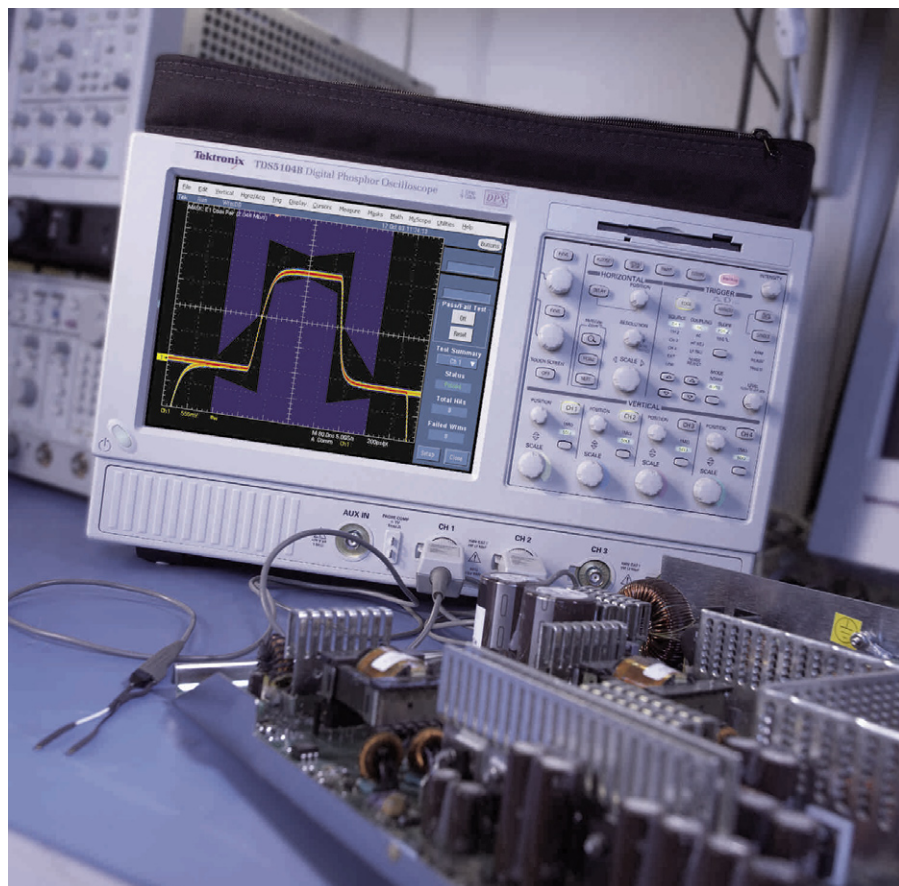


Pomiary oscyloskopowe: okiem praktyka, część 6

W tej części artykułu przedstawiamy zagadnienia związane z zapewnieniem bezpieczeństwa pomiarów w urządzeniach, w różnych potencjałach odniesienia, czyli w większości urządzeń zasilanych z sieci. Zagadnienie jest istotne nie tylko z powodu bezpieczeństwa użytkownika lecz także z powodu wysokich kosztów napraw serwisowych...

Izolowane kanały

Większość oscyloskopów pozwala zmierzyć napięcie w obwodzie, w którym jeden z punktów testowych połączony jest z masą. Poziom odniesienia wszystkich kanałów pomiarowych jest najczęściej wspólny i dodatkowo połączony z obudową przyrządu oraz zerem ochronnym sieci zasilającej. Łatwo jednak o tym zapomnieć. Przyzwyczajenie ugruntowane pomiarem napięć za pomocą multimetru może doprowadzić do uszkodzenia oscyloskopu lub mierzonego obwodu, a w najlepszym wypadku konieczności wymiany bezpieczników. Klasyczny przykład stanowi choćby obserwacja przebiegów na końcówkach tranzystora kluczującego w zasilaczu impulsowym. Pomiar napięć za pomocą multimetru jest prosty i, jeśli tylko ustawiony jest poprawny zakres, wynik otrzymujemy natychmiast. Jeśli teraz spróbować powtórzyć pomiar, ale wykorzystując oscyloskop, to próba dołączenia sondy pomiarowej skończy się najprawdopodobniej hukiem, dymem i zadziałaniem bezpiecznika. Dlaczego? Multimetr zasilany jest z baterii, a jego przewody pomiarowe dołączamy wyłącznie do mierzonego obwodu. Tymczasem oscyloskop zasilany jest z sieci energetycznej, a przewód odniesienia masy połączony jest z zerem ochronnym. Jeśli jeden z punktów, pomiędzy którymi chcemy zmierzyć napięcie, jest na wysokim poten-

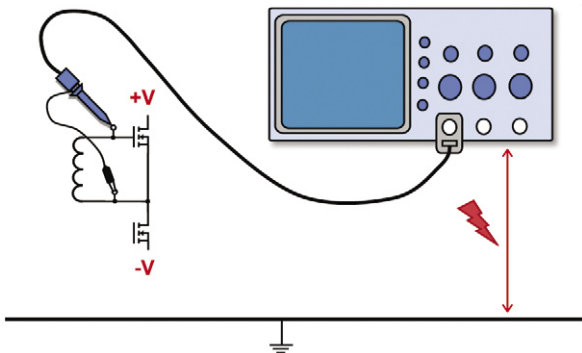


cjale, to dołączenie do niego masy sondy spowoduje oczywiście zwarcie z zerem ochronnym sieci.

Rozwiązań w tej sytuacji jest kilka. Najszybsze, ale i najbardziej niebezpieczne to przerwanie połączenia pomiędzy zerem a masą pomiarową. Pomiar będzie możliwy do przeprowadzenia, ale na masie i obudowie przyrządu pojawi się wysoki potencjał punktu pomiarowego. Jeśli dysponujemy oscyloskopem analogowym, to ma on najprawdopodobniej obudowę metalową, której dotknięcie może spowodować porażenie. Oscyloskopy cyfrowe są często zamknięte w obudowie plastikowej, choć to nie reguła. Niemniej elementy jak gniazda BNC kanałów pomiarowych czy masa zacisków do kompensacji sondy. Na nich może pojawić się niebezpieczne napięcie. Inne, równie ryzykowne rozwiąza-

nie stanowi zastosowanie transformatora separującego w obwodzie zasilania przyrządu. Zapewnia on galwaniczną izolację oscyloskopu od sieci energetycznej. Dołączenie sondy do badanego punktu jest jednak w dalszym ciągu niebezpieczne dla mierzącego.

Wykonywanie pomiarów z przerwaniem przewodem zera ochronnego lub przy zasilaniu oscyloskopu poprzez transformator separujący ma jeszcze jedną istotną wadę. Kiedy masa pomiarowa jest połączona z metalowym chassis przyrządu, to przy jej galwanicznej separacji od potencjału ziemi powstaje pojemność pomiędzy ziemią a obudową przyrządu. Jej wartość to najmniej kilkadziesiąt pF. Ponieważ jest ona połączona szeregowo z indukcyjnością przewodu sondy, tworzy się obwód rezonansowy. Dlatego szybkie skoki napięcia obserwowane będą



Rys. 23. Przy braku połączenia oscyloskopu z zerem ochronnym na jego obudowie i metalowych elementach może pojawić się niebezpieczne napięcie

z wyraźnym dzwonieniem na narastającym grzbiecie. Ponadto dołączenie przewodu odniesienia sondy do mierzonego obwodu, równoznaczne jest z dołączeniem do niego pojemności rzędu 100 pF do masy. Może się okazać, że zmienia to mierzony obwód w sposób na tyle istotny, że pomiar jest praktycznie niemożliwy.

Niektóre oscyloskopy można zasilac z akumulatorów, jak choćby Tektronix TDS3000, jednak wykonanie pomiarów w sytuacji konieczności dołączenia przewodu odniesienia sondy do punktu na wysokim potencjale, nadal obarczone jest opisanymi wadami. Dlatego razem z zestawem baterii dostarczany jest przewód do połączenia przyrządu z uziemieniem.

Znacznie bezpieczniejszym rozwiązaniem jest pomiar różnicowy. Jego ideę przedstawiono na rys. 24. Do dwóch kanałów dołączone są sondy. Przewody mas obu sond spięte są razem, a do badanego obwodu dołącza się wyłącznie grot sond. Ponieważ masa przyrządu połączona jest z zerem, zatem w każdym kanale mierzony jest napięcie w punkcie pomiarowym względem potencjału ziemi. Następnie oba przebiegi są odejmowane, a na ekranie obserwujemy jedynie ich różnicę, czyli napięcie pomiędzy grotami sond. Masa i metalowe elementy oscyloskopu znajdują się w tym wypadku na potencjale ziemi, więc pomiar jest całkowicie bezpieczny dla obsługi. W oscyloskopie analogowym łatwo taki pomiar zrealizować, gdyż jeden z kanałów pomiarowych, zazwyczaj drugi, ma możliwość włączenia odwracania fazy sygnału (przycisk INVERT). Najczęściej realizowane jest to zaraz za

dzielnikiem i buforem wejściowym. Większość lamp oscyloskopowych jest jednostrumieniowa, co oznacza, że w danej chwili kreślony jest przebieg tylko z jednego kanału. Linia opóźniająca i wzmacniacz końcowy odchylenia pionowego łączone są ze wzmacniaczami poszczególnych kanałów w sposób przełączany lub na stałe. W omawianym przypadku interesuje nas to drugie rozwiązanie

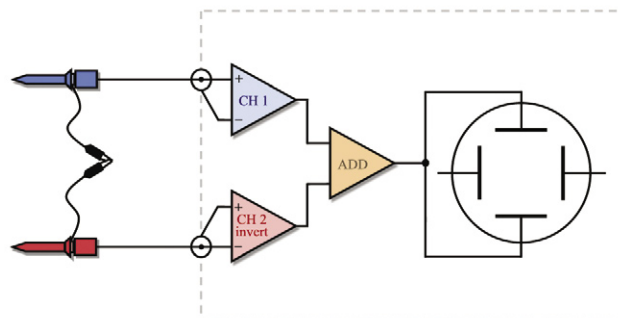
(przycisk ADD). Oba kanały są sumowane, ale ponieważ w jednym z nich włączone jest odwracanie fazy, więc końcowy stopień wzmacniacza sterowany będzie różnicą kanałów. Jeszcze prościej zrealizować to w oscyloskopie cyfrowym, gdzie różnica kanałów sprowadza się do obliczeń na próbkach pobranych i zapisanych w pamięci akwizycji. Obecnie podstawowe operacje matematyczne na przebiegach, jak suma i różnica przebiegów, są standardowym wyposażeniem oscyloskopu cyfrowego. Słabym punktem takiej metody jest zawężenie pasma oraz nienajlepszy współczynnik tłumienia sygnału wspólnego CMRR.

Warunkiem poprawnego pomiaru różnicowego wykonywanego w opisany sposób jest ustalenie identycznej skali toru sygnałowego w kanałach pomiarowych oraz zastosowanie takich samych sond. W oscyloskopie analogowym, poza skokową zmianą skali osi pionowej mamy do dyspozycji płynną regulację wzmocnienia w zakresie pomiędzy poszczególnymi ustawieniami skali. Przy pomiarach różnicowych daje to możliwość dokładnego wyrównania wzmocnienia torów sygnałowych. Przy połączeniu jak na rys. 24, grot sond dołączamy do jednego źródła sygnału (np. prostokątnego) i przy ustawieniu takich samych skal osi pionowej, w jednym z kanałów regulujemy poziom wzmocnienia do uzyskania na ekranie linii prostej. Obecnie

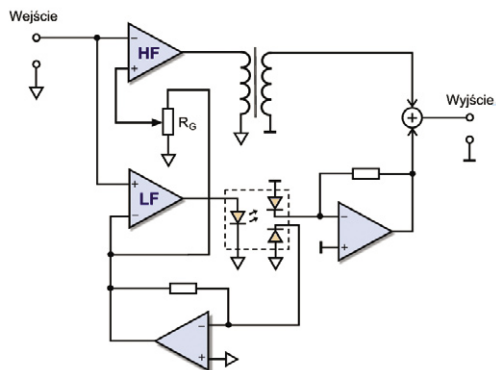
dostępne są także wysokonapięciowe sondy różnicowe. Są to sondy aktywne, wymagające dodatkowego zasilania wbudowanego wzmacniacza różnicowego. W porównaniu z opisaną metodą, wykonanie jednego pomiaru wymaga użycia tylko jednego kanału pomiarowego.

Bardzo użytecznym narzędziem pomiarowym może okazać się oscyloskop z izolowanymi kanałami. Masy kanałów pomiarowych tego typu oscyloskopów są galwanicznie odseparowane od masy i chassis przyrządu oraz od siebie nawzajem. Stwarza to dodatkowe możliwości jednoczesnych pomiarów w obwodach wysokonapięciowych (np. falowniki, zasilacze impulsowe), gdzie poziom odniesienia każdego z kanałów może znajdować się na innym, wysokim potencjale. Oscyloskopy takie zasilane są bateryjnie lub z zewnętrznego zasilacza, który nie łączy zera ochronnego z chassis oscyloskopu. Gniazda wejściowe kanałów pomiarowych są często chronione plastikowym kołnierzem uniemożliwiającym dotknięcie części metalowej.

Izolację toru pomiarowego wykonuje się z wykorzystaniem transoptorów lub transformatorów. Wadą transformatora jest brak możliwości przenoszenia składowej stałej. Z kolei transoptory pracują w stosunkowo wąskim paśmie i w dodatku niespecjalnie liniowo. Pasma typowego transoptora to pojedyncze MHz. Przykładem transoptora o dość szerokim paśmie, bo aż 17 MHz jest HCNW4562 (dostępny np. w Elfie). Jest to jednak w dalszym ciągu o wiele poniżej pasma współczesnego oscyloskopu. Ze względu na nieliniowość transoptory w torach sygnałowych oscyloskopów posia-



Rys. 24. Wykorzystując dwie sondy można wykonać różnicowy pomiar napięcia pomiędzy dwoma punktami na wysokim potencjale zachowując bezpieczeństwo obsługi



Rys. 25. Izolacja toru sygnałowego podzielona na dwie ścieżki: dla małej i dużej częstotliwości. Rozwiązanie stosowane w oscyloskopach firmy Fluke

dają jedną diodę LED i dwie fotodiody. Jedna fotodiody jest łączona z obwodem wyjściowym, natomiast druga służy do korekty liniowości w obwodzie wejściowym. Wprowadzenie izolacji w tor sygnałowy oscyloskopu często wymaga zastosowania obu typów elementów izolujących. Odbywa się to dzięki podziałowi ścieżki sygnałowej na dwa tory: o małej i dużej częstotliwości. Pierwszy z nich izolowany jest transoptorem, drugi transformatorem. Następnie sygnały z obu torów są sumowane. Trudnością w realizacji tego pomysłu jest zapewnienie płaskiej charakterystyki amplitudowej w całym paśmie, przy możliwie prostej metodzie strojenia. Jeden z wariantów takiego rozwiązania izolacji toru sygnałowego przedstawiono na **rys. 25**. Jest to pomysł stanowiący własność firmy Fluke. Dopasowanie charakterystyk przeniesienia obu części toru sygnałowego dokonuje się za pomocą rezystora R_C . Podobny sposób izolacji zastosowano w oscyloskopach Tektronix THS700. Inna jest jednak metoda regulacji wypadkowej charakterystyki przeniesienia i odbywa się po stronie wtórnej.

Produkowane obecnie oscylo-

skopy Tektronix TPS2000 jako element izolacyjny wykorzystują wyłącznie transformator. Przenoszenie składowej stałej uzyskano dzięki modulacji amplitudy. Schemat blokowy takiego rozwiązania przedstawia **rys. 26**. Po obu stronach transformatora znajdują się mieszacze AD8343 (katalogowe pasmo pracy DC...2500 MHz). Sygnałem modulowanym jest przebieg prostokątny o częstotliwości 242,424 MHz. Częstotliwość ta jest czterokrotnym powieleniem sygnału zegarowego 60,606 MHz wykorzystywanego przez układ akwizycji.

Sygnałem modulującym jest sygnał mierzony. Po przejściu przez transformator następuje jego demodulacja w drugim mieszaczu. Za nim znajduje się dolnoprzepustowy filtr Bessela piątego rzędu o częstotliwości odcięcia 200 MHz. Jego zadaniem jest odfiltrować powstające przy demodulacji wąskie szpilki. Rozwiązanie to chronione jest patentem amerykańskim z roku 2006, ale bardzo podobna metoda opisana jest też w patencie o siedem lat wcześniejszym i stanowiącym własność firmy Iwatsu. W oscyloskopach z izolowanymi wejściami firmy Fluke także możemy spotkać podobny sposób izolacji toru sygnałowego. Prostokątny sygnał nośny modulowany jest amplitudowo w układzie mnożącym a następnie podawany na transformator izolujący.

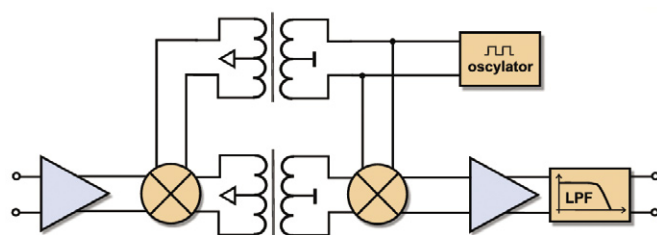
Po wtórnej stronie transformatora nie ma jednak drugiego układu mnożącego, ale obwód śledząco-próbkujący, zapamiętujący wartość amplitudy kolejnych impulsów nośnej. Jest ona następnie

przetwarzana w przetworniku analogowo-cyfrowym na postać cyfrową i umieszczana w pamięci akwizycji.

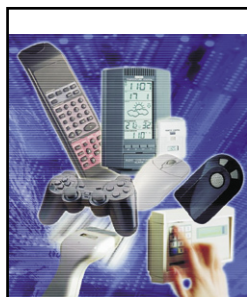
Jeszcze innym sposobem izolacji jest przełączanie mas. W takim wypadku pomiędzy dwoma izolowanymi końcami toru sygnałowego znajduje się obwód śledząco-próbkujący. W fazie śledzenia masa tego obwodu połączona jest z masą wejściową toru. Po przejściu do fazy pamiętania, masa wejściowa jest odłączana, a układ jest przyłączany do masy wyjściowej i zapamiętana wartość napięcia przetwarzana jest w przetworniku analogowo-cyfrowym. Masy zacisków wejściowych i wyjściowych są odseparowane, a znajdujący się pomiędzy nimi układ próbkujący jest w danym momencie połączony tylko z wejściem lub wyjściem.

Poza oscyloskopami z izolowanymi kanałami produkowane są specjalizowane wzmacniacze izolacyjne, wykonane jako zewnętrzne urządzenia łączone z oscyloskopem. Pozwalają one odizolować kanały klasycznego oscyloskopu od masy przyrządu oraz od siebie nawzajem. Najczęściej stosowanym w nich rozwiązaniem jest podział ścieżki sygnałowej na dwie części i izolacja optyczna oraz elektryczna (transpator i transformator). Przykładem takich urządzeń są wzmacniacze serii A6900 firmy Tektronix.

**Andrzej Kamieniecki
Tespól**



Rys. 26. Izolacja toru sygnałowego w oscyloskopach Tektronix TPS2000



avrside.ep.com.pl

...specjalnie dla użytkowników AVR-ów