

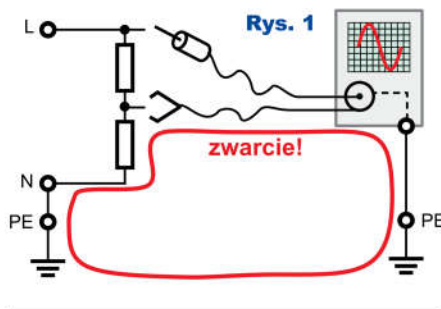
Prosta izolowana sonda do oscyloskopu

kit
3289
AVT

Oscyloskopowe sondy izolowane są urządzeniami drogimi, a często bardzo niezbędnymi. Za niewielką część ceny sondy profesjonalnej można zbudować konstrukcję amatorską, której parametry okażą się wystarczające w wielu zastosowaniach.



We współczesnych oscyloskopach ich masa jest połączona z przewodem uziemiającym PE w zasilaczu. Z tego powodu powstają problemy podczas pomiarów napięcia w urządzeniach zasilanych bezpośrednio z sieci 230V. Istnieje ryzyko zwarcia i nie ma możliwości pomiaru napięć w odniesieniu do innego potencjału niż przewód N (rysunek 1). Niemożliwy staje się pomiar napięcia międzyfazowego.



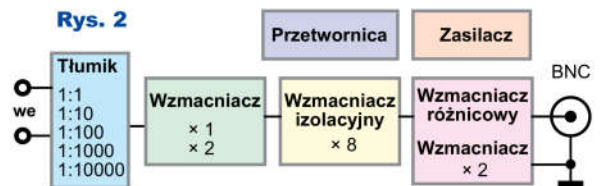
Opis układu

Schemat blokowy sondy pokazano na rysunku 2. Pierwszym elementem jest tłumik napięcia umożliwiający podział w stosunku 1:1 / 1:10 / 1:100 / 1:1000 / 1:10000. Następnie badany sygnał jest buforowany, może być wzmacniony dziesięciokrotnie, po czym przebieg jest doprowadzony do wzmacniacza izolacyjnego. Wzmocnienie sygnału na najniższych zakresach pomiarowych umożliwia pracę z większymi sygnałami, co jest korzystne ze względu na odstęp sygnału od szumu. Wyjście wzmacniacza izolacyjnego steruje wzmacniaczem różnicowym, a po wzmocnieniu steruje wejściem oscyloskopu. Całość konstrukcji uzupełnia obwód zasilania. Po stronie nieizolowanej jest to stabilizator 5V oraz przetwornica pojemnościowa wytwarzająca napięcie ujemne. Stronę izolowaną zasila przetwornica DC/DC z wyjściem symetrycznym.

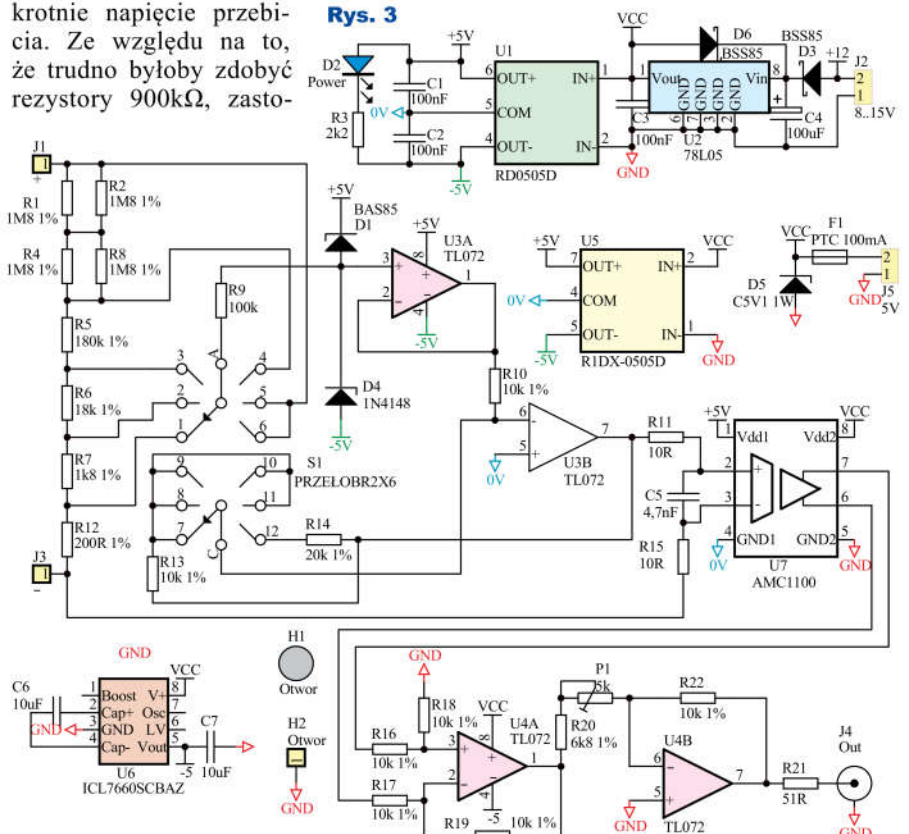
Rysunek 3 przedstawia schemat ideowy sondy. Tłumik wejściowy tworzą rezystory, których sumaryczna rezystancja wynosi 2MΩ. Zdziwić może obecność czterech rezystorów 1,8MΩ. Ich szeregowo-równoległe połączenie daje wypadkową rezystancję 1,8MΩ. Po co więc takie połączenie? Wynika to z maksymalnego napięcia przebicia rezystorów, które najczęściej wynosi 250V, a przecież dla napięcia sieci 230V wartość szczytowa wynosi 324V. Szeregowe włączenie rezystorów zwiększa dwukrotnie napięcie przebicia. Ze względu na to, że trudno byłoby zdobyć rezystory 900kΩ, zastoso-

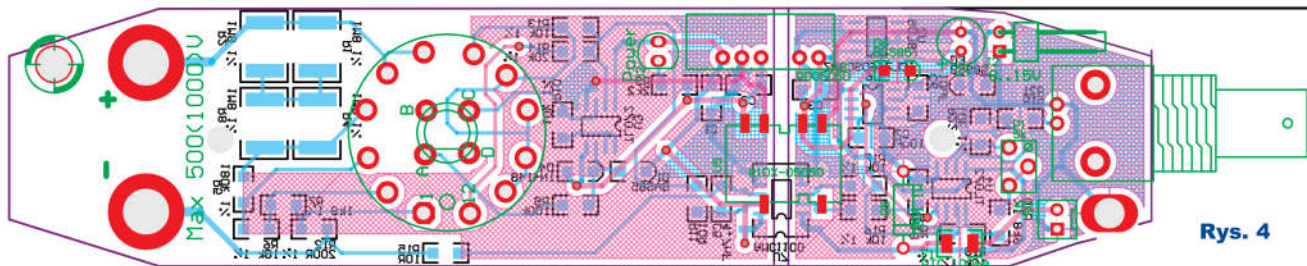
owano układ szeregowo równoległy. Jeśli maksymalne dopuszczalne napięcie 500V byłoby za niskie, można użyć rezystorów wysokonapięciowych, co zwiększy napięcie maksymalne. Układ wzmacniacza izolacyjnego AMC1100 (U7) jest zoptymalizowany do pracy z napięciami ±250mV. Z tego wynika,

Rys. 2



Rys. 3





Rys. 4

że maksymalne napięcie na wejściu sondy (przy zastosowaniu odpowiednich rezystorów) może wynosić 2500V (bo maksymalne tłumienie dzielnika wynosi 10000). Niestety, najpopularniejsze miniaturowe przetwornice DC/DC mają napięcie izolacji 1000V. Czasem można znaleźć na 1500V. Rozwiązaniem będzie zewnętrzny zasilacz $\pm 5V$ o napięciu przebicia 2500V lub więcej.

Sygnal z tłumika trafia na przełącznik obrotowy i dalej przez rezystor zabezpieczający R9 na wejście wzmacniacza operacyjnego U3A. R9 oraz diody D1, D4 zabezpieczają wzmacniacz operacyjny w przypadku błędnego ustawienia przełącznika zakresów. Wzmacniacz U3B odwraca fazę sygnału. Przy najniższym zakresie pomiarowym wzmacnienie wynosi 2, na pozostałych 1. Można rozszerzyć zakres pomiarowy, zmieniając wartość R14. Zastosowanie rezystora 50k Ω da wzmacnienie 2, 100k Ω – 10. Kupienie precyzyjnego rezystora 50k Ω może być bardzo trudne, dlatego warto połączyć równolegle dwa rezystory 100k Ω . Ważne, aby rezystory w obwodzie tłumika i wzmacniacza U3 miały tolerancję 1% lub lepszą. Zwykle rezystory 5% mają słabą stabilność cieplną i długoterminową. Mogłoby się wydawać, że sonda przenosi tylko sygnały o polaryzacji dodatniej, bo układ U7 po stronie izolowanej jest zasilany pojedynczym napięciem. Mimo to, budowa U7 umożliwia pomiar także napięć ujemnych do $-320mV$ (optymalnie $-250mV$).

U7 po stronie nieizolowanej ma wyjścia komplementarne. Na tle stałego napięcia referencyjnego ok. 2,5V pojawia się przebieg wejściowy prosty (wyprowadzenie 7) i zanegowany (wyprowadzenie 6). Z tego powodu sygnał kierowany jest na wzmacniacz różnicowy U4A. Warto zaznaczyć, że U7 wzmacnia sygnał ośmiokrotnie, natomiast U3B dwukrotnie. Sumaryczne

wzmocnienie U3, U7, U4 wynosi 10 lub 20, zależnie od położenia przełącznika S1. Daje to wypadkowe tłumienie (wzmocnienie) według tabeli 1.

Rezystor R21 dopasowuje impedancję wzmacniacza do impedancji falowej przewodu ekranowanego, która wynosi 50 Ω , co jednak przy małych częstotliwościach nie ma znaczenia.

Sonda może być zasilana ze źródła napięcia stałego 8...15V, doprowadzonego do J2, które jest stabilizowane w U2. Opcjonalnie można układ zasilić napięciem 5V doprowadzonym do J5, pochodzącym przykładowo z gniazda USB oscyloskopu. Bezpiecznik powtarzalny F1 i dioda Zenera D5 chronią układy przed skutkami zbyt wysokiego lub odwróconego napięcia zasilania. U6 wytwarza ujemne napięcie dla U3B. Przetwornica DC/DC (U1 lub U5) zasilają U3 i U7. Układy TL072 mają dość duże napięcie nierównoważenia, sięgające 1mV. Jeśli wymagane jest precyzyjne uzyskanie poziomu zera na wyjściu sondy, należy zastosować bardziej precyzyjne wzmacniacze. Kompensacja offsetu tradycyjnymi metodami może być problematyczna, ponieważ ujemne napięcie U4 nie jest zbyt precyzyjne. Podobny problem występuje w przypadku U3, gdzie napięcie wyjściowe przetwornicy zależy od napięcia wejściowego i obciążenia.

Tabela 1

Położenie S1	Tłumienie dzielnika rezystorowego	Wzmocnienie			Sumaryczne wzmocnienie/tłumienie	Maksymalne napięcie wejściowe
		U3B	U7	U4B		
1	1	2	8	2	x 20	$\pm 125mV$
2	1	1	8	2	x 10	$\pm 250mV$
3	10	1	8	2	1 : 1	$\pm 2,5V$
4	100	1	8	2	10 : 1	$\pm 25V$
5	1000	1	8	2	100 : 1	$\pm 250V$
6	10000	1	8	2	1000 : 1	$\pm 2500V^*$

* - zależy od napięcia przebicia rezystorów i napięcia izolacji zasilacza (przetwornicy DC/DC).

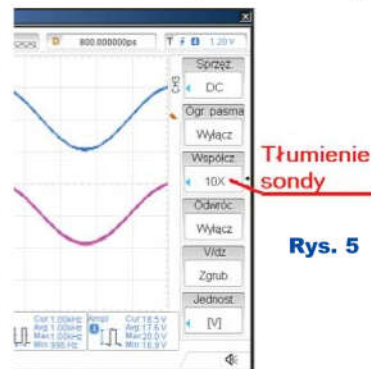
Montaż i uruchomienie

Projekt przykładowej płytki drukowanej pokazany jest na rysunku 4. Na początku najlepiej zamontować wszystkie elementy R i C oraz U2 i U6. Po kontroli napięć zasilających można zamontować przetwornicę. Zależnie od tego, jaką posiadamy, będzie to U1 lub U5. Po kontroli napięć zasilających (przy pomiarach trzeba pamiętać, że przetwornica ma izolację galwaniczną, więc masy części wysoko- i niskonapięciowej są odizolowane) można zamontować pozostałe układy i elementy przewlekane.

Uruchomioną sondę można zamknąć w obudowie KM-80 po uprzednim wycięciu otworów na gniazda, złącza i przełącznik. Obudowę od środka warto pokryć grafitem w sprayu lub samoprzylepną folią aluminiową, pomijając miejsca wokół gniazd wejściowych. Grafit czy folia musi pokrywać kołek montażowy. Płytkę sondy warto pokryć lakierem izolacyjnym, zwłaszcza w części izolowanej. Nie należy pokrywać lakierem pola wokół otworu przy złączu BNC, ponieważ w tym miejscu masa sondy łączy się z ekranem na obudowie.

Gdy sonda jest zmontowana i wszystkie napięcia mają poprawne wartości, można przystąpić do jej uruchomienia.

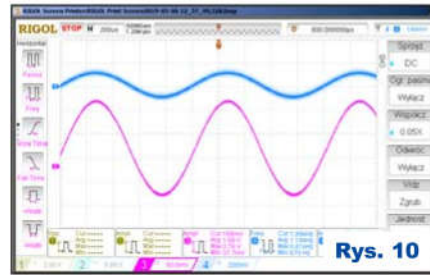
W tym celu na wejście sondy należy podać sygnał z generatora o częstotliwości około 1kHz. U mnie przełącznik S1 ustawiony był na tłumienie 10:1. Potencjometrem P1 należy ustawić amplitudę przebiegu na wyjściu sondy na taką samą, jak na wejściu. Naturalnie na oscyloskopie trzeba ustawić wartość tłumienia sondy (rysunek 5). Do testu może posłużyć



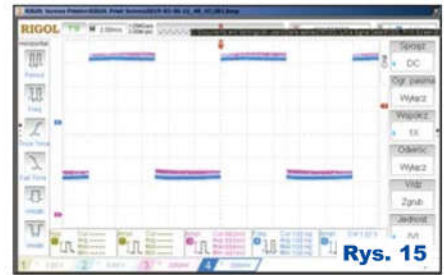
Rys. 5



Rys. 6



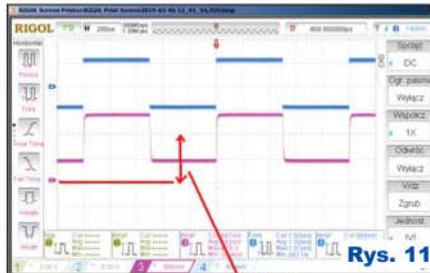
Rys. 10



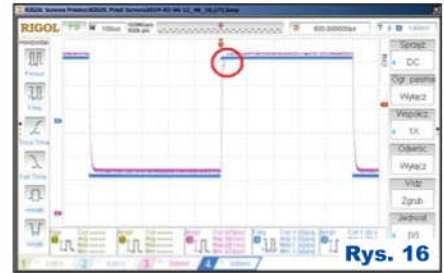
Rys. 15



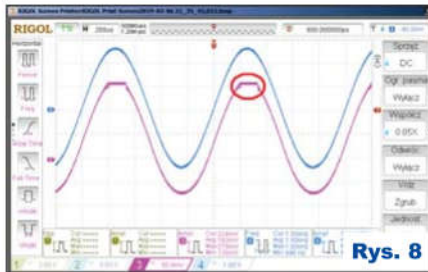
Rys. 7



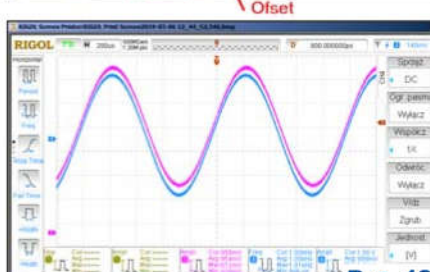
Rys. 11



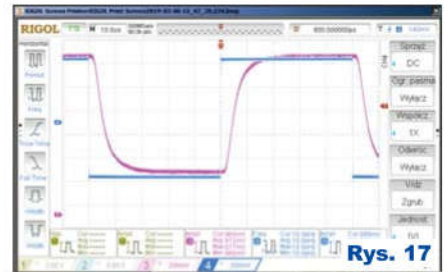
Rys. 16



Rys. 8



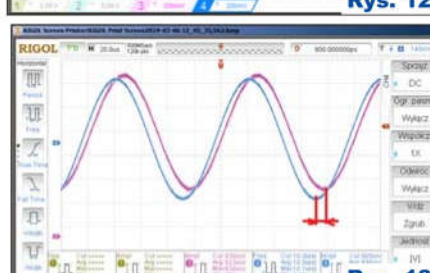
Rys. 12



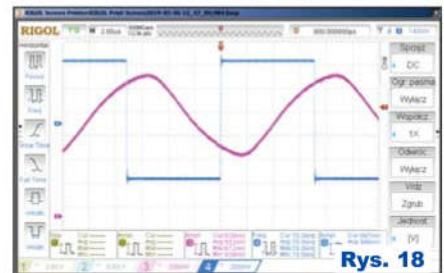
Rys. 17



Rys. 9



Rys. 13



Rys. 18

dowolny inny przebieg (trójkąt, prostokąt) o amplitudzie akceptowanej przez sondę. Trzeba tylko odpowiednio ustawić przełącznik S1 i wartość tłumienia sondy w oscyloskopie.

Warto przetestować zachowanie sondy przy różnych częstotliwościach i kształtach badanego sygnału. Pozwoli to skontrolować poprawność tłumienia i wzmocnienia układu, określić offset zera, dzięki czemu unikniemy błędów pomiarowych.

W przypadku mojego prototypu był to przebieg sinusoidalny o częstotliwości 1kHz i amplitudzie 20V (rysunek 6) widoczny w kanale 4 (niebieski przebieg). Na rysunku 7 mamy sygnał 3,2V (320mV na wejściu U7) przy tłumieniu 1:1. Jeszcze nie widać zniekształceń przebiegu. Przy 5V (500mV na wejściu U7) – rysunek 8 – wierzchołki ulegają zniekształceniu. Rysunek 9 pokazuje test przy wzmocnieniu 10, rysunek 10 przy wzmocnieniu 20. Podanie sygnału prostokątnego (rysunek 11) pozwala zbadać

czas narastania sygnału. Widać też wyraźnie offset. Aby łatwiej sprawdzić pasmo przenoszenia, ustawiłam przebiegi z niewielkim przesunięciem względem siebie, jak pokazuje rysunek 12. Takie ustawienie pozwala też łatwiej ustawić poprawne wzmocnienie U4B. Przy 10kHz widać już wyraźnie przesunięcie fazowe (rysunek 13), ale amplituda sygnału jest poprawna. Przy 70kHz (rysunek 14) amplituda sygnału spadła dwukrotnie, przesunięcie fazowe ma ok. 45°.

Przesunięcie fazowe i czas narastania najlepiej sprawdzać przebiegiem pro-

stokątnym. Przy 100Hz (rysunek 15) przebieg jest idealny. Przy 1kHz (rysunek 16) widać niewielkie zaokrąglenia. Przy 10kHz (rysunek 17) widać wyraźne zaokrąglenia, przy 70kHz (rysunek 18) przebieg wyjściowy w niczym nie przypomina prostokąta.

Testy wykazały duży błąd zera oraz pasmo użyteczne najwyżej 10kHz. Przy wyższych częstotliwościach raczej tylko przebiegi sinusoidalne. 70kHz jest górną granicą możliwości sondy.

Przedstawiona tu została wersja prosta, która jak widać, nie ma zachwycających parametrów. Najbardziej dociekliwi Czytelnicy zauważą, że pasmo przenoszenia wzmacniacza izolacyjnego AMC1100 powinno sięgać prawie do 100kHz. Jeżeli w układzie nie zostanie zastosowana jakaś powolna podróbka układu AMC1100, to można byłoby liczyć na pasmo do prawie 100kHz.

Ciąg dalszy na stronie 21

urządzenia. W menu serwisowym ustawa się częstotliwość minimalną i odpowiadającą jej nastawę przetwornika cyfrowo-analogowego oraz częstotliwość maksymalną i odpowiadającą jej nastawę przetwornika cyfrowo-analogowego. Na podstawie tych nastaw sterownik wylicza nastawy przetwornika cyfrowo-analogowego dla innych częstotliwości.

Autor zastosował następującą metodę kalibracji: Wyliczył wartość napięcia ze wzoru $U = RI$, gdzie R jest wypadkową wartością rezystancji dwóch równolegle połączonych oporników $R1$, $R2$ i rezystancji zastosowanych przewodów, I wartością prądu odpowiadającej minimalnej częstotliwości pracy filtru. Następnie z nachylenia charakterystyki przetwornika cyfrowo-analogowego za pomocą proporcji wyliczamy wartość binarną, odpowiadającą napięciu dla minimalnej częstotliwości pracy filtru, ze wzoru $n = 999,76 * U$, gdzie n jest liczbą bitów, 999,76 odpowiada wartości napięcia 1V, a U jest wymaganym napięciem przetwornika. Dla napięcia 0,38V otrzymamy wartość binarną 379,9 bita, co po zaokrągleniu daje wartość 380 bitów.

Analogiczne wyczerpania robimy dla maksymalnej częstotliwości pracy filtru. Konieczność ponownych obliczeń dla maksymalnej częstotliwości pracy filtru wynika z zastosowania rezystorów z typoszeregu rezystancji oraz wpływu rezystancji przewodów. Nastawy kalibracyjne zapisujemy, przytrzymując przycisk Prawo.

Sygnaly z wyjścia filtra wyprowadzono za pomocą kabli typu semi-rigid, nazywanych inaczej kablami półsztyw-

Wykaz elementów

Sterownik:

P1	1k potencjometr montażowy
R5	22kΩ obudowa 0805
R1,R2,R3,R4	4,7kΩ obudowa 0805
R10,R11,R12	8,2Ω obudowa 1206, patrz tekst
R6,R9	0Ω obudowa 1206
R7,R8	10kΩ obudowa 1206, patrz tekst
C1,C2,C4,C5,C8,C9,C10,C11	100nF obudowa 0805
C3,C7	10uF obudowa 1206
C6	100uF/16V przewlekany
D1	LL4148
IC1	LM35 obudowa T092
IC2	ATMEGA328 DIP28
VR1	LM1117 5V obudowa SOT223
CON1	złącze do programowania ISP, dwurzędowe 2,54mm

W1	LCD 2×16 znaków
S1,S2,S3	przyciski chwilowe
Enkoder1	enkoder inkrementalny

Przetwornik napięcie-prąd:

R1,R2	3,9 25W patrz tekst
R3	120 obudowa 0805
R4,R5	1k obudowa 0805
C1,C2,C6,C7,C8	100nF obudowa 0805
C3	100uF tantalowy obudowa D
C4,C5,C9	10uF obudowa 1206
IC1	LMC6482 obudowa SO8
IC2	MAX471 obudowa SO8
IC3	MCP4726A3T obudowa SOT23-6
T1	IRF510 obudowa TO220
VR1	MCP1541 obudowa SOT23
D1	BA159 obudowa przewlekana

nymi. Kable takie mają lity ekran wykonany z rurki miedzianej lub z oplotu nasączonemu cyną. Standardowo wykorzystuje się je w urządzeniach mikrofalowych, charakteryzują się one bardzo wysoką skutecznością ekranowania. Złącza wyjściowe filtru są złączami SMA, a przejście między kablami semi-rigid i obudową wykonano za pomocą przejścia typu „beczka”.

Podczas uruchamiania urządzenia autor napotkał dwa problemy wynikające z jakości zastosowanych elementów. Układ stabilizatora LM1117 uszkadzał się po pewnym czasie, co skutkowało uszkodzeniem procesora i wyświetlacza LCD. Autor problem ten napotkał również na płytkach zasilaczy współpracujących z modulem Arduino wykorzystujących układ LM1117. Problem całkowicie rozwiązało zastosowanie stabilizatorów ku-

pionych u renomowanych dostawców podzespołów elektronicznych, a nie pochodzących z portali aukcyjnych.

Drugi problem był z układami MAX471, wytwarzanymi przez chińskich producentów jako kopia oryginalnych układów Maxim. Niestety, zdarzają się kostki, które prawdopodobnie w ogóle nie są układami MAX471. W tym wypadku jednak odróżnienie dobrego układu od złego jest bardzo proste, wystarczy wykonać pomiar rezystancji pomiędzy wyprowadzeniami 2,3–6,7 układu MAX471 – rezystancja ta powinna być bardzo bliska zeru.

Na zakończenie artykułu autor chciałby podziękować **Waldkowi 3Z6AEF** za uwagi do tego tekstu.

Ireneusz Szulski SP5MX
Rafał Orodziński SQ4AVS
sq4avs@gmail.com

Ciąg dalszy ze strony 17

Ograniczeniem nie będą wzmacniacze TL072, ponieważ ich pasmo pełnej mocy przekracza 100kHz, a iloczyn GBW to typowo 4MHz. Ograniczenie pasma zapewne wynika głównie z faktu, że wejściowy dzielnik napięcia nie jest skompensowany. Skompensowanie sondy byłoby kłopotliwe, ale można by zbadać, co jest problemem, badając przebieg na wejściu wzmacniacza izolacyjnego. Przy budowie tej sondy nie zależało mi na paśmie, ponieważ miała służyć do badania fazowego sterowania triaków. Zaawansowani Czytelnicy we własnym zakresie mogą zbadać i ewentualnie popracować nad zwiększeniem szerokości pasma.

SaS
sas@elportal.pl

Wykaz elementów

Kondensatory 1206:	
C1,C2,C3	100nF
C5	4,7nF
C6,C7	10uF
Rezystory 1206 o ile nie zaznaczono inaczej:	
R1,R2,R4,R8	1,8MΩ 1% obudowa 2220
R3	2,2kΩ
R5	180kΩ 1%
R6	18kΩ 1%
R7	1,8kΩ 1%
R9	100kΩ
R10,R13,R16,R17,R18,R19,R22	10kΩ 1%
R11,R15	10Ω
R12	200Ω 1%
R14	20kΩ 1%
R20	6,8kΩ 1%
R21	51Ω
P1	5kΩ montażowy typ 3266W

C4	100uF/16V ce6.3/2.5
U1	RD0505D
U2	78L05SO-08
U3,U4	TL072SO-8
U6	ICL7660SCBAZ SO-08
U5	R1DX-0505D
U7	AMC1100
D1,D3,D4,D6	BAS85
D2	dioda LED Niebieska 3 lub 5mm
D5	C5V1/1W
J1,3	gniazdo bananowe 4mm
J2,J5	SN25-W2K
J4	gniazdo kątowe BNC
S2	przetłącznik obrotowy 6×2
F1	bezpiecznik polimerowy 100mA

Płytką drukowaną jest dostępna
w Sklepie AVT jako AVT3289