

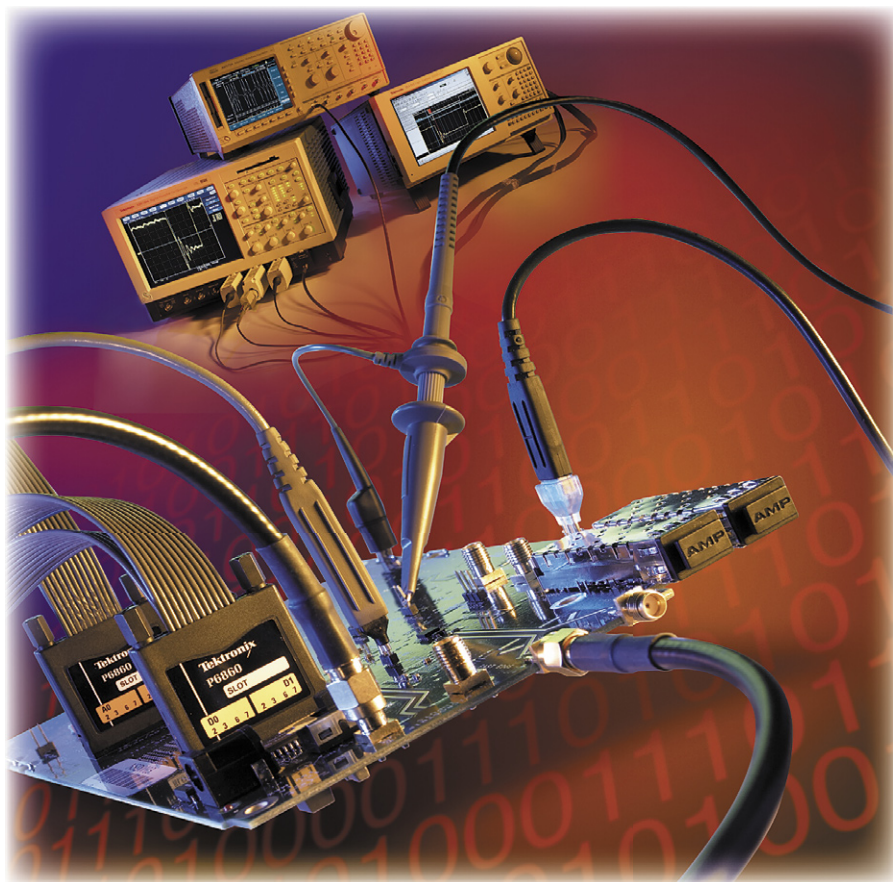
Pomiary oscyloskopowe: okiem praktyka, część 7

Przechodzimy do prezentacji „tajników” sond pomiarowych, które są niepozornym, ale niezwykle istotnym elementem toru pomiarowego. Szczegóły – na przykładach – prezentujemy w artykule.

Sondy napięciowe

Ważnym elementem oscyloskopu jest sonda pomiarowa stanowiąca połączenie pomiędzy przyrządem a mierzonym obwodem. Jej zadaniem jest transport sygnału od punktu pomiarowego do wejścia oscyloskopu. Zmiana parametrów badanego obwodu wywołana dołączeniem do niego sondy powinna być możliwie mała, a transport sygnału – odbywać się bez zauważalnych zmian kształtu przebiegu. Spełnienie tych oczywistych wymagań niekoniecznie musi być proste. W dalszej części tego odcinka zobaczymy, jakie są ich konstrukcyjne konsekwencje.

Większość pomiarów wykonywanych oscyloskopem dotyczy sygnałów napięciowych, stąd podstawowym rodzajem sondy jest sonda napięciowa. Różnorodność produkowanych sond jest prawie tak duża jak samych oscyloskopów. Wynika to zarówno z wymagań mechanicznych, jak i elektrycznych konkretnych pomiarów. W najprostszym przypadku sondy napięciowe wykonywane są wyłącznie z elementów biernych i właśnie na takich się skupimy. Stanowią one standardowe wyposażenie nowych przyrządów w ilości równej liczbie kanałów wejściowych. Kupując oscyloskop

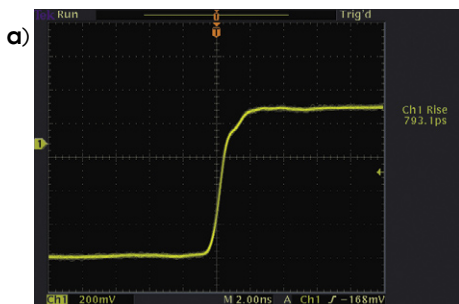


„z drugiej ręki” warto zwrócić uwagę, czy jest wyposażony w jakiekolwiek sondy pomiarowe.

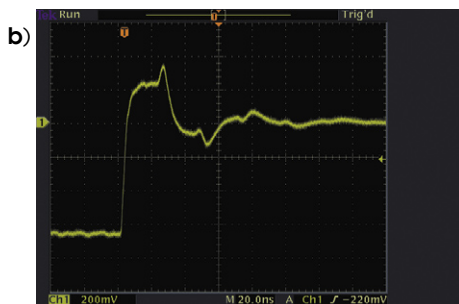
Dobre, markowe sondy są drogie i można mieć wątpliwości, czy opłaca się w nie inwestować. Przecież pomiary za pomocą multimetru wykonuje się korzystając z dwóch zwykłych przewodów. Może i tu znalazłyby one zastosowanie. Sprawdźmy to. Do oceny jakości posłuży nam sygnał prostokątny o częstotliwości 1 kHz i czasie

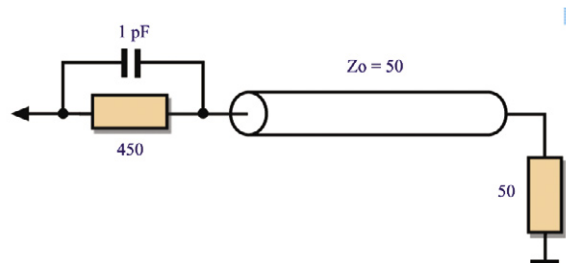
narostu zbocza ok. 800 ps. W sytuacji wzorcowej generator połączony jest z oscyloskopem za pomocą przewodu koncentrycznego zakończonego obciążnikiem 50-omowym. Wynik pomiaru widoczny jest na **rys. 27 a**. Jeżeli teraz użyjemy dwóch przewodów od multimetru, powinniśmy uzyskać przebieg podobny do przedstawionego na **rys. 27b**. Jest to rezultat raczej marny. Zostawmy więc przewody laboratoryjne przy multimetrze i spróbujmy poszukać innego rozwiązania.

Aby uniknąć wpływu zakłóceń od zewnętrznych źródeł, wykorzystamy przewód koncentryczny. Gdy na końcu obciążymy go rezystancją odpowiadającą jego impedancji charakterystycznej, wówczas na wejściu będzie on widziany jako czysta rezystancja. Jeśli taki przewód traktować jak sondę, to powinna ona zapewnić dość szerokie pasmo. Dla wielu może okazać się zaskoczeniem, że produkuje się tak



Rys. 27.

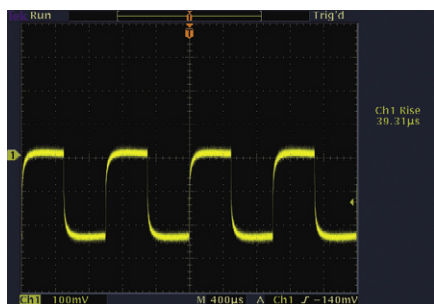




Rys. 28.

proste sondy, a ich cena jest stosunkowo wysoka, mimo że składają się w zasadzie z przewodu, grotu i niczego więcej (obciążalnik 50 Ω jest elementem obwodu wejściowego kanału pomiarowego oscyloskopu). W uproszczeniu, opisany przewód to po prostu sonda rezystorowa 1X. Produkowane sondy tego rodzaju charakteryzują się pasmem nawet kilkunastu GHz lub więcej. Nie zapominajmy jednak, że impedancja wejściowa jest tu mała (stąd spotykana nazwa: *low Z passive probe*) i niestety nie wszędzie można tę sondę wykorzystać. Pewną modyfikacją jest układ przedstawiony na rys. 28. Rezystor wejściowy tworzy z obciążeniem dzielnik napięciowy o stopniu podziału 10. Zastosowanie kondensatora C_1 pozwala ten dzielnik skompensować i dla $R_1 C_1 = R_0 C_0$ pracuje on jak obwód wyłącznie rezystorowy w dość szerokim paśmie. Rezystancja wejściowa sondy wynosi teraz 500 Ω, a pojemność wejściowa jest rzędu 1 pF. Jednak w dalszym ciągu może to stanowić istotne obciążenie dla obwodu mierzonego.

Przedstawione sondy przeznaczone są do pracy z wejściami 50 Ω. Zauważa to zakres ich zastosowań. Powszechnie używane sondy biernie są typu RC i dołącza się je do wejść wysokoimpedancyjnych 1 MΩ. Aby poznać sekrety konstrukcji takiej sondy, spróbujmy ją po prostu zbudować. Przewód sondy zakończony jest tu impedancją o wiele większą od swojej impedancji charakterystycznej i w pewnym zakresie częstotliwości może być rozpatrywany



Rys. 29.

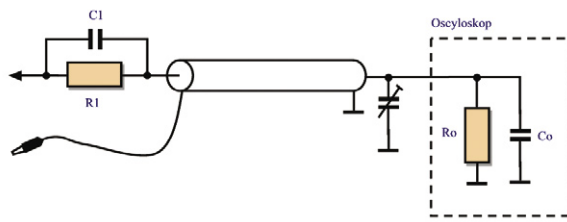
jako odcinek linii długiej rozwartej na końcu. Linia taka będzie widziana od strony wejścia jako pojemność. Dodatkowo dołoży się pojemność wejściowa oscyloskopu. Można się zatem spodziewać, że pasmo pracy takiej sondy wyjątkowo szerokie nie będzie. Jeśli spojrzymy na parametry sond RC z podziałem 1X, zauważymy, że pasmo ich pracy to zaledwie pojedyncze MHz lub nieco więcej. Dlatego sondy RC pracują zazwyczaj z podziałem 10X. Aby to uzyskać, na ich wejściu umieszcza się rezystor 9 MΩ, który z rezystancją toru pomiarowego tworzy dzielnik 1:10. Spróbujmy teraz wykonać sondę samodzielną. Autor wykorzystał w tym celu półtorametrowy odcinek przewodu koncentrycznego dołączony jednym końcem do oscyloskopu. Do środkowej żyły drugiego końca przewodu został dolutowany rezystor 9 MΩ, a całość zamknięta w oprawce po dwustronnym gnieździe BNC (wyciągnięty środek). Dzięki takiemu wykonaniu „grotu” sondy możliwe było jej łatwe przyłączenie do obciążalnika przelotowego BNC umieszczonego na wyjściu generatora. Na rys. 29 przedstawiono efekt pomiaru sygnału testowego. Jak widać, zbocza narastające są znacznie zaokrąglone. Świadczy to o nieskompensowaniu dzielnika sondy. Aby tego dokonać, należy równolegle do rezystora wejściowego dołączyć niewielką pojemność. Schemat sondy przedstawia rys. 30. Rezystancja wejściowa wynosi:

$$R_{WE} = R_1 + R_0$$

a pojemność wejściowa:

$$C_{WE} = \frac{C_1 \cdot C_0}{C_1 + C_0}$$

Jak widać, uzyskaliśmy zwiększenie rezystancji wejściowej przy jednoczesnym zmniejszeniu pojemności widzianej na zaciskach wejściowych sondy (czyli od strony badanego obwodu). W praktyce często pojemność

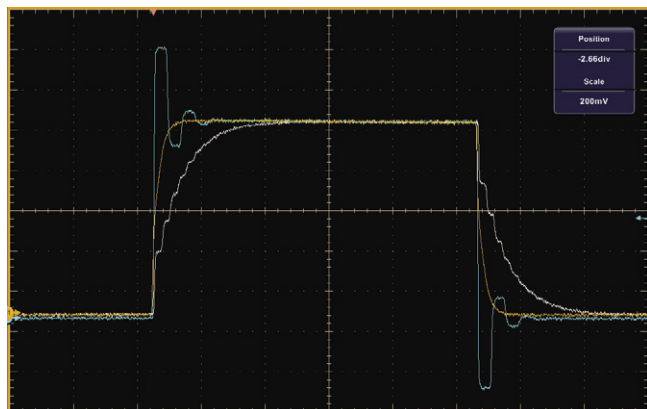


Rys. 30.

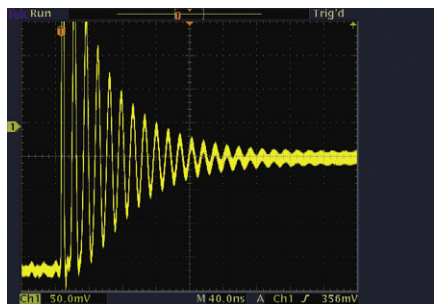
równoległa do R_1 jest stała, a kompensację dzielnika wykonuje się trymerem dołączonym na końcu sondy. Ze względu na rozrzut w parametrach sond i obwodów wejściowych oscyloskopów, kompensację sondy powinno wykonywać się przed pomiarem, po każdym dołączeniu danej sondy do konkretnego wejścia. Wyjście generatora kompensującego jest zazwyczaj wyprowadzone na przedni panel przyrządu. Strojąc trymerem należy uzyskać przebieg prostokątny bez przerostów i zaokrągleń na zboczach. Kompensacja sondy wpływa na jej pasmo. Charakterystyka częstotliwościowa sondy przekompensowanej ma podbicie na końcu pasma. Dlatego sygnały sinusoidalne o częstotliwościach leżących w zakresie tego podbicia będą widoczne z zawyżoną amplitudą. Z kolei charakterystyka sondy niedokompensowanej jest zawężona.

Przewód sondy RC jest niedopasowany impedancyjnie z obu końców. Zauważa się to zwłaszcza podczas pomiarów impulsowych. Impuls odbity od końca linii wraca do jej początku, gdzie odbija się ponownie. Co prawda, zjawisko to ma też swoje praktyczne zastosowanie w reflektometrii w dziedzinie czasu, ale w omawianym przypadku jest niekorzystne. Spójrzmy na rys. 31, na którym sygnał w niedopasowanej linii przedstawiono kolorem niebieskim. Kolejne odbicia są wyraźnie widoczne. Rozwiązanie może stanowić umieszczenie na drodze tych odbić tłumiącej je rezystancji. Rezultat umieszczenia w środku przewodu rezystora o wartości 330 Ω zaznaczono kolorem białym. Powszechnie stosowane rozwiązanie nie jest jednak dokładnie takie. Jeśli ktoś próbował naprawiać sondę tego typu, z pewnością miał okazję zauważyć, że żyły środkowej nie można lutować. Dzieje się tak, ponieważ jest ona wykonana z materiału oporowego. Wynik zastosowania przewodu z żyłą środkową o rezystancji 360 Ω na odcinku 1,5 m zaznaczono kolorem pomarańczowym. Teraz odbicia są praktycznie niewidoczne. Pomysłodawcą zastosowania

przewodu oporowego była firma Tektronix. Jako ciekawostkę warto odnotować fakt, że na początku lat osiemdziesiątych ubiegłego wieku można było zaopatrzyć się w sondę wyprodukowaną przez wrocławską Radiotechni-



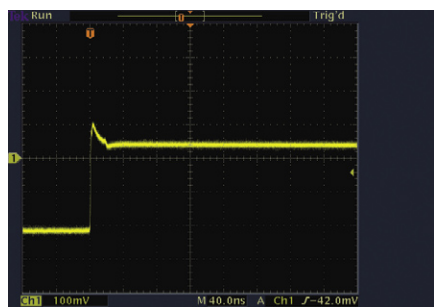
Rys. 31.



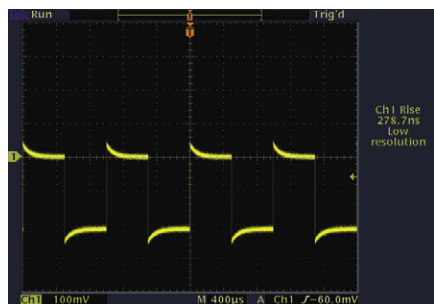
Rys. 32.

kę, w której w połowie długości przewodu wlutowany był rezystor MŁT. Całość zakryta luźną, maskującą kosulką z czasów, kiedy dobrodziejstwo materiałów termokurczliwych nie było jeszcze powszechne.

Pojemność wejściowa sondy wraz z indukcyjnością przewodu tworzy szeregowy obwód rezonansowy. Pobudzenie go szybkim skokiem spowoduje powstanie oscylacji. Żeby się o tym



Rys. 33.



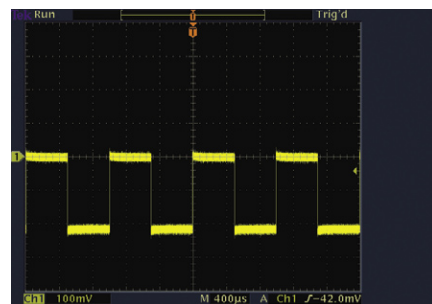
Rys. 34.

przekonać, powróćmy do naszej własnoręcznie wyprodukowanej sondy. Tym razem w miejsce rezystora i kondensatora wejściowego zastosowano fabryczny grot sondy Tektronix P6139 A o paśmie 500 MHz. Wynik pomiaru zbocza sygnału testowego dla przewodu sondy wykonanego ze standardowego

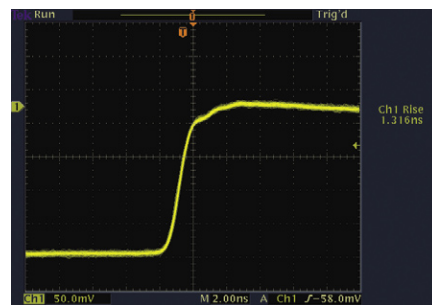
przewodu koncentrycznego przedstawia rys. 32. Jak widać, oscylacje są znaczne. Wymiana tego przewodu na taki, którego żyłę środkową wykonano z drutu oporowego (wg katalogu 60 Ω/stopeł) radykalnie poprawia sytuację, co przedstawiono na rys. 33. Wynik jest prawie akceptowalny. Prawie, ponieważ po zmianie skali poziomej oscyloskopu widać, że sonda jest wyraźnie przekompensowana. Widać to na rys. 34. Powodem jest pojemność połączona równolegle z rezystorem wejściowym. Aby dzielnik skompensować, należałoby teraz zwiększyć pojemność na końcu sondy, przy gnieździe wejściowym oscyloskopu. W tym celu wykorzystany został trójnik BNC, do którego wolnego końca został dołączony kondensator 15 pF do masy. Rezultat przedstawiony jest na rys. 35. Ostatecznie, po poprawieniu staranności wykonania połączeń, zmierzono zbocze narastające sygnału testowego. Jak widać na rys. 36 uzyskany rezultat jest bardzo dobry. Wydłużenie czasu narostu (w porównaniu z przebiegiem z rys. 27 a) spowodowane jest skończonym pasmem sondy (pojemność wejściowa).

Sondy RC przeznaczane są do pracy z wysokoomowym wejściem oscyloskopu. Nie należy ich stosować z wejściami 50-omowymi. Utworzony wówczas dzielnik rezystorowy nie jest 1:10, ale 1:180000. Obserwowany sygnał przedostaje się do wejścia głównie poprzez równoległą pojemność kompensującą rezystora wejściowego. Choć wydać się to może oczywiste, autor nie raz spotkał się z taką sytuacją oraz sugeruję, że sonda lub kanał pomiarowy jest uszkodzony.

Dołączenie sondy do badanego obwodu wiąże się z jego obciążeniem. Wydawać by się mogło, że sonda bierna RC 10X, której rezystancja wej-



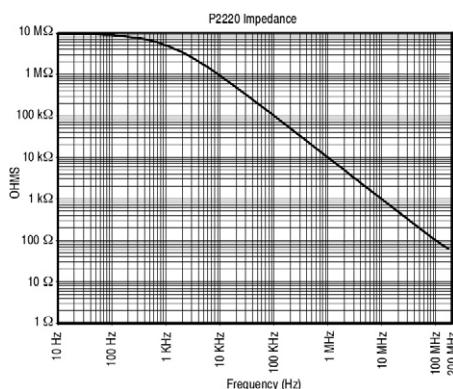
Rys. 35.



Rys. 36.

ściowa wynosi 10 MΩ prawie w ogóle nie wnosi istotnego obciążenia. Pamiętać należy jednak, że istnieje też pojemność wejściowa. Dla sygnałów zmiennych o wyższych częstotliwościach impedancja wejściowa sondy będzie maleć. Na rys. 37 przedstawiono zależność modułu impedancji sondy Tektronix P2220 w zależności od częstotliwości. Dla większych częstotliwości wartość impedancji wejściowej sondy spada nawet do kilku omów (wg pomiarów przeprowadzonych przez autora dla P2220 jest to ok. 8...10 Ω). Z kolei powyżej pewnej częstotliwości dają znać o sobie indukcyjności i impedancja nieznacznie wzrasta. Dlatego np. próba obserwacji drgań w obwodzie w.c.z. zakończy się ich stłumieniem z chwilą dołączenia sondy.

**Andrzej Kamieniecki
Tespól**



Rys. 37.