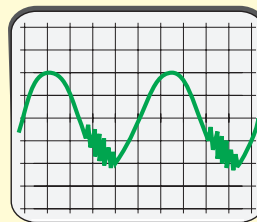
Znów nie mogę podać recepty na usunięcie takich kłopotów, bowiem nie sposób ani przewidzieć, ani nawet wymienić wszystkich możliwych przyczyn i wchodzących w grę czynników. Chciałbym tylko jeszcze raz zwrócić uwagę na kwestie prowadzenia masy i odsprężania zasilania. W niektórych przypadkach na skłonność do wzbudzenia ma wpływ coś tak wydawałoby się nieistotnego, jak rezystancje i reaktancje z którymi współpracuje wejście wzmacniacza. Badania i poszukiwania przyczyn niewłaściwej pracy trzeba przeprowadzać w warunkach naturalnych, to znaczy przy dołączeniu głośnika (kolumny) oryginalnym przewodem. Niektóre amatorskie wzmacniacze mocy potrafią się wzbudzać po dołączeniu kilkumetrowego kabla (który stanowi pojemność rzędu kilkuset pikofaradów) i (lub) głośnika, który nie jest przecież czystą reaktancją, ale stanowi też pewną indukcyjność.

## Zniekształcenia nieliniowe

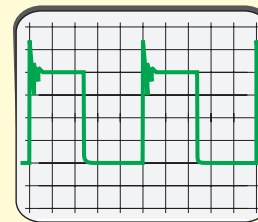
Opisywanymi tu sposobami nie można dokładnie zmierzyć zniekształceń



Rys. 18. Stałe wzbudzenie wysokiej częstotliwości na tle sygnału testowego.



Rys. 19. Nietypowy przykład wzbudzenia się wzmacniacza.



Rys. 20. Nietypowy przykład wzbudzenia się wzmacniacza.

nieliniowych. W typowym współczesnym wzmacniaczu (scalonym) mają one wartość poniżej 1%, o ile tylko nie jest on przesterowany. Tak małych zniekształceń nie sposób zmierzyć oscyloskopem. Aby upewnić się, że zniekształcenia nie są większe, wystarczy obejrzeć jak na wyjściu wygląda przebieg trójkątny – jeśli zbrocza trójkąta są liniami prostymi, zniekształcenia nieliniowe są niewielkie.

Obserwację tę należy przeprowadzić przy częstotliwości 1kHz, pod obciążeniem, przy mocy wyjściowej zbliżonej do maksymalnej (ale bez obcinania wierzchołków trójkąta).

## Przedwzmacniacze

W przedwzmacniaczach nie mierzy się mocy maksymalnej. Wszystkie inne pomiary dokonuje się jak w przypadku wzmacniaczy mocy z tym, że zwykle nie obciąża się wyjścia.

Przy badaniu przedwzmacniaczy z układem automatycznej regulacji wzmocnienia (ARW) warto sprawdzić liniowość, a właściwie poziom zniekształceń nieliniowych. Niektóre proste rozwiązania układu automatyki, oparte na tranzystorach bipolarnych, a nawet na tranzystorach polowych złączowych wprowadzają znaczne zniekształcenia, zwłaszcza przy większych poziomach sygnałów wejściowych.

Do badania liniowości doskonale nadaje się przebieg trójkątny. W praktyce właśnie za pomocą tego przebiegu określa się nie tyle poziom zniekształceń, a raczej maksymalne napięcie wejściowe,

przy którym przebieg nie jest jeszcze zbyt poważnie odkształcony. Przy podaniu na wejście przebiegu trójkątnego o małej amplitudzie (rzędu pojedynczych miliwoltów), na wyjściu pojawia się prawidłowy przebieg. Przy zwiększaniu poziomu sygnału na wejściu stopniowo przebieg wyjściowy ule-

ga odkształceniu. Zazwyczaj wygląda to, jak na **rysunku 21**. Obserwując przebieg wyjściowy można łatwo określić, w jakim zakresie amplitud wejściowych przebieg nie jest w zauważalnym stopniu zdeformowany.

## Zakończenie

Podanie wszystkich informacji związanych z praktycznym wykorzystaniem generatora funkcji i oscyloskopu nie jest możliwe nawet w ramach obszernego, artykułu. Artykuł ten miał zasignalizować, jak użytecznym przyrządem jest generator funkcji. Podane sposoby pozwalają określić parametry wzmacniaczy z wystarczającą w praktyce dokładnością. Większa dokładność rzadko jest wymagana. Interpretacja przebiegów pojawiających się na wyjściu pozwala określić przyczynę niesprawności. Nie jest to jednak łatwe – doświadczenia tak trzeba nabrać w działaniu, przy badaniu i testowaniu urządzeń. Zachęcam więc do przeprowadzenia doświadczeń.

Piotr Górecki

## Konkurs

Ogłaszam konkurs dla początkujących – należy określić ustawienia potencjometrów, przy których uzyskuje się przebiegi podobne, jak na rysunkach 15a, 15b i 15c. W grę wchodzi trzy pozycje każdego potencjometru: ustawienie środkowe, maksymalne tłumienie, lub maksymalne wypuklenie (podbicie) tonów wysokich lub niskich. Ze względu na dużą ilość listów kierowanych do AVT, proszę o nadsyłanie rozwiązań na pocztówkach lub kartach pocztowych z dopiskiem „FUNKCJE”. Rozwiązania nadesłane w listach (w kopertach) nie będą brały w losowaniu nagród-niespodzianek.