

# Izolowana galwanicznie sonda oscyloskopowa 2,5kV

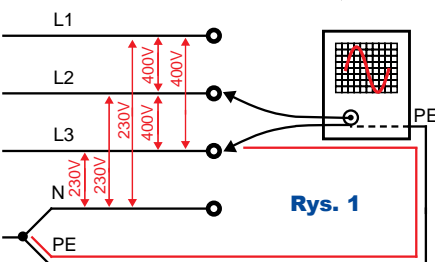


## Do czego to służy?

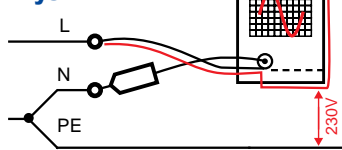
Obserwowanie wysokich napięć na ekranie oscyloskopu może być potrzebne podczas uruchamiania czy naprawy zasilaczy impulsowych lub urządzeń zasilanych z sieci prądu przemiennego 230V (400V w sieciach trójfazowych), gdzie wartość szczytowa osiąga wartość 325V (560V w trójfazowych). Wysokie napięcia używane 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 separacyjny czy akumulatorowe zasilanie oscyloskopu pozwala rozwiązać prob-



Rys. 2

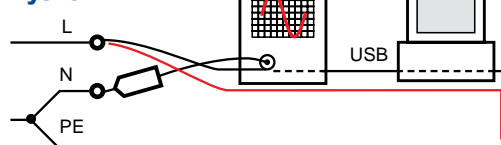


lem połączenia przewodu PE z GND, ale nie rozwiąże problemu napięcia niebezpiecznego dla życia na masie oscyloskopu. Przy pomiarach napięcia jednej fazy można podłączyć GND do przewodu N, ale co zrobić w czasie pomiaru napięcia międzyfazowego? Podobny problem powstaje przy podłączeniu oscyloskopu przez 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 wyniknie 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

Rys. 3



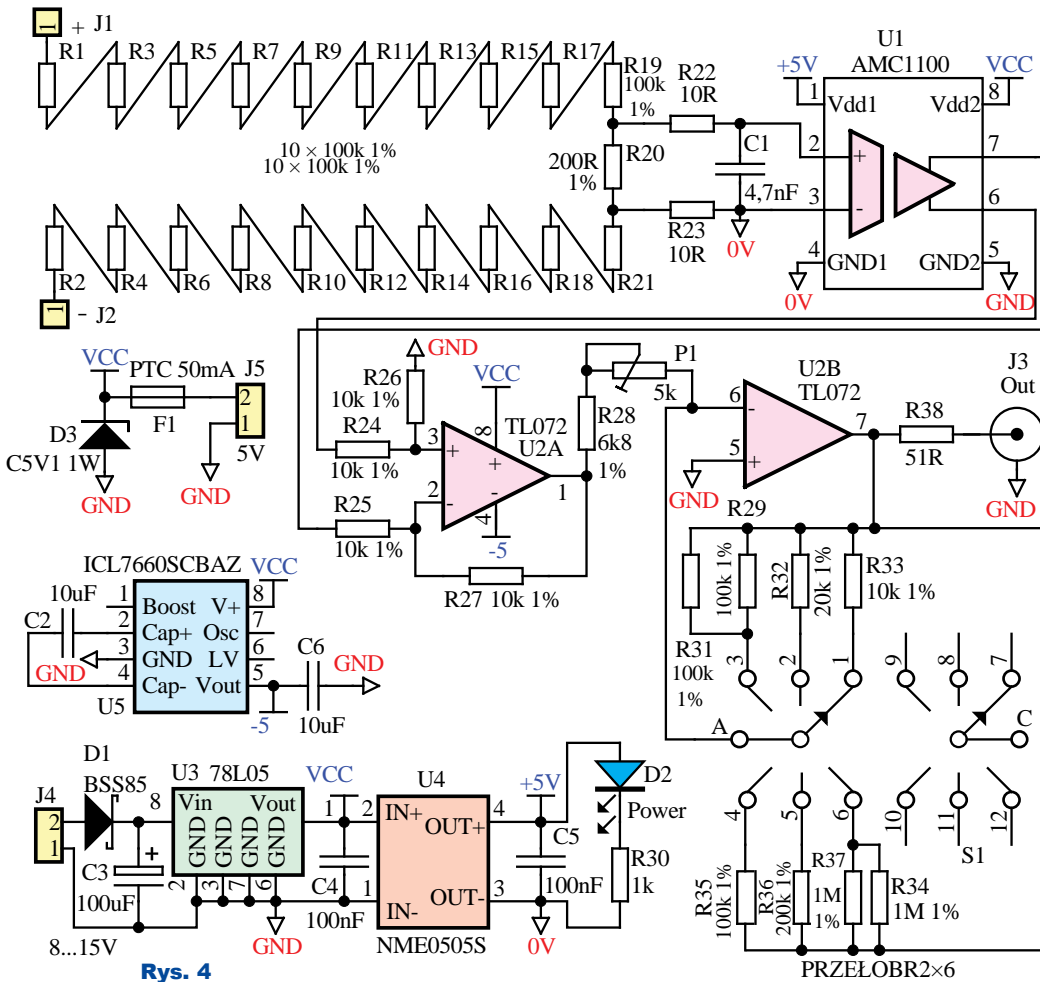
USB oscyloskopu, oczywiście o ile oscyloskop jest w takie gniazdo wyposażony.

## 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 mierzyć 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 ±250mV (max. ±320mV). Wejściowy dzielnik napięcia tłumia napięcie dziesięć tysięcy razy (teoretycznie przy zerowej tolerancji rezystorów 10001 razy):  $20002k/0,2k = 10001$ , gdzie  $2,0002M\Omega$  – szeregowe połączenie R1...R21. Dzięki temu maksymalne napięcie na wejściu U1 nie przekracza 250mV dla dopuszczalnego zakresu napięć wejściowych sondy ( $2500V/10000 = 0,25V$ ).

Na wyjściu U1 pojawia się napięcie wzmacnione 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. 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

Tabela 1

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

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-

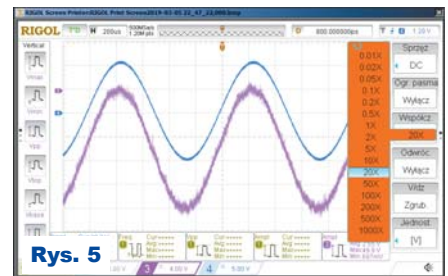
pem. Napięcie 8...15V, po przejściu przez diodę zabezpieczającą przed skutkami odwrotnego podłączenia zasilania, trafia na stabilizator U3. W U5 z wyjściowego napięcia 5V wytwarzane jest napięcie ujemne około 4,7V.

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.

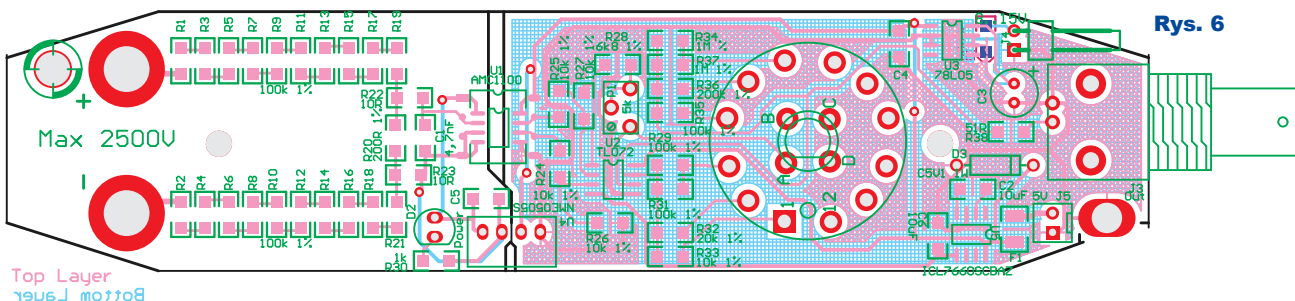
### Montaż i uruchomienie

Projekt płytki drukowanej pokazany jest na rysunku 6. Montaż jest standardowy. Na początku można nie montować układów scalonych (poza przetwornicę 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



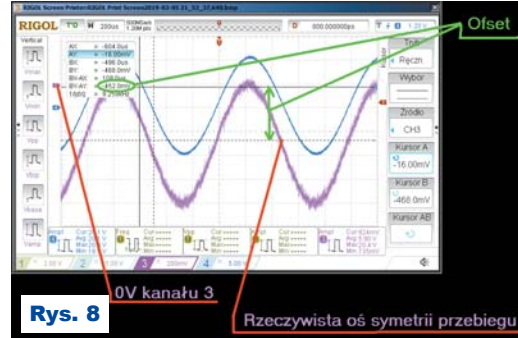
celu należy ją pokryć od środka grafitem w sprayu lub ostrożnie samoprzylepną folią aluminiową (np. na taśmie). Samo pokrycie obudowy materiałem przewodzącym nic nie da, jeśli nie będzie połączenia z masą układu. Otwór montażowy w pobliżu złącza BNC jest połączony z masą, dlatego należy zadbać, aby grafit 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  $900\mu\text{V}$  ( $450\text{mV}/\text{wzmocnienie } 500$ ), 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 offsetcie. Niestety, założone w tym projekcie maksymalne uproszczenie konstrukcji niesie za sobą różne konsekwencje.

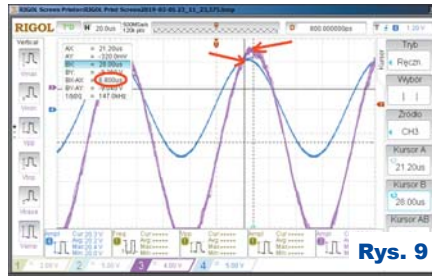
**Rysunek 9** przedstawia przebieg 10kHz o tej samej amplitudzie. Widać, że na wyjściu amplituda sygnału wzrosła. Ponadto widać przesunięcie fazowe oznaczone strzałkami. Dla częstotliwości 50kHz (**rysunek 10**) przesunięcie jest bardzo widoczne, tak jak i spadek



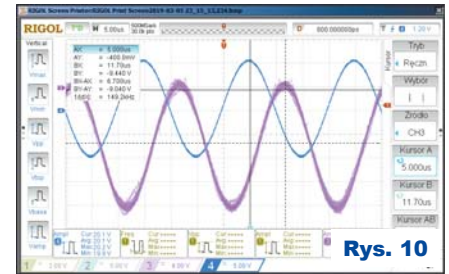
Rys. 7



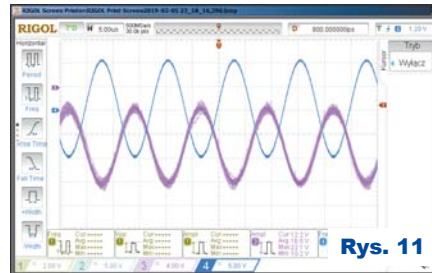
Rys. 8



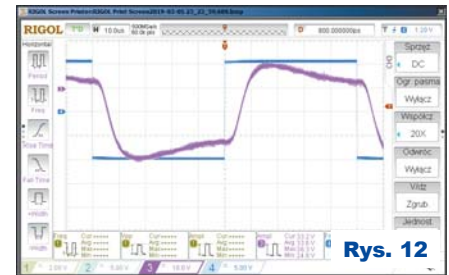
Rys. 9



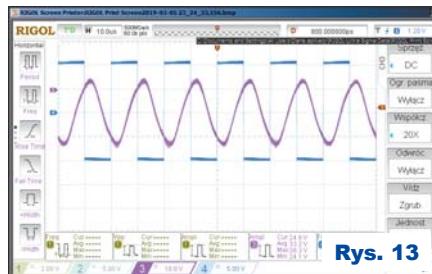
Rys. 10



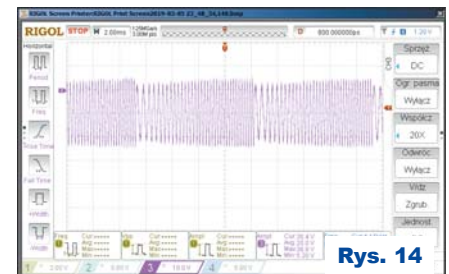
Rys. 11



Rys. 12



Rys. 13

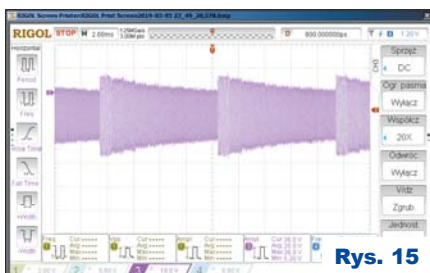


Rys. 14

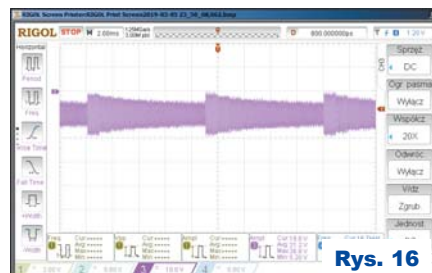
amplitudy. 80kHz (**rysunek 11**) daje przesunięcie o  $90^\circ$ .

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 (obciążenie harmonicznych) są tak duże, że przebieg na wyjściu sondy przypomina sinusoidę. Na **rysunku 14** można zoba-

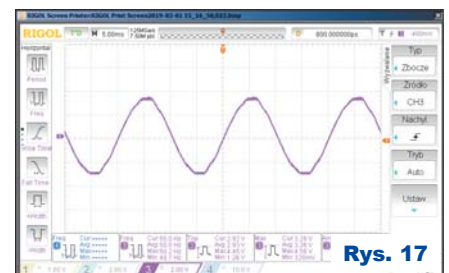
czyć tłumienie sondy w zakresie 1–5kHz, **rysunek 15**: 5–20kHz, **rysunek 16**: 50–100kHz. Widać wyraźnie nierównomierność wzmocnienia, gdzie dla zakresu 1–10kHz amplituda sygnału rośnie, a powyżej 10kHz następuje ponownie jej spadek. W zakresie do 1kHz wzmocnienie jest w miarę stałe. **Rysunek 17**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



Rys. 15



Rys. 16



Rys. 17

