



Izolowana galwanicznie sonda oscyloskopowa 2,5kV



Do czego to służy?

Obserwowanie wysokich napięć na ekranie oscyloskopu może być potrzebne podczas uruchamiania czy naprawy zasilaczy impulsowych lub urządzeń zasilanych z sieci prądu przemiennego 230V (400V w sieciach trójfazowych), gdzie wartość szczytowa osiąga wartość 325V (560V w trójfazowych). Wysokie napięcia używane są też np. w dozymetrach. Czasem wystarczy jakakolwiek sonda różnicowa. Te jednak rzadko akceptują napięcie większe niż 1kV. Ponadto, jeśli jest wymagana izolacja galwaniczna, trzeba sięgnąć po bardziej zaawansowane rozwiązania niż sonda różnicowa.

Galwaniczne oddzielenie wejścia oscyloskopu od badanego obwodu ma wiele zalet. Chroni oscyloskop przed uszkodzeniem (choć to może być iluzją, bo dobra sonda może kosztować 10 razy więcej niż niedrogi oscyloskop) oraz rozwiązuje problem pętli masy. We współczesnych oscyloskopach bardzo często przewód uziemiający (PE) jest połączony z masą oscyloskopu. To utrudnia lub wręcz uniemożliwia niektóre pomiary, na przykład napięcia międzyfazowego (rysunek 1). Ponadto na obudowie oscyloskopu może pojawić się napięcie niebezpieczne dla życia (rysunek 2). Istnieją różne rozwiązania tego problemu.

Transformator separamyiczny czy akumulatorowe zasilanie oscyloskopu pozwala rozwiązać prob-

lem połączenia przewodu PE z GND, ale nie rozwiąże problemu napięcia niebezpiecznego dla życia na masie oscyloskopu. Przy pomiarach napięcia jednej fazy można podłączyć GND do przewodu N, ale co zrobić w czasie pomiaru napięcia międzyfazowego? Podobny problem powstaje przy podłączeniu oscyloskopu przez USB do komputera, gdzie w 99% przypadków interfejs USB oscyloskopu nie jest izolowany galwanicznie (rysunek 3). Nawet gdy pominiemy te problemy (a z USB nie musimy korzystać), to jakość przebiegu odwzorowana na oscyloskopie może być słaba, co wynika z filtrów w obwodzie 230V zasilacza oscyloskopu, gdzie pojemności przewodów N i L połączone są z PE, a więc także z GND. Bodaj najprostszym sposobem ratunku może być pomiar napięcia dwoma sondami, a w oscyloskopie wykonanie operacji odejmowania sygnału. Niestety, w ten sposób nie da się dobrze zobrazować małych sygnałów przemienionych na tle dużego napięcia wspólnego.

Skutecznym rozwiązaniem problemu jest sonda z izolacją galwaniczną.

Biorąc po uwagę cenę fabrycznych sond różnicowych, które kosztują po kilkanaście tysięcy złotych, można sobie wyobrazić podobnie wysoką cenę dobrej sondy izolowanej własnej roboty. Na szczęście izolowaną galwanicznie sondę o niezbyt imponujących parametrach można zrealizować za około 100zł. Zaletą sondy jest pojedyncze napięcie zasilające 8...15V lub 5V, które może pochodzić z gniazda

USB oscyloskopu, oczywiście o ile oscyloskop jest w takie gniazdo wyposażony.

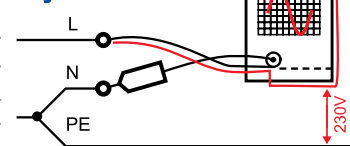
Jak to działa?

Budowa sondy jest pokazana na rysunku 4. Rezystory R1...R9 i R21 wraz z R20 tworzą dzielnik napięcia. R22, R23 C1 są elementami składowymi aplikacji wzmacniacza U1. Strona wysokonapięciowa wzmacniacza U1 jest zasilana z przetwornicy DC/DC (U4) NME0505S. Wydawać by się mogło, że sonda może zmierzyć tylko napięcia dodatnie, ponieważ wejście negujące (wyprowadzenie 3) jest połączone z zerem zasilania (wyprowadzenie 4), jednakże U1 zbudowano tak, że wzmacnia także napięcia ujemne. Układ jest zoptymalizowany do pracy z napięciami $\pm 250\text{mV}$ (max. $\pm 320\text{mV}$). Wejściowy dzielnik napięcia tłumi napięcie dziesięć tysięcy razy (teoretycznie przy zerowej tolerancji rezystorów 10001 razy): $20002\text{k}/0,2\text{k} = 10001$, gdzie $2,0002\text{M}\Omega$ – szeregowo połączenie R1...R21. Dzięki temu maksymalne napięcie na wejściu U1 nie przekracza 250mV dla dopuszczalnego zakresu napięć wejściowych sondy ($2500\text{V}/10000 = 0,25\text{V}$).

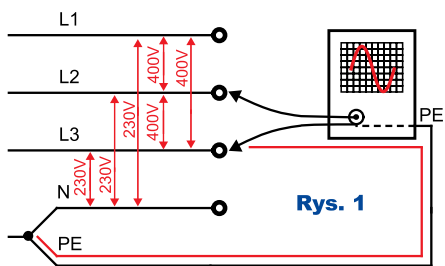
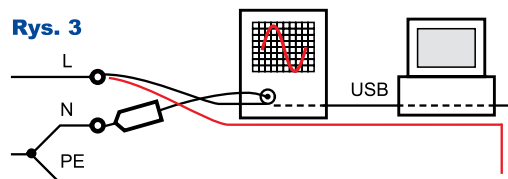
Na wyjściu U1 pojawia się napięcie wzmocnione ośmiokrotnie, przy czym zerowemu napięciu wejściowemu odpowiada napięcie wyjściowe ok. 2,5V. Różnicowe napięcie wyjściowe U1 trafia na wzmacniacz różnicowy U2A. W U2B napięcie jest wzmacniane, zależnie od położenia S1: 0,8/1,6/4/8/16 lub 40 razy. Uwzględniając ośmiokrotne wzmocnienie w U1, daje to całkowite wzmocnienie 10/20/50/100/200/500 razy. Całkowite tłumienie sondy jest więc takie, jak pokazuje tabela 1.

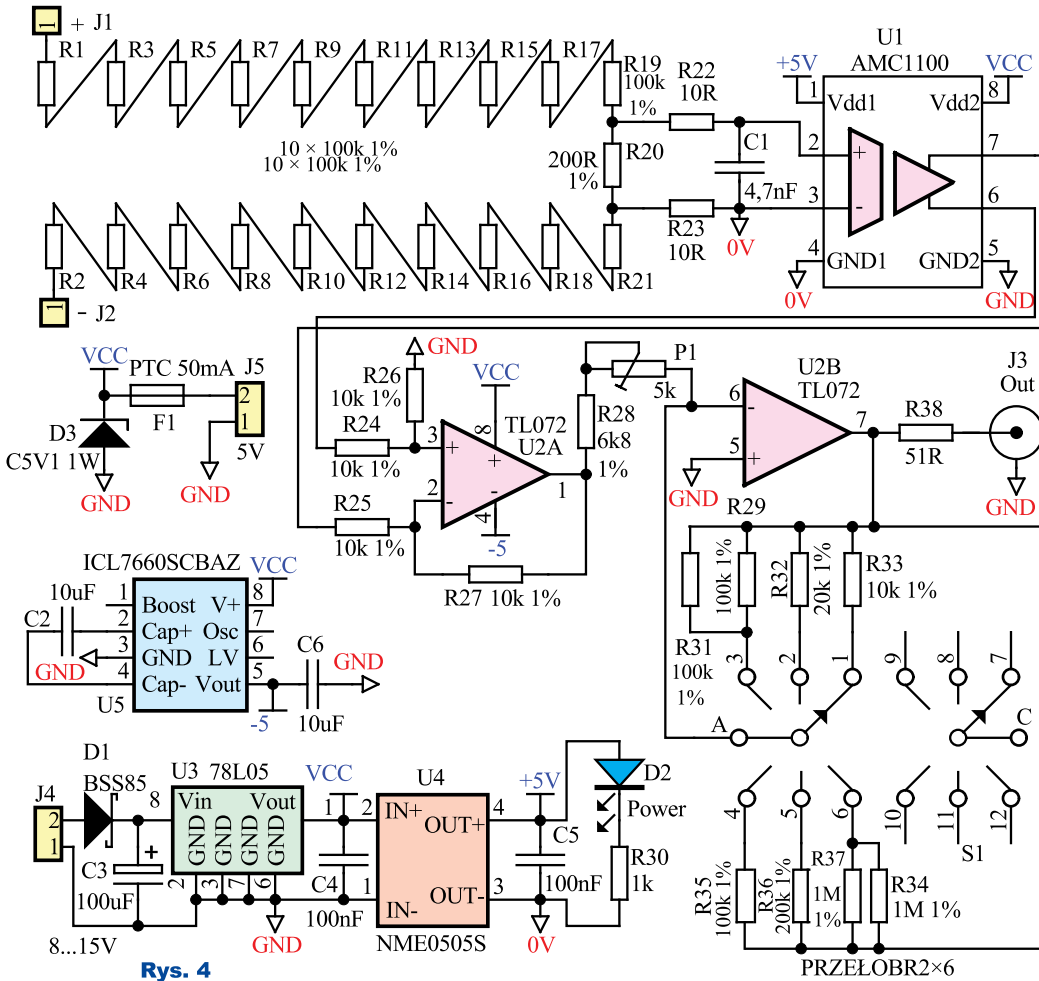
Początkującym elektronikom może wydawać się dziwne, że tłumienie nie jest w sekwencji 1/10/100 itd., jak w multimetrach, tylko 2/5/10 itd. Sekwencja 1:2:5

Rys. 2



Rys. 3





Rys. 4

Sumaryczne tłumienie sondy	Tłumienie dzielnika wejściowego	Wzmocnienie U2B	Napięcie wejściowe	Napięcie wyjściowe
1'000:1	10'000	× 10	2,5kV	2,5V
500:1	10'000	× 20	1'250kV	2,5V
200:1	10'000	× 50	500V	2,5V
100:1	10'000	× 10	250V	2,5V
50:1	10'000	× 200	125V	2,5V
20:1	10'000	× 500	50V	2,5V

jest powszechnie używana w oscyloskopach, bo umożliwia dokładniejsze dopasowanie amplitudy przebiegu do wysokości ekranu. Współczesne oscyloskopy umożliwiają określenie tłumienia sondy w takiej właśnie sekwencji (rysunek 5), aby wyniki pomiarów odzwierciedlały rzeczywiste napięcie.

Do precyzyjnego ustawienia wzmocnienia służy potencjometr P1. Warto zaznaczyć, że U2 (TL072) nie jest

precyzyjnym wzmacniaczem operacyjnym. W związku z tym poziom 0V na wejściu sondy może nie odpowiadać 0 na wyjściu. Offset można zlikwidować na kilka sposobów,

Tabela 1

ale wymagają one zmian na PCB. W razie potrzeby można też użyć bardziej precyzyjnego wzmacniacza operacyjnego. Na koniec pozostawiłem omówienie sposobu zasilania układów. O zasilaniu części wysokonapięciowej już było, pozostała część niskonapięciowa, której masa łączy się galwanicznie z oscylosko-

pem. Napięcie 8...15V, po przejściu przez diodę zabezpieczającą przed skutkami odwrotnego podłączenia zasilania, trafia na stabilizator U3. W U3 z wyjściowego napięcia 5V wytwarzane jest napięcie ujemne około 4,7V.

Sonda może być zasilana napięciem 5V doprowadzonym do J5. Zabezpieczenie przed zbyt wysokim lub odwrotnym napięciem zrealizowano na diodzie Zenera i bezpieczniku powtarzalnym. Można się spodziewać, że bezpiecznik zadziała przy prądzie ok. 75mA, max. 100mA, co spowoduje przez krótką chwilę wydzielenie się na diodzie ok. 1W mocy.

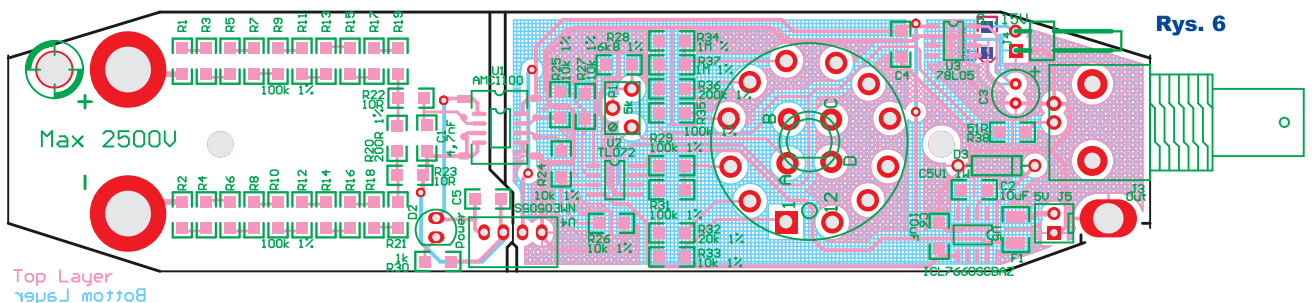
Montaż i uruchomienie

Projekt płytki drukowanej pokazany jest na rysunku 6. Montaż jest standardowy. Na początku można nie montować układów scalonych (poza przetwornicą DC/DC). Po doprowadzeniu zasilania należy sprawdzić poprawność napięć zasilających. Jeśli są poprawne, można włutować układy scalone. Do wejścia sondy należy doprowadzić przebieg sinusoidalny około 1kHz o amplitudzie 10V. Tłumienie sondy należy ustawić na minimum (20:1) a potencjometrem P1 ustawić amplitudę napięcia na wyjściu sondy na 1V.

Gdy sonda została uruchomiona, należy ją pokryć lakierem izolacyjnym. W czasie schnięcia lakieru można przygotować obudowę, wierząc w niej otwory. Obudowę należy ekranować. W tym



Rys. 5

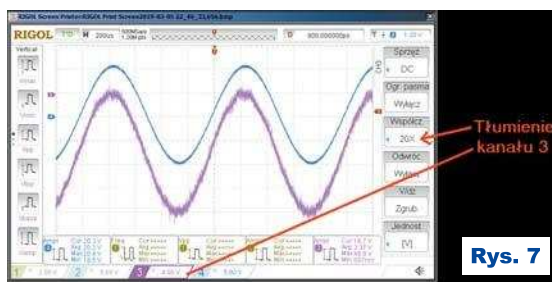


Rys. 6

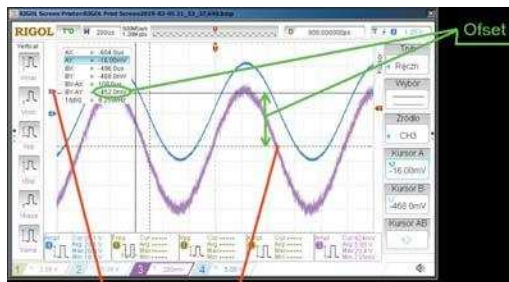
celu należy ją pokryć od środka grafitem w sprayu lub ostrocznie samoprzylepną folią aluminiową (np. na taśmie). Samo pokrycie obudowy materiałem przewodzącym nic nie da, jeśli nie będzie połączenia z masą układu. Otwór montażowy w pobliżu złącza BNC jest połączony z masą, dlatego należy zadbać, aby grafit czy taśma aluminiowa znalazła się na kołkach montażowych w obudowie.

Kompensacja częstotliwościowa. Prosta sonda nie jest skompensowana częstotliwościowo i nie nadaje się do badania przebiegów o wyższej częstotliwości oraz impulsowych. Na rysunkach pokazano oscylogramy przebiegu sinusoidalnego o amplitudzie 20V i różnych częstotliwościach. **Rysunek 7** przedstawia przebieg 1kHz 20V na wejściu sondy (kanał 4 – niebieski) i wyjściu (kanał 3 – fioletowy), tłumienie sondy ustawione na 20. Na **rysunku 8** widać wzmacnione napięcie offsetu wzmacniacza U2. Offset 450mV na wyjściu U2B daje 900μV (450mV/wzmacnienie 500), co zgadza się z deklarowanym przez producenta offsetem 1mV. Jest to sumaryczny offset U2A i U2B. Można zastanawiać się, dlaczego nie dałem możliwości likwidacji napięcia offsetu. Rozwiązanie z dodaniem napięcia do jednego z wejść wzmacniacza może się nie udać, ponieważ może być wymagane dodanie napięcia dodatniego lub ujemnego. Napięcie ujemne wytwarzane przez ICL7660 nie jest zbyt stabilne i takie likwidowanie napięcia offsetu mogłoby przynieść więcej szkody niż pożytku. Najprostszym rozwiązaniem jest zastosowanie lepszego wzmacniacza o małym offsecie. Niestety, założone w tym projekcie maksymalne uproszczenie konstrukcji niesie za sobą różne konsekwencje.

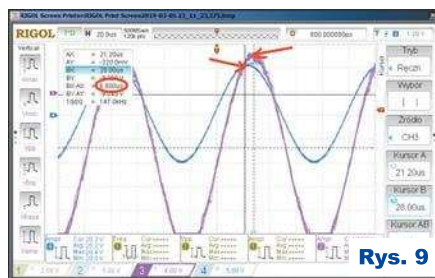
Rysunek 9 przedstawia przebieg 10kHz o tej samej amplitudzie. Widać, że na wyjściu amplituda sygnału wzrosła. Ponadto widać przesunięcie fazowe oznaczone strzałkami. Dla częstotliwości 50kHz (**rysunek 10**) przesunięcie jest bardzo widoczne, tak jak i spadek



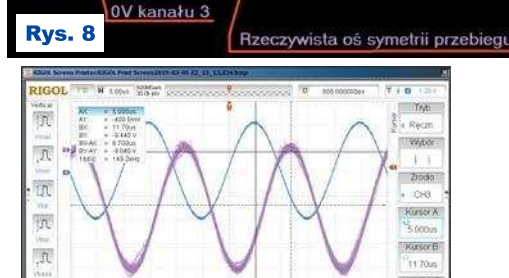
Rys. 7



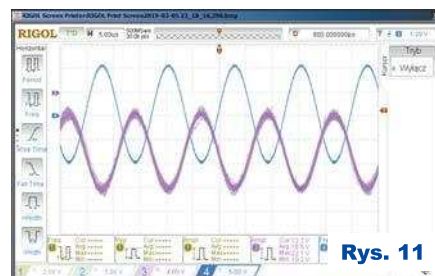
Rys. 8



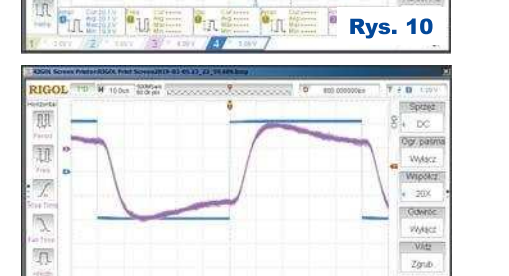
Rys. 9



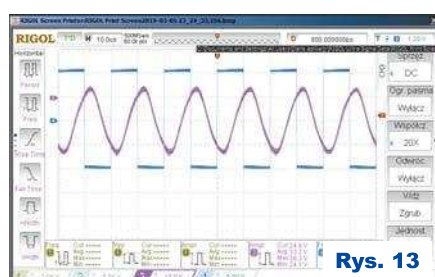
Rys. 10



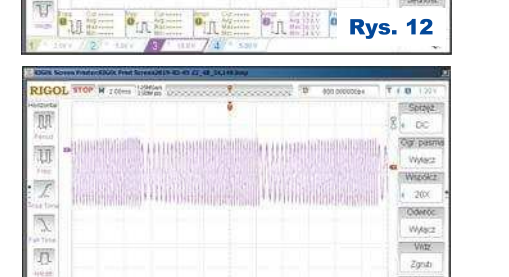
Rys. 11



Rys. 12



Rys. 13

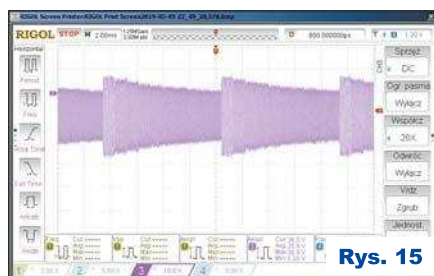


Rys. 14

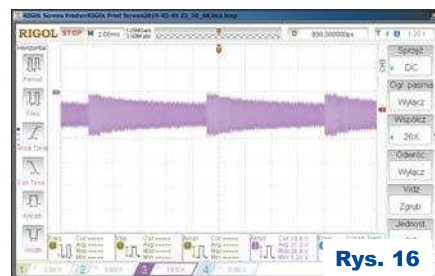
amplitudy. 80kHz (**rysunek 11**) daje przesunięcie o 90°.

Dlaczego piszę o przesunięciu fazowym? Może to mieć duże znaczenie przy równoczesnym badaniu sygnałów z sondą izolowaną jak i bez. Na **rysunku 12** widać prostokątny przebieg 10kHz. Na wyjściu sondy jest on przesunięty i mocno zniekształcony. Przy 50kHz (**rysunek 13**) zniekształcenia liniowe (obcięcie harmonicznych) są tak duże, że przebieg na wyjściu sondy przypomina sinusoidę. Na **rysunku 14** można zoba-

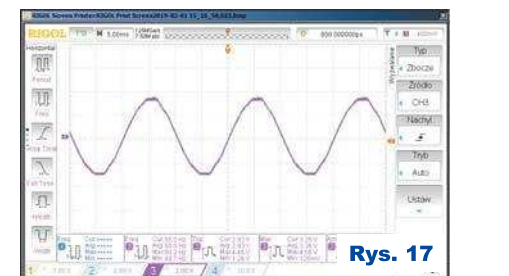
czyć tłumienie sondy w zakresie 1–5kHz, **rysunek 15**: 5–20kHz, **rysunek 16**: 50–100kHz. Widać wyraźnie nierównomierność wzmacnienia, gdzie dla zakresu 1–10kHz amplituda sygnału rośnie, a powyżej 10kHz następuje ponowny jej spadek. W zakresie do 1kHz wzmacnienie jest w miarę stałe. **Rysunek 17** przedstawia oscylogram napięcia sieci 230V. Przelicznik tłumienia sondy jest ustawiony na 50:1, oscyloskop ustawiony na 1:1.



Rys. 15



Rys. 16



Rys. 17

Widać wyraźnie, że sonda najlepiej nadaje się do podglądania przebiegów do 1kHz i że bardzo daleko jej do profesjonalnych rozwiązań (stąd też niska cena). Czy 1kHz to dużo czy mało? To zależy od tego, jakie przebiegi badamy. Jeśli jest to fazowe sterowanie silnikiem czy żarówkami zasilanymi napięciem sieciowym 230V, pasmo 1kHz wystarczy. Dla falowników pracujących z częstotliwością kilku kHz sonda może pomóc, ale dla kilkunastu czy kilkudziesięciu kHz nie przyda się.

Napięcie izolacji. Pomiedzy stroną wysokonapięciową a niskonapięciową napięcie izolacji określa przetwornica DC/DC, która katalogowo ma napięcie przebicia 1kV. Potencjał punktu 0V strony wysokonapięciowej w stosunku do ziemi wyniesie 1kV, gdy do sondy zostanie przyłożone napięcie 2kV. W przypadku podania 2,5kV punkt ten będzie na potencjale 1,25kV w stosunku do ziemi (rysunek 18). Gdy po stronie

niskonapięciowej masa GND nie jest połączona z przewodem uziemiającym PE, napięcie przebicia determinuje zasilacz urządzenia, do którego podłączona jest sonda. Najczęściej transformatory sieciowe mają napięcie izolacji 4kV. Trzeba jednak mieć świadomość, że do GND może nastąpić przebicie od strony wysokonapięciowej. Ewentualny prąd nie będzie duży, bo ograniczają go rezystory tłumika do maksymalnie 1,25mA (do niebezpiecznego dla życia prądu 50mA daleka droga). Gdy kluczową sprawą jest dobra izolacja, najlepiej zrezygnować z przetwornicy DC/DC i stronę wysokonapięciową zasilić z osobnego zasilacza o jak najwyższym napięciu przebicia. Gdy przewód PE jest połączony z GND, osobny zasilacz staje się niezbędny albo należy ograniczyć napięcie do 2kV.

Wnoszone obciążenie, modyfikacje. Trzeba mieć świadomość, że sonda ma stosunkowo małą rezystancję wewnętrzną, tylko 2MΩ, więc przy napięciu 2500V obciąży badany obwód prądem 1,25mA. Prąd ten może okazać się na tyle duży w badanym obwodzie (np. w powielaczu napięcia), że zmieniają się warunki pracy. Zmniejszenie tego prądu jest możliwe przez dodanie dwóch szeregowych rezystorów wysokonapięciowych 9MΩ. Zwiększy to rezystancję do 2 × 10MΩ, tłumienie zwiększy się 10 razy, prąd spadnie do 250uA. Trzeba pamiętać, że 90% napięcia odłoży się na takim rezystorze, musi więc mieć odpowiednią wytrzymałość napięciową (można użyć 9 sztuk połączonych szeregowo rezystorów 1MΩ). Można też od razu, zamiast rezystorów 100kΩ, w dzielniku napięcia zastosować rezystory 1MΩ.

Takie zabiegi powodują zwiększenie tłumienia, przez co tracimy najniższy zakres pomiarowy. Rozwiązaniem jest zastosowanie w dzielniku rezy-

Wykaz elementów

Rezystory 1206:

R1-19,R21,R29,R31,R35	100kΩ 1%
R20	200Ω 1%
R22,R23	10Ω
R24,R25,R26,R27,R33	10kΩ 1%
R28	6,8kΩ 1%
R30	1kΩ
R32	20kΩ 1%
R34	1MΩ %
R36	200kΩ 1%
R37	1MΩ 1%
R38	51Ω
P1	5kΩ potencjometr montażowy 3266W

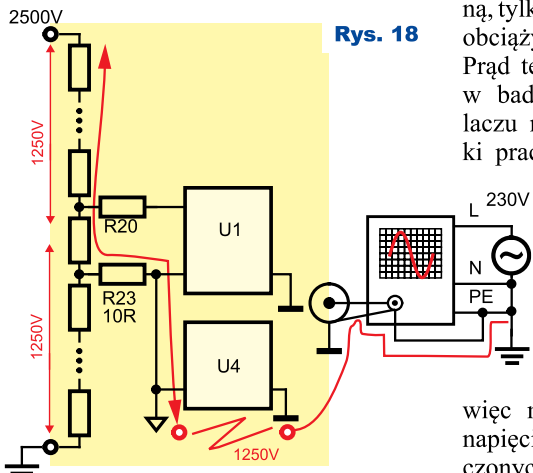
Kondensatory ceramiczne 1206:

C1	4,7nF
C2,C6	10uF
C4,C5	100nF
C3	100uF/16V THT ce6.3/2.5
U1	AMC1100
U2	TL072 SO-8
U3	78L05 SO-08
U4	NME0505S
U5	ICL7660SCBAZ SO-08
D1	BSS85
D2	Dioda led 3/5mm
D3	C5V1 1W
J1,J2	Gniazdo bananowe 4mm
J4,J5	NS25-W2K
J3	Gniazdo kątowe BNC do druku
S1	Przełącznik obrotowy 2×6
F1	Bezpiecznik powtarzalny 50mA

Komplet podzespołów z płytka jest dostępny w Sklepie AVT jako zestaw AVT3257


storów 1MΩ i zwiększenie R20 do 2kΩ. Trzeba jednak uwzględnić, że rezystancja wejściowa U1 to 28kΩ. Spowoduje to zmianę tłumienia o ponad 7% (2k * 100% / 28k ~ 7%) w stosunku do R20=200R (200R * 100% / 28000 ~ 0,7%), które można skorygować potencjometrem P1. Jeśli byłoby to niemożliwe, należy zmniejszyć wartość R28. Trzeba mieć też świadomość, że U1 jest zoptymalizowany do pracy ze źródłami o małej rezystancji wewnętrznej jak boczniki do pomiaru prądu. W następnym numerach EdW pojawią się opisy jeszcze dwóch sond: izolowanej galwanicznie o maksymalnym napięciu wejściowym 500V oraz bardzo taniej sondy różnicowej o paśmie 1MHz i napięciu maksymalnym 1000V.

SaS
sas@elportal.pl



Rys. 18



 Zawsze znajdziesz, przejrzysz i kupisz aktualny numer „Elektroniki dla Wszystkich” (zarówno w wersji papierowej, jak i elektronicznej) na www.UlubionyKiosk.pl