

W poprzednich numerach EP przedstawiliśmy moduł programowanego wzmacniacza pomiarowego oraz wzmacniacz ultraniskoszumny. Dziś przedstawiamy kolejny blok - programowalny tłumik dekadowy.

Programowalny tłumik dekadowy kit AVT-238

Wydawałoby się, że nie ma nic prostszego, niż zmniejszenie sygnału: parę rezystorów, do tego przełącznik i koniec zabawy.

W rzeczywistości wcale tak nie jest. W artykule oprócz opisu modułu przedstawiamy praktyczną analizę podstawowych trudności napotykanych przy konstruowaniu tłumików.

Podane wiadomości pomogą ustrzec się typowych błędów i oszczędzą wielu rozczarowań przy konstruowaniu własnej aparatury.

W naszej serii modułów pomiarowych przedstawiamy następną propozycję - wysokoomowy tłumik dekadowy.

Nasi stali Czytelnicy zauważyli zapewne, iż pomalu budujemy zestaw pomiarowy. Istotnie, opisywany dalej moduł przewidziany jest w pierwszym rzędzie do laboratoryjnego multimetru z przetwornikiem True RMS, który zaprezentujemy w jednym z kolejnych numerów EP. Oprócz tego tłumik ten znajdzie szereg zastosowań w układach automatyki przemysłowej oraz w rozmaitych urządzeniach pomiarowych, które będziemy sukcesywnie prezentować.

W większości układów pomiarowych występuje tłumik wejściowy, który umożliwia pomiar sygnałów o dużych amplitudach. Dobry tłumik wejściowy powinien mieć jak największą impedancję żeby nie obciążał badanego obwodu; współczynniki tłumienia na poszczególnych zakresach powinny być dobrane z dużą dokładnością. Tłumik winien być też skompensowany częstotliwościowo, to znaczy zachowywać stałe wartości współczynników tłumienia w jak najszerszym pasmie częstotliwości.

W praktyce wcale nie jest to takie proste do uzyskania.

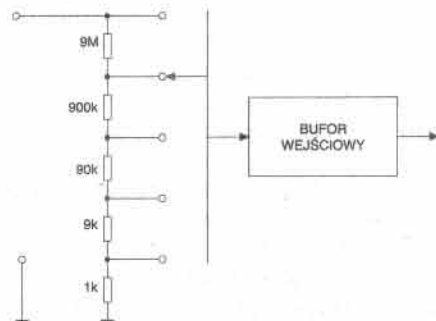
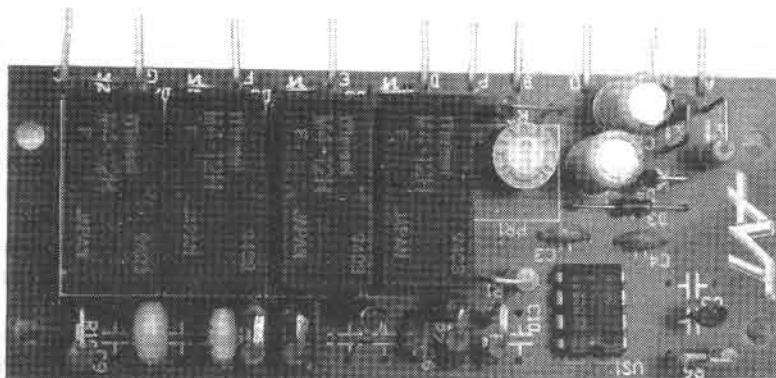
Najprostszy układ tłumika dekadowego pokazany jest na rysunku 1.

Drabinki rezystorów o takich wartościach są stosowane w wielu popularnych multimetrach cyfrowych. Takie proste rozwiązanie pięknie wygląda tylko na papierze, w rzeczywistości ma jednak szereg poważnych wad. W każdym rzeczywistym układzie występują bowiem szkodliwe pojem-

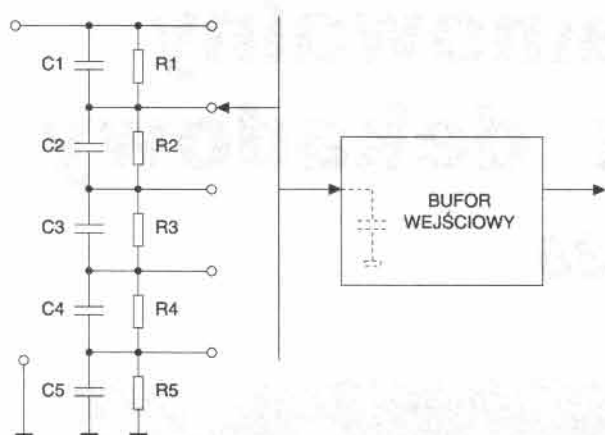
ności montażowe rzędu nawet kilku pikofarów. Ponadto układ buforowy obciążający tłumik (tranzystor, układ scalony) ma jakąś pojemność, często o rząd wielkości większą. Jakies niewielkie pojemności występują też między otwartymi stykami przełącznika.

W sumie pojawia się szereg szkodliwych pojemności między poszczególnymi punktami przełącznika oraz między tymi punktami a masą. W sumie pojemności te wraz z dużymi rezystancjami tłumika tworzą filtry dolnoprzepustowe znacznie ograniczające użyteczne pasmo częstotliwości. Trzeba wiedzieć,

Popularne multimetry cyfrowe nie nadają się do pomiaru napięć zmiennych o częstotliwościach z zakresu pasma akustycznego. Na zakresach napięć zmiennych ich pasmo użyteczne zwykle nie przekracza kilkuset herców - przeznaczone są do pomiaru przebiegów o częstotliwości sieci.



Rys. 1. Najprostszy tłumik dekadowy.



Rys. 2. Tłumik z elementami kompensacji częstotliwościowej.

że właśnie z takich względów popularne multimetry (nawet te drogie) mają na poszczególnych zakresach pomiarowych napięcia zmiennego różne pasmo. Pomimo tego, że w poszczególnych przyrządach stosuje się odmienne rozwiązania układów tłumików, to generalnie popularne multimetry cyfrowe przeznaczone są do pomiaru napięć zmiennych o częstotliwości sieci 50Hz i nie nadają się do pomiaru napięć w zakresie pasma akustycznego. Na przykład jeden z najdroższych przenośnych multimetrów Metex M-4650CR ma gwarantowane pasmo przenoszenia przy pomiarze napięć zmiennych tylko 40 - 400Hz!

Ponieważ zwykły rezystancyjny dzielnik napięcia nie zapewnia jednakowego tłumienia w szerszym pasmie częstotliwości, konieczne jest dołączenie elementów reaktancyjnych - najczęściej są to kondensatory. Dla większych częstotliwości wymagane tłumienie ustalone jest wtedy przez dzielnik pojemnościowy, a nie rezystancyjny! Nasz dzielnik wygląda wtedy tak, jak na rysunku 2.

I znowu na papierze wygląda to bardzo prosto. Tłumik jest skompensowany gdy dołączone do poszczególnych rezystancji pojemności dają taką samą stałą czasową ($R_1C_1 = R_2C_2 = \dots = R_5C_5$). Do przyrządów cyfrowych stosuje się tłumiki dające tłumienie 1:10:100:100... Przyrządy wskazówkowe mają zwykle sekwencję 1:3:10:30:... lub 1:3,16:10:31,6:... bądź też 1:2:5:10:20:... Przy różnej ilości stopni praktyczne dobranie wszystkich pojemności nie jest

w zależności od zastosowanych podzespołów i sposobu montażu, więc nie sposób podać prostej recepty na metodę przeprowadzenia kompensacji. Stąd w takim prostym układzie uzyskanie zadowalających parametrów w praktyce jest bardzo trudne. Nie koniec na tym!

Drugim praktycznym kłopotem spotykanym przy tego rodzaju konstrukcjach jest wrażliwość na indukowane zakłócenia zewnętrzne.

Każdy centymetr przewodu, obojętnie czy jest gdziekolwiek podłączony, czy nie, działa jak antena. Indukują się w nim zakłócenia radiowe, a także przydźwięki sieciowe. Każdy taki kawałek przewodu możemy więc traktować jako źródło napięcia zmiennego (mierzonego w stosunku do ziemi) o pewnej, wielkiej zresztą impedancji wewnętrznej. Gdy impedancja widziana między takim przewodem a ziemią (masą) jest niewielka, szkodliwe sygnały są po prostu zwierane do masy. Ponieważ w naszym tłumiku występują duże impedancje więc indukowane zakłócenia nie

takie łatwe, jak wynikałoby z prostego matematycznego wyliczenia. Dzielnik obciążamy przecież impedancją wejściową bufora, który jest dołączany do różnych punktów, ponadto występuje tu szereg szkodliwych pojemności montażowych, a przy częstotliwościach rzędu megaherców trzeba także uwzględniać indukcyjności. Ponieważ wszystkie te czynniki zmieniają się

są w pełni likwidowane i mogą stanowić poważny problem. Zwykle najczęściej kłopotów wynika z obecności transformatora sieciowego, który powoduje indukowanie przebiegów o częstotliwości sieci i jej harmonicznych.

Ktoś może powie, iż można się ich pozbyć stosując ekranowanie. To prawda, ale znów łatwiej to powiedzieć niż zrobić. W warunkach amatorskich zwykle nie mamy odpowiednich materiałów i możliwości wykonawczych, a od dawna w publikacjach amatorskich proponuje się najczęściej tu nieśmiertelną „blachę z puszek od konserw“.

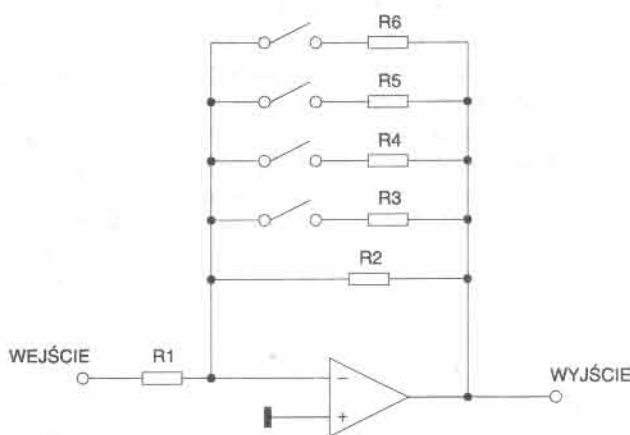
W przedstawionych rozważaniach pokazaliśmy zaledwie wierzchołek góry lodowej - trudności zwykle bywają jeszcze większe. Na przykład dzielnik wejściowy do oscyloskopu oprócz szerokiego pasma musi mieć na wszyst-

Przy praktycznym konstruowaniu tłumików o dużej rezystancji występują dwie główne przeszkody:

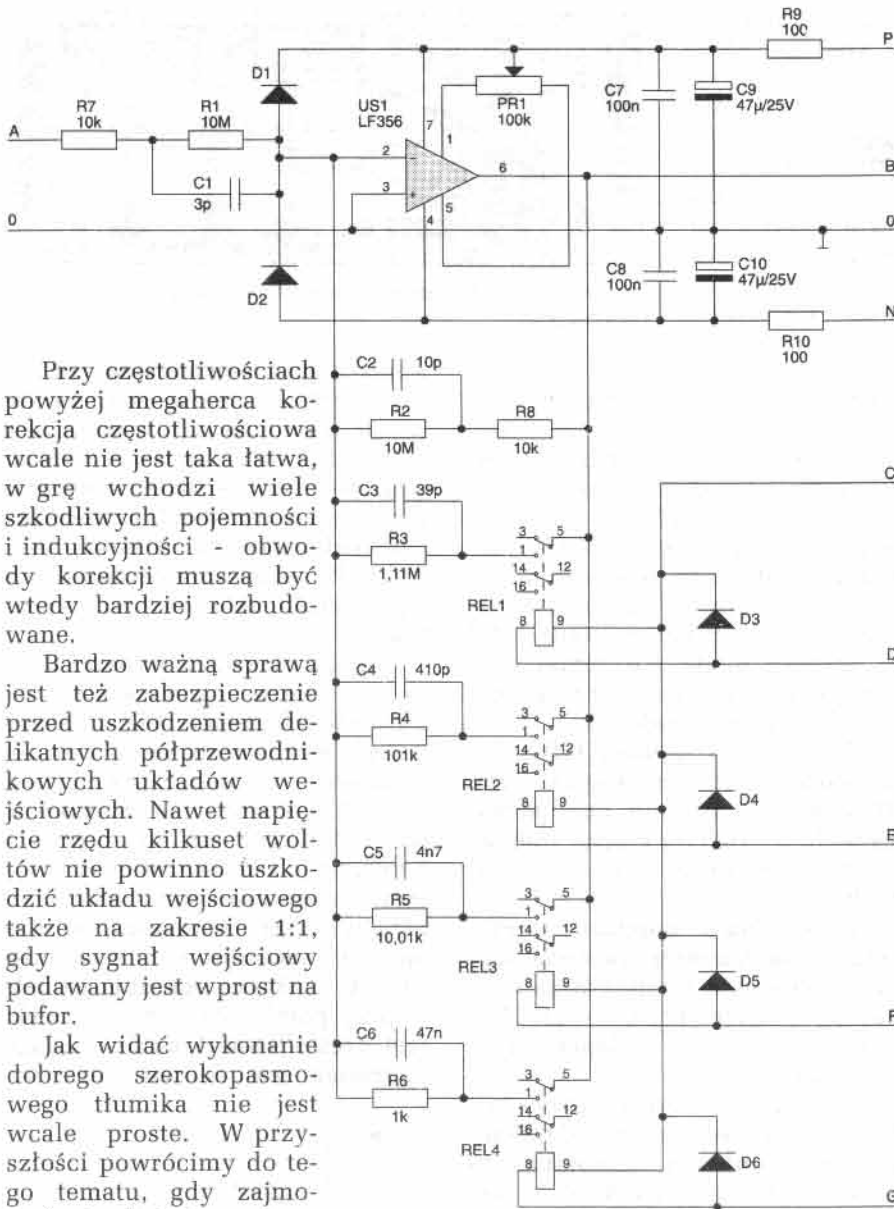
- trudności z kompensacją częstotliwościową dla uzyskania szerokiego pasma częstotliwości,
- kłopoty z zakłóceniami zewnętrznymi i przydźwiękiem.

kich zakresach jednakową impedancję widzianą od strony wejścia. Umożliwia to współpracę z zewnętrznymi sondami biernymi RC (o tłumieniu 1:10 lub 1:100).

Gdyby impedancja wejściowa nie była jednakowa, wtedy należałoby na każdym zakresie powtarzać korekcję częstotliwościową dołączonej sondy, co jest nie do przyjęcia w praktyce.



Rys. 3. Uproszczony schemat tłumika.



Rys. 4. Schemat elektryczny modułu.

Przy częstotliwościach powyżej megaherca korekcja częstotliwościowa wcale nie jest taka łatwa, w grę wchodzi wiele szkodliwych pojemności i indukcyjności - obwody korekcji muszą być wtedy bardziej rozbudowane.

Bardzo ważną sprawą jest też zabezpieczenie przed uszkodzeniem delikatnych półprzewodnikowych układów wejściowych. Nawet napięcie rzędu kilkuset woltów nie powinno uszkodzić układu wejściowego także w zakresie 1:1, gdy sygnał wejściowy podawany jest wprost na bufor.

Jak widać wykonanie dobrego szerokopasmowego tłumika nie jest wcale proste. W przyszłości powrócimy do tego tematu, gdy zajmować się będziemy konstrukcją oscyloskopu cyfrowego. Natomiast opisany dalej moduł tłumika przeznaczony jest na zakres częstotliwości do co najwyżej kilkuset kiloherców.

Opis układu

Dla zminimalizowania wpływu indukowanych zakłóceń zrezygnowano z zewnętrznego przełącznika dołączanego za pośrednictwem przewodów. Zamiast tego zastosowano przekaźniki. Uproszczony schemat pokazano na rysunku 3. Jak widać przyjęta koncepcja jest inna niż podana wcześniej. Przyjęte rozwiązanie zapewnia dobre zabezpieczenie przed uszkodzeniem - między wejściem, a delikatnym układem scalonym znajduje się zawsze rezystor o war-

tości 10MΩ. Nawet przy wysokich napięciach prąd wejściowy będzie niewielki.

Nasz tłumik powinien być układem jak najbardziej uniwersalnym, więc zdecydowaliśmy się na tłumik dekadowy. W razie potrzeby dla uzyskania wartości pośrednich można za tłumikiem dekadowym umieścić moduł programowanego wzmacniacza AVT-199 o wzmacnieniu np: 2 i 5. W rozwiązaniu pokazanym na rysunku 3 rezystor R2 jest dołączony na stałe, pozwala to „zaoszczędzić” jeden przekaźnik. Przy zastosowaniu czterech przekaźników możliwe jest uzyskanie tłumienia od 1:1 aż do 1:10000, co teoretycznie umożliwiałoby pomiar napięć do

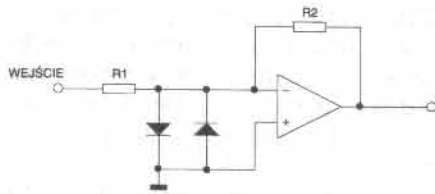
2kV (przy czułości współpracującego wskaźnika 200mV). Większość dostępnych rezystorów ma jednak podane maksymalne dopuszczalne napięcie pracy w granicach 200...400V. Nie wolno o tym zapominać, bo groziłoby to przebiciem i poważnymi uszkodzeniami, nie mówiąc już o bezpieczeństwie pracy. Gdyby moduł miał pracować przy napięciach ponad 200V należałoby rezystor R1 złożyć z dwóch albo trzech o zbliżonych wartościach. Jednak nawet wtedy z uwagi na rozmieszczenie elementów na płytce drukowanej układ nie powinien być w żadnym wypadku używany do pomiaru napięć przekraczających napięcie sieci energetycznej.

Rezystory R3 i R4 muszą mieć „nieokrągłe” rezystancje, ale są to wartości typowe dla takich dzielników. W razie potrzeby rezystancje te mogą być uzyskane przez złożone dwóch rezystorów. Koniecznie muszą to być stabilne rezystory metalowe (metalizowane), a nie węglowe.

W modelu pokazanym na fotografii zastosowano firmowe przekaźniki M4-12H firmy Meisei. Na rynku można oczywiście kupić taniej przekaźniki o takich samych wymiarach i rozstawie wyprowadzeń.

W naszym module krytycznym parametrem są pojemności między stykami. Dla przekaźnika M4 producent podaje pojemność między otwartymi stykami około 0,7pF; między cewką a stykami około 1,0pF; między sąsiednimi torami około 0,9pF.

Inne firmy wcale nie podają tych pojemności, ograniczając się do rezystancji styku i wytrzymałości napięciowej. Ale na przykład polski wytwórca enigmatycznie „gwarantuje”, że pojemność styków (ale nie podaje która) nie przekroczy 6pF! Serdeczne dzięki za taki luksus - pojemność 5pF przy 100kHz stanowi reaktancję tylko około 300kΩ! A my mamy w układzie rezystancje rzędu megaomów. Przy większych częstotliwościach powinniśmy więc w zasadzie zastosować specjalne przekaźniki w.cz. o jeszcze mniejszych pojemnościach. W opisywanym prostym układzie pozostaniemy przy popularnych przekaźnikach mając świadomość występu-



Rys. 5. Błędne włączenie diod zabezpieczających.

jących ograniczeń.

W katalogu przekaźników Meisei oprócz wspomnianego typu M4 znajdujemy także szereg oznaczony M1B. Można je stosować zamiennie; parametry styków są takie same, różna jest tylko moc potrzebna do uruchomienia przekaźnika (M4 -150mW, M1B - ponad 500mW). Oprócz tego w katalogu znajdujemy kolejne dwie rodziny o takich samych wymiarach: M4S i M1BS. Te przekaźniki słabiej nadają się do naszego układu. Pojemności są wprawdzie takie same, ale zastosowano inny materiał styków i zalecane minimalne wartości prądu i napięcia wynoszą 1mA, 1V DC (dla M4 i M1B - 0,01mA, 10mV DC).

Jak widać typ przekaźnika ma też swoje znaczenie. Dalsze wiadomości na ten temat zamieścimy za kilka miesięcy w jednym z odcinków Notatnika.

Pełny schemat elektryczny modułu pokazany jest na **rysunku 4**. Objaśnienia wymaga jeszcze obecność rezystora R7. W praktyce dla uzyskania wymaganego pasma konieczne jest stosowanie kondensatora C1. Oczywiście także on powinien mieć odpowiednio duże napięcie pracy, minimum 630V, najlepiej 1kV. Rezystor R7 ogranicza prąd ładowania tego kondensatora w momencie dołączenia na wejście napięcia o dużej wartości. Zapewnia przez to łagodniejsze warunki pracy diodom zabezpieczającym D1 i D2. W naszym w sumie prostym i tanim układzie w roli zabezpieczenia zastosowaliśmy jedne z najpopularniejszych diod - 1N4148. Mają one niewielką pojemność, a w naszym układzie właśnie pojemności są krytyczne. Przy ostrzejszych wymaganiach należałoby zastosować diody o jeszcze mniejszej pojemności własnej. Błędem byłoby też włączenie diod zabezpieczających tak jak na **rysunku 5**. Mogliśmy sobie na to pozwolić w układzie wzmacniacza ultras-

koszownego z kostką SSM-2017, gdzie rezystancja wejściowa jest stosunkowo niska, ale nie w układzie wysokoomowego tłumika. Tam źródło sygnału z założenia musi mieć niską impedancję, więc parę pikofarów dodane do pojemności wejściowej nie gra żadnej roli. W prezentowanym układzie tłumika przy większych częstotliwościach każdy dodatkowy pikofarad ma znaczenie. Dlatego diody muszą być włączone w kierunku zaporowym - przy wstecznym napięciu polaryzującym rzędu 15V pojemność diody jest mniej więcej o rząd wielkości mniejsza niż w układzie z **rysunku 5**.

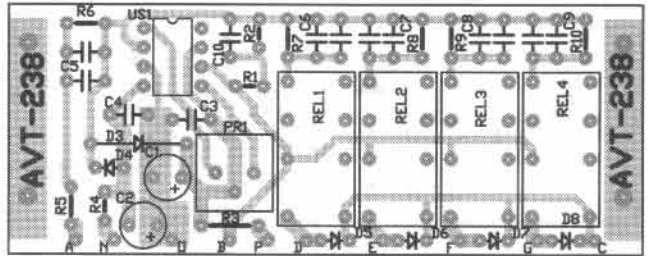
Rezystor R8 dodano tylko dla symetrii z układem wejściowym. W praktyce, gdy nie jest wymagana duża precyzja można zamiast niego montować zworę (błąd 0,1%).

Potencjometr montażowy PR1 umożliwi korekcję napięcia niezrównoważenia wzmacniacza operacyjnego. Elementy C7 - C10, R9, R10 tworzą filtr odsprzegający zasilanie.

Obwód sterowania przekaźnikami jest galwanicznie oddzielony od reszty układu. Umożliwi to stosowanie przekaźników o różnym napięciu pracy (typowo 12V DC). Do punktu oznaczonego C należy dołączać dodatni biegun napięcia zasilającego.

Montaż i uruchomienie

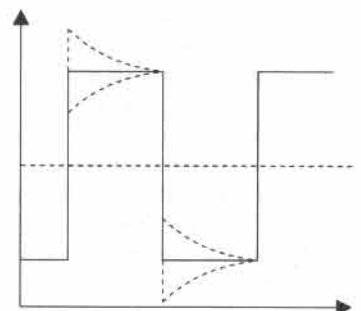
Montaż układu na płycie drukowanej pokazanej na **rysunku 6** jest klasyczny, nie sprawi trudności. Należy zmontować wszystkie elementy: najpierw biernie, potem czynne. Po zmontowaniu należy sprawdzić działanie tłumika na poszczególnych zakresach podając jakikolwiek przebieg zmienny na wejście A i obserwując przebieg na wyjściu B. Należy uruchomić po kolei przekaźniki podając napięcie 12V między punkt C (plus) i kolejne punkty D, E, F, G (minus). Trzeba też przeprowadzić korekcję wejściowego napięcia niezrównoważenia



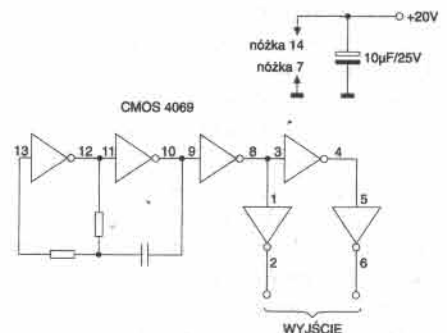
Rys. 6. Rozmieszczenie elementów na płycie drukowanej.

wzmacniacza operacyjnego za pomocą potencjometru PR1, na zakresie tłumienia 1:1 (przekaźniki nieczynne) przy wejściu A zwartym do masy - należy ustawić napięcie na wyjściu B równe zero z dokładnością do ułamka miliwolta. Po takim sprawdzeniu i wyregulowaniu układ jest gotowy do pracy.

Należy tu jednak zwrócić uwagę na pewne ograniczenia: dokładność tłumienia dla napięcia stałego wyznaczona jest przez dokładność doboru rezystorów R1...R6. W wersji standardowej (kit AVT-238) są to rezystory o tolerancji 1%. Dokładność w zakresie częstotliwości rzędu kiloherców zależy natomiast od staranności doboru kondensatorów C1...C6. Praktyka pokazuje jednak, iż przy pomiarach napięć o większej częstotliwości bardzo rzadko potrzebna jest bardzo duża do-



Rys. 7. Prawidłowy kształt przebiegu wyjściowego.



Rys. 8. Generator testowy.

kładność. Dlatego w wersji standardowej, najprostszej nie przewiduje się indywidualnego dobierania kondensatorów kompensujących - stosuje się kondensatory o tolerancji 5%. Dokładność tłumienia w zakresie najwyższych częstotliwości użytkowych będzie więc gorsza, ale za to uniknie się pracochłonnego dobierania kondensatorów.

Do bardziej dokładnych zastosowań kondensatory kompensujące można w prosty sposób dobrać. Wymaga to trochę cierpliwości, ale nie jest trudne. Wymagana pojemność można złożyć z dwóch wartości - na płycie przewidziane jest na to miejsce. Ewentualnie można jeszcze dolutować od strony druku trzeci kondensator.

Układ można sprawdzić i dobrać wartości kondensatorów kompensujących podając na wejście przebieg prostokątny i obserwując na oscyloskopie przebieg wyjściowy. Nie potrzeba do tego wzorcowych miliwoltomierzy m.cz ani kalibratora. Potrzebny jest tylko generator przebiegu prostokątnego z regulowanym napięciem wyjściowym oraz oscyloskop. Częstotliwość generatora nie jest krytyczna, powinna wynosić około 1kHz, ale dobrze jest też sprawdzić kształt przebiegu wyjściowego przy częstotliwości 100Hz i 10kHz.

Należy tak dobrać pojemności kompensujące, aby przebieg wyjściowy na wszystkich zakresach był jak najbardziej zbliżony do prostokątnego, żeby czoło impulsu nie miało żadnych zwisów ani przerostów - patrz **rysunek 7**, gdzie linią ciągłą pokazano właściwy kształt przebiegu wyjściowego, a liniami przerywanymi przebiegi przy niewłaściwej kompensacji. Ponieważ sąsiednie pojemności kompensujące też nieco na siebie wpływają, wstępnie należy zamontować elementy według wykazu elementów i dopiero wtedy poczynając od C1, dobierać poszczególne pojemności dla uzyskania najlepszego kształtu impulsu wyjściowego.

Do sprawdzenia charakterystyki na zakresie największego tłumienia 1:10000 potrzebny byłby przebieg o bardzo dużej amplitudzie. Ale szczerze mówiąc, dokładna kompensacja częstotliwościowa na najwyższym zakresie zwykle nie jest potrzebna. Kto i gdzie bowiem będzie musiał mierzyć napięcia o częstotliwościach rzędu kiloherców i napięciu rzędu setek woltów?! W praktyce najwyższy zakres, o ile w ogóle będzie wykorzystywany, będzie używany tylko do pomiarów napięć o częstotliwości sieci 50Hz i dokładna kompensacja nie jest tu konieczna.

Dostępne generatory mają zwykle maksymalną amplitudę

WYKAZ ELEMENTÓW

Rezystory

R1,R2: 10MΩ 1%
R3: 1,11MΩ 1%
R4: 101kΩ 1%
R5: 10kΩ 1%
R6: 1KΩ 1%
R7,R8: 10kΩ 1%
R9,R10: 100Ω 5%
PR1: 100kΩ

Kondensatory

C1: 3pF/1kV
C2: nie montować
C3: 39pF
C4: 410pF (np. 390pF + 22pF)
C5: 4,7nF
C6: 47nF
C7,C8: 100nF ceramiczny
C9,C10: 47μF/16V

Półprzewodniki

D1-D6: 1N4148
US1: LF356

Różne

REL1-REL4: M4-12H Meisel
Uwaga! Uwagi na nietypowe wartości rezystancji dla uzyskania potrzebnych wartości niektóre rezystory mogą być składane z dwóch.

rzędu pojedynczych woltów, więc jeśli jednak potrzebny byłby przebieg znacznie większy, proponujemy wykonanie prostego układu według **rysunku 8**.

Piotr Górecki, AVT