

# Pomiary oscyloskopowe: okiem praktyka, część 8

## Sondy napięciowe aktywne

Ich główną zaletą jest duża impedancja wejściowa, utrzymywana w szerokim zakresie częstotliwości. Pojemność takiej sondy jest znikoma i osiąga wartości nawet rzędu kilkuset fF. Osiąga się to poprzez wbudowanie w głowicę sondy wzmacniacza buforowego. Małą pojemność zapewnia wejście z tranzystorem FET oraz odpowiednia konstrukcja głowicy i grotu. Spójrzmy na rys. 38. Przedstawia on uproszczony schemat sondy aktywnej. Jak widać składa się ona z trzech bloków: głowicy, przewodu i wtyczki. W głowicy umieszczony jest opcjonalny dzielnik oraz bufor. Ponieważ wyjście bufora jest niskoomowe, zatem możliwe jest zastosowanie w torze sygnałowym klasycznego przewodu koncentrycznego (w sondach biernych stosowany jest przewód ze środkową żyłą oporową). Od strony oscyloskopu jest on zakończony dopasowanym obciążeniem  $50 \Omega$ . Przez wyjście wzmacniacza w głowicy jest więc widziany jako czysta rezystancja.

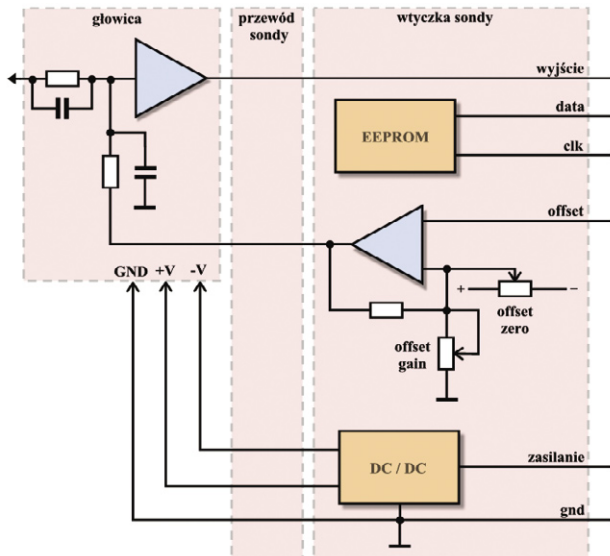
Ponieważ wzmacniacz w głowicy sondy musi być zasilany, przewód sondy aktywnej zawiera poza torcem sygnałowym także kilka dodatkowych żył. Widoczne jest to na rys. 40. We wtyczce sondy aktywnej umieszczony jest zazwyczaj zasilacz wzmacniacza oraz układ identyfikacji. Identyfikacja w najprostszym wydaniu, (ale też powszechnie stosowanym) to pamięć z interfejsem I<sup>2</sup>C, w której zapisane są nazwa sondy oraz wymagane nastawy. Po dołączeniu takiej sondy do oscyloskopu automatycznie ustawiana jest skala pionowa oraz włączane obciążenie  $50 \Omega$ . W zależności od rodzaju sondy (napięciowa, prądowa, optyczna) ustawiana jest także odpowiednia jednostka skali. Widoczny na rysunku obwód regulacji offsetu jest opcjonalny. Obwód ten wykorzystany być może podczas pomiarów małej składowej zmiennej



*Opisane w poprzednim odcinku sondy pasywne pracują w paśmie do kilkuset MHz. Dla wyższych częstotliwości nie da się pominąć wpływu stosunkowo dużej pojemności wejściowej. Dodatkowo, aby zapewnić względnie szerokie pasmo, sondy te muszą tłumić sygnał najmniej dziesięciokrotnie. Pomiar sygnałów o małych amplitudach i dużych częstotliwościach staje się problematyczny. W takim przypadku stosuje się sondy aktywne.*

nałożonej na dużą składową stałą. Regulacja offsetu sondy o zwrocie przeciwnym do składowej stałej badanego sygnału, pozwala obserwować składową zmienną na całej wysokości ekranu. Służy on także

do automatycznego wyrównywania przesunięć przebiegu wynikających np. ze zmian temperatury otoczenia wzmacniacza w głowicy sondy. Podczas kalibracji sondy dołącza się ją do wyjścia wewnętrznego



Rys. 38.

kalibratora, a dostrojenie dokładnej wartości wzmocnienia i offsetu wykonywane jest automatycznie. Sondy aktywne firmy Tektronix wyposażone w najnowszą wersję interfejsu VPI posiadają we wtyczce przycisk MENU. Pozwala on, po wciśnięciu, otworzyć na ekranie przyrządu okno z wszystkimi nastawami jakie są dedykowane dla sondy danego typu.

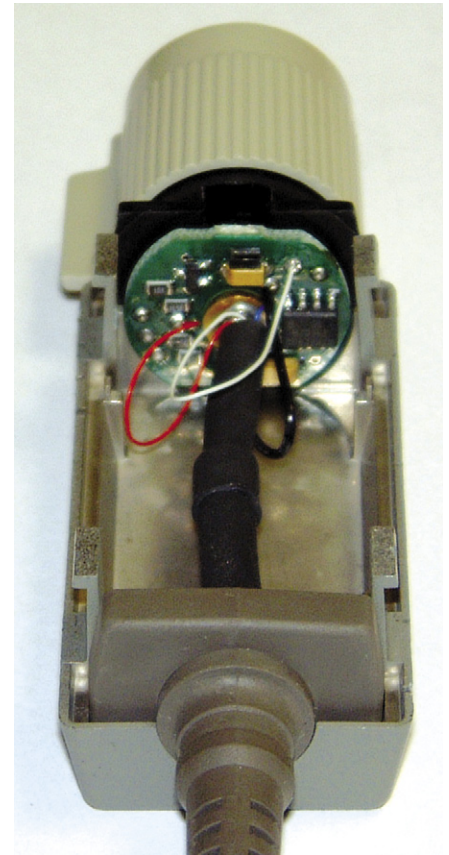
Na rys. 37 w poprzednim odcinku przedstawiona była zależność impedancji wejściowej sondy pasywnej od częstotliwości. Dla porównania na rys. 41 widoczna jest ta sama zależność dla sondy aktywnej 10X Tektronix P6243. Jak widać początkowa wartość jest mniejsza i wynosi 1 MΩ, ale utrzymywana jest do częstotliwości ok. 100 kHz. Dla sondy pasywnej 10X przy takiej częstotliwości, początkowa wartość impedancji wejściowej spadała z 10 MΩ do około 100 kΩ.

jak np. w przypadku sondy różnicowej Tektronix P5200.

Sondy aktywne są niezastąpione przy pomiarach sygnałów w szybkich układach cyfrowych. Ustępują sondom pasywnym jedynie maksymalnym dopuszczalnym napięciem wejściowym. Sonda pasywna ogólnego przeznaczenia, o stopniu podziału 10X, ma maksymalne napięcie wejściowe na poziomie kilkuset woltów (dla P2220 jest to np. 300 V). Maksymalne napięcie wejściowe dla sond aktywnych to zazwyczaj kilkadziesiąt woltów.

Odmianą sondy napięciowej aktywnej jest sonda różnicowa. Posiada ona w głowicy wzmacniacz różnicowy z niesymetrycznym wyjściem. W jednym z poprzednich odcinków przedstawiony był sposób pomiaru sygnałów różnicowych za pomocą dwóch sond pasywnych, dołączonych do dwóch kanałów oscyloskopu. Wadą takiego rozwiązania jest istnienie dwóch ście-

Zasilanie sond aktywnych najczęściej dostarczane jest z przyrządu poprzez interfejs sondy. Niestety, każdy producent stosuje w tym zakresie własne rozwiązania i dlatego sondy aktywne nie są kompatybilne z przyrządami innych producentów. Ponadto, nie każdy oscyloskop jest wyposażony w odpowiedni interfejs. Niekiedy możliwe jest jednak zasilanie z zewnętrznego zasilacza sieciowego,

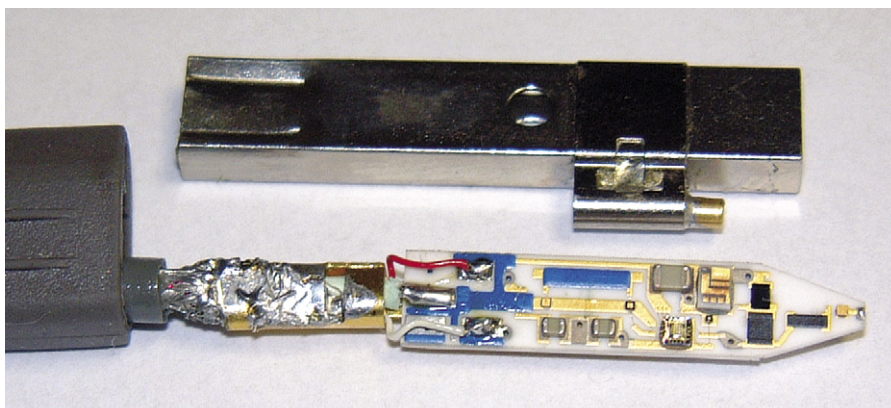


Fot. 40.

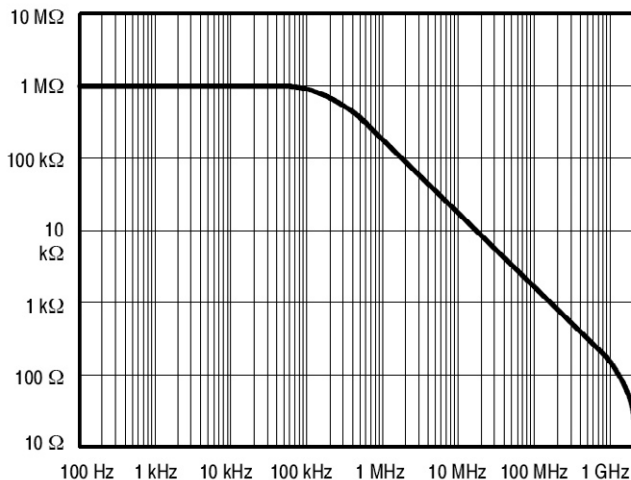
żek sygnałowych niedopasowanych idealnie zarówno pod względem wzmocnienia jak i wprowadzanych opóźnień. Dlatego taką metodę cechuje nienajlepszy współczynnik tłumienia sygnału wspólnego, zwłaszcza dla większych częstotliwości. Przeniesienie wzmacniacza różnicowego bezpośrednio do głowicy sondy radykalnie poprawia sytuację.

### Sondy prądowe

Podobnie jak w przypadku sond napięciowych, sondy prądowe również mogą być pasywne lub aktywne. Sonda prądowa pasywna to po prostu transformator, dla którego uzwojeniem pierwotnym jest przewód z mierzonym prądem. Sondy tego typu pozwalają mierzyć wyłącznie prąd zmienny, niekiedy w bardzo szerokim paśmie. Przykładem może być produkowana przez Tektronix sonda CT6, dla której górna częstotliwość pasma to aż 2 GHz. Znajdują one zastosowanie między innymi przy pomiarach dysków twardych, gdzie wartości prądu są nieduże a pasmo wymagane do pomiaru wąskich impulsów bardzo szerokie. Wadą



Fot. 39.



Rys. 41.

sond prądowych pasywnych jest nasycanie rdzenia transformatora obecną w mierzonym sygnale składową stałą.

Prądowe sondy aktywne wyko-

różnicy potencjałów pomiędzy elektrodami drugiej pary. Hallotron umieszczony jest w szczelinie rdzenia sondy. W ten sposób uzyskuje się poszerzenie dolnej granicy

rzystują do pomiaru czujnik Halla wykonany w postaci półprzewodnikowej płytki. Na jej brzegach umieszczone są dwie pary elektrod. Do jednej z par doprowadzone jest napięcie wymuszające przepływ prądu przez płytkę. Pole magnetyczne prostopadłe do powierzchni płytki powoduje powstanie

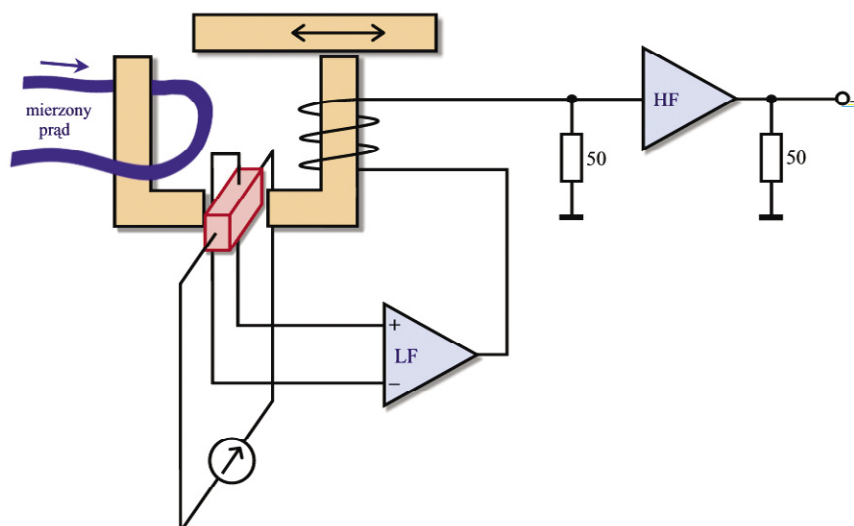
pasma pomiarowego do składowej stałej. Zasilanie doprowadzane jest bezpośrednio z przyrządu, poprzez interfejs sondy lub z wewnętrznej baterii. Wadą Hallotronu w omawianym zastosowaniu jest wrażliwość na pole magnetyczne Ziemi. Dlatego proste sondy prądowe, wykonane z użyciem tego elementu, mogą dodawać do obserwowanego przebiegu niewielkie przesunięcie zależne od orientacji sondy względem ziemskiego pola magnetycznego. Na szczęście sondy prądowe wyposażone są zazwyczaj w pokrętko regulacji offsetu. Offset powstaje też może pod wpływem namagnesowania rdzenia.

Najciekawszą konstrukcją sondy prądowej jest obwód pokazany na rys. 43. Wykorzystany jest tu zarówno transformator jak i hallotron. Dla prądu stałego (a także dla zmiennego o małej częstotliwości) napięcie z czujnika Halla jest wzmacniane i następnie doprowadzane do cewki. Przez cewkę płynie wtedy prąd, czego efektem jest pole magnetyczne o wartości równej w przybliżeniu polu wokół przewodu z mierzonym prądem, ale o przeciwnym zwrocie. Oba pola znoszą się zatem w rdzeniu sondy, dzięki czemu unika się jego szybkiego nasycania i większy jest zakres wartości prądu mierzony. Napięcie wyjściowe jest proporcjonalne do prądu płynącego przez cewkę. Ponieważ jednak zależy on od napięcia na wyjściu czujnika Halla, obserwowany na ekranie oscyloskopu przebieg odpowiada zmianom prądu w mierzonym obwodzie. Dla prądów zmiennych o większych częstotliwościach i bez składowej stałej sonda działa po prostu jak transformator. W zakresie częstotliwości pośrednich cewka pełni przy okazji rolę sumatora wolnozmiennego napięcia z Hallotronu oraz składowych o częstotliwościach większych, indukowanych w niej samej.

Rdzeń w sondach prądowych jest przeważnie wykonywany z dwóch części. Umożliwia to zapięcie sondy wokół przewodu bez potrzeby przerywania mierzonego obwodu na czas pomiaru. Najbardziej popularnym typem otwieranego rdzenia są tzw. cęgi. Innym spotykanym rozwiązaniem jest rdzeń w kształcie jak na rys. 43,



Fot. 42.



Rys. 43.

gdzie tylko jeden element jest ruchomy. Strumień magnetyczny w rdzeniu jest osłabiany na skutek istnienia szczeliny powietrznej na styku obu części rdzenia. Dlatego powierzchnie, którymi się one stykają są bardzo dokładnie szlifowane. Sondy prądowe na duże częstotliwości są jednak wykonywane z rdzeniem jednoczęściowym. Wymaga to, niestety, rozłączenia obwodu mierzonego i przewleczenia przewodu przez rdzeń.

Sondy prądowe nie są galwanicznie łączone z mierzonym obwodem, jak ma to miejsce w przypadku sond napięciowych czy w przypadku pomiaru prądu multimetrem. Nie znaczy to jednak, że go nie obciążają. Zapięcie sondy na przewodzie równoważne jest wprowadzeniu do obwodu mierzonego dodatkowej impedancji. Zazwyczaj modelowana jest ona równoległym połączeniem rezystancji o wartości

poniżej  $1 \Omega$  i indukcyjności poniżej  $5 \mu\text{H}$ . Dla przykładu, w dokumentacji sondy Tektronix P6021 podane są wartości  $4 \text{ m}\Omega$  i  $2,8 \mu\text{H}$ . Niekorzystny wpływ tej impedancji na kształt obserwowanych przebiegów zauważalny jest zwłaszcza dla większych częstotliwości i szybko narastających zboczy. Zwiększenie impedancji wtrącanej w mierzony obwód jest powodowane także ekranem magnetycznym rdzenia, którego zadaniem jest zabezpieczenie przed wpływem pól zewnętrznych.

Część aktywnych sond prądowych nie jest przeznaczona do pracy bezpośrednio z oscyloskopem ale poprzez dedykowany wzmacniacz. Zapewnia on zarówno zasilanie sondy o odpowiedniej wydajności, jak też pozwala zwiększyć czułość sondy. Dodatkowym jego wyposażeniem jest najczęściej obwód rozmagnesowywania rdzenia.

Dla sondy przedstawionej na ostatnim rysunku, generator zmiennego sygnału rozmagnesowującego podłączony jest do cewki pomiarowej na rdzeniu poprzez wzmacniacz LF, po uprzednim odłączeniu od jego wejścia czujnika Halla. Przy dłuższych pomiarach prądów o dużych wartościach rdzeń może zostać namagnesowany, czego wynikiem będzie dodanie do obserwowanych przebiegów składowej stałej. Dlatego zalecane jest okresowe wykonywanie rozmagnesowania.

Zwiększenie czułości sondy prądowej można też łatwo uzyskać przekładając przewód z mierzonym prądem przez rdzeń kilkakrotnie. Każdy taki zwój powoduje jednak zwiększenie impedancji wtrącanej w obwód, która niestety jest proporcjonalna do kwadratu ilości zwojów. Rośnie też wtedy zafalszowanie kształtu przebiegu. W celu zminimalizowania zakłóceń i wpływu obciążania, dobrą praktyką jest zapięcie sondy prądowej na przewodzie od strony masy lub niższego napięcia.

Podobnie jak w przypadku sond napięciowych, jeśli chcemy obserwować małą wartość składowej zmiennej na tle dużej składowej stałej, potrzebne jest wprowadzenie dodatkowego offsetu. Dla sond prądowych wykonać to można w ten sposób, że przez rdzeń sondy przekłada się dodatkowy przewód, w którym wymusza się przepływ prądu o znanej wartości i zwrocie przeciwnym do prądu płynącego w obwodzie badanym.

**Andrzej Kamieniecki  
Tespol**

## OFERUJEMY SZEROKĄ GAMĘ MIKROKONTROLERÓW:



MIKROKONTROLERY FIRMY ATMEL  
TYPU AVR... ORAZ AT89...



MIKROKONTROLERY PIC  
FIRMY MICROCHIP



**MICROS** Sp. z o.o.  
PODZESPOŁY ELEKTRONICZNE

Kraków, ul. Godlewskiego 38  
tel. (0-12) 636 95 66,  
fax. (0-12) 636 93 99,  
mail. biuro@micros.com.pl

[www.micros.com.pl](http://www.micros.com.pl)