

# Oscyloskop – najważniejszy przyrząd pomiarowy w pracowni elektronika

## CZĘŚĆ 8

### Pomiary

W poprzednich odcinkach cyklu omówiono główne grupy oscyloskopów i ich możliwości pomiarowe. Parametry oscyloskopu, w szczególności szerokie pasmo przenoszenia to jednak nie wszystko.

Udowodni to niniejszy odcinek, poświęcony bardzo ważnym zagadnieniom praktycznym.

Każdy elektronik dokonujący pomiarów jakimkolwiek przyrządem powinien sobie zadać dwa podstawowe pytania:

1. Czy dołączenie przyrządu pomiarowego nie wpływa na pracę i parametry badanego układu?
2. Czy przyrząd dokładnie pokazuje mierzone wielkości, czy może „po drodze” do sygnału badanego przenikają zakłócenia, fałszujące wynik.

Pytania te są jak najbardziej na miejscu w przypadku pomiarów dokonywanych przy użyciu oscyloskopu.

Omówimy to bliżej.

### Wpływ oscyloskopu na pracę badanego układu

Początkujący elektronik zwykle bagatelizuje sprawę wpływu dołączenia oscyloskopu na pracę badanego układu. Wie przecież, że rezystancja wejściowa każdego oscyloskopu wynosi aż 1 megaom. 1 megaom to rzeczywiście bardzo duża rezystancja, a więc wpływ jej dołączenia powinien być znikomy, prawie niezauważalny. Przecież rezystancje, z jakimi zwykle mamy do czynienia w układach są rzędu omów, ewentualnie kiloomów...

To wszystko prawda, ale tylko w odniesieniu do prądu stałego i małych częstotliwości, nie większych niż kilkadziesiąt kiloherców.

Przy większych częstotliwościach oscyloskop ma oporność znacznie mniejszą niż 1MΩ!

Dlaczego?

Po pierwsze nie wolno zapominać o pojemności wejściowej samego oscyloskopu. Wynosi ona

20...50pF w tanich oscyloskopach, i 6...30pF w dobrych oscyloskopach profesjonalnych.

Po drugie trzeba pamiętać, że do tego dochodzi jeszcze pojemność kabla pomiarowego. Przewód ekranowany (lub koncentryczny) o długości 1m może mieć pojemność dochodzącą do 100pF.

Wrz z pojemnością wejściową oscyloskopu daje to, powiedzmy, 140pF.

Dołączając kabel oscyloskopu do jakiegoś punktu, dołączamy więc między ten punkt a masę pojemność 140pF.

Czy to może coś zmienić w układzie?

Obliczmy, jaką oporność (reaktancję) będzie mieć taka pojemność przy częstotliwości powiedzmy 15MHz:

$$X_c = \frac{1}{2\pi f C}$$

podstawiamy:

$$X_c = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 15 \text{MHz} \cdot 140 \text{pF}} = 75,8 \Omega$$

Tylko 75 omów ?!

I jak to się ma do rezystancji wejściowej 1MΩ, podanej w danych katalogowych?

Wyobraźmy sobie jeszcze, co się stanie, gdy oscyloskopem z takim kablem spróbujemy zmierzyć przebiegi w obwodzie rezonansowym generatora LC o częstotliwości, powiedzmy, 15MHz. Tam pojemności w układzie są rzędu kilkudziesięciu pikofaradów. Najprawdopodobniej po dołączeniu oscyloskopu generator przestanie pracować. Natknijemy się na paradoksalną sytuację – oscyloskop pokaże, że generator nie pracuje, jednak po odłączeniu oscyloskopu układ, którego częścią jest ten generator, może dawać „oznaki życia”.

Nieświadomy elektronik dołączy oscyloskop na stałe i będzie próbował ustalić, który element jest przyczyną milczenia generatora. Wymieni wszystkie elementy i zniechęci się zupełnie. Nabierze przekonania, że to schemat jest zły, a winę za niepowodzenie ponosi konstruktor układu, czy autor książki, z której pochodzi schemat.

Być może generator jednak zadziała. Wtedy jednak pojemność oscyloskopu i kabla niewątpliwie zmieni częstotliwość drgań (w stopniu zależnym od tego, w którym punkcie układu został dołączony oscyloskop). Próba nastrojenia takiego generatora przy użyciu oscyloskopu nie da więc zadowalającego rezultatu.

To jest bardzo jaskrawy i skrajny przykład. Ma on pokazać, że bezkrytyczne podejście do pomiarów może dać błędne wyniki, a nawet zniechęcić do uprawiania elektroniki.

Elektronik rozumiejący problem znajdzie sposób na pomiar takiego generatora – nie będzie mierzył przebiegu na obwodzie rezonansowym, tylko gdzieś dalej, na kolejnym stopniu wzmocnienia. W razie potrzeby dołączy prosty wtórnik z tranzys-

Fot. 1. Krajowa sonda 1:10



torem FET, albo znajdzie jeszcze inną metodę przeprowadzenia w miarę dokładnego pomiaru.

W każdym razie trzeba mieć świadomość, że dołączenie przyrządu pomiarowego zawsze coś zmienia w badanym układzie.

Dobry elektronik powinien zdawać sobie sprawę, na ile może to zmienić wyniki pomiaru i zabużyć pracę układu.

Przykład z generatorem w.cz. może niektórych wręcz przerazić. Oporność wejściowa równa  $75\Omega$ , zamiast spodziewanej  $1000000\Omega$  to rzeczywiście spora niespodzianka.

Ale, żeby nie demonizować, policzmy oporność (reaktancję) naszego oscyloskopu ze wspomnianym kablem, dla częstotliwości 20kHz, czyli dla górnej częstotliwości pasma akustycznego.

$$X_c = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 20\text{kHz} \cdot 140\text{pF}} = 56,84\text{k}\Omega$$

To wprowadzi też nie jest zachwycający wynik, ale oporność 56 kiloomów nie stanowi już takiego zagrożenia dla układu małej częstotliwości.

Z pewnością możemy mierzyć przy użyciu zwykłego kabla przebiegi na wyjściach wzmacniacza czy nawet przedwzmacniacza. Ale niewątpliwie należy zachować ostrożność przy dołączaniu oscyloskopu do obwodów małej częstotliwości, gdzie występują rezystancje o porównywalnej lub większej wartości.

Z tego widać, że nawet w układach m.cz. należy uwzględniać obciążenie wnoszone przez oscyloskop. Czy jest jakieś wyjście i możliwość poprawy sytuacji? Jest, i to nie jedno!

Przy dotychczasowych obliczeniach przyjęliśmy skrajnie niekorzystne warunki. Nawet gdy oscyloskop ma pojemność wejściową równą 40pF, możemy zastosować krótki kabel (10...20cm) i wypadkowa pojemność nie przekroczy 60pF.

Da to ponad dwukrotne zwiększenie szkodliwej oporności (impedancji) obciążenia, czyli znaczne zmniejszenie wpływu dołączenia oscyloskopu.

Rozważaniami dotyczącymi rodzaju stosowanego kabla zajmiemy się później.

Z tego, co zostało powiedziane, wynika wniosek, że w większości układów małej częstotliwości można przeprowadzać pomiary oscyloskopowe przy użyciu możliwie krótkiego kabla pomiarowego.

Czy jednak można jeszcze bardziej zmniejszyć wpływ szkodliwego obciążenia wprowadzanego przez oscyloskop? Przecież barierą jest tu pojemność samego oscyloskopu – nawet z króciutkim kablem nie uda się jej zmniejszyć poniżej 40pF... Czy oby na pewno?

Część Czytelników będzie zaskoczona, gdy się dowie, że istnieją proste sposoby zmniejszenia pojemności, poniżej pojemności samego oscyloskopu!

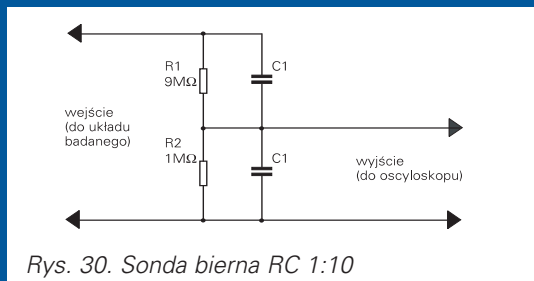
Wystarczy zastosować sondę tłumiącą sygnał. Fotografii w artykule pokazują różne sondy.

Najpopularniejsze są sondy biernie RC, tłumiące sygnał 10-krotnie. Często takie sondy stanowią standardowe wyposażenie oscyloskopu. W opisie takiej sondy zawsze występuje określenie 1:10. I znów nieświadomi, początkujący elektronicy sądzą, że takie sondy buduje się jedynie po to, by móc mierzyć większe napięcia. To prawda, że sondy 1:10 umożliwiają pomiar wyższych napięć, na-

wet do kilkuset woltów. Buduje się także sondy o współczynnikach tłumienia 1:100 i 1:1000, które umożliwiają pomiar przebiegów o amplitudach rzędu kilowoltów.

Ale sondy tłumiące sygnał stosuje się przede wszystkim ze względu na zmniejszenie pojemności obciążającej układ.

Podstawowy schemat sondy pokazany jest na **rysunku 30**. Teoretycznie potrzebne są tylko rezystory dzielnika, jednak wskutek istnienia różnych szkodliwych pojemności montażowych, do wyrównania charakterystyki częstotliwościowej niezbędne są niestety kondensatory. Niestety, bo kondensatory te obniżają oporność wejściową sondy przy większych częstotliwościach.



Rys. 30. Sonda bierna RC 1:10

Nie wchodząc w szczegóły podamy tylko jeden prosty wzór. Jeśli

$$R1C1 = R2C2$$

to dzielnik jest skompensowany częstotliwościowo, czyli jednakowo tłumia sygnały w szerokim paśmie częstotliwości.

Ponieważ rezystancja R1 jest dziewięciokrotnie większa niż R2, więc pojemność C1 będzie dziewięciokrotnie mniejsza niż C2! To oznacza, że w idealnym przypadku za pomocą sondy 1:10 moglibyśmy zmniejszyć pojemność wejściową dziesięciokrotnie, a z pomocą sondy 1:100 – aż stukrotnie!

W praktyce nie udaje się co prawda zmniejszyć pojemności aż tyle razy, jednak efekt jest godny uwagi.

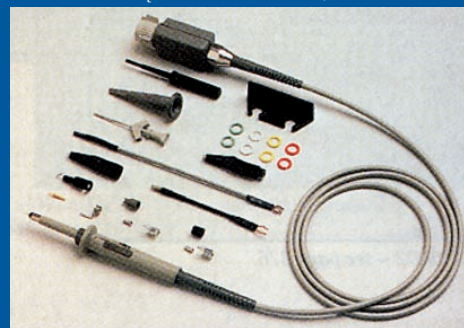
Budowa typowej biernej sondy oscyloskopowej jest nieco odmienna od postaci, pokazanej na rysunku 30.

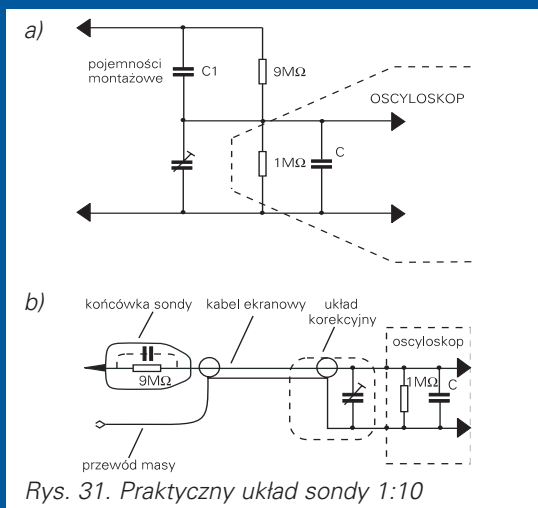
Rzecz w tym, że sam oscyloskop ma rezystancję  $1\text{M}\Omega$  i jakąś pojemność – stają się one częścią dzielnika napięcia. Typowy schemat sondy 1:10 współpracującej z oscyloskopem pokazany jest na **rysunku 31a** i **31b**. Jak widać, sonda zawiera w zasadzie tylko rezystor i trymer (kondensator zmienny), a pojemność C1 jest zwykle pojemnością montażową rezystora i obudowy.

Trymer jest potrzebny, by prawidłowo skompensować sondę dołączoną do różnych oscyloskopów, różniących się wartością pojemności wejściowej.

Przy bliższym przeanalizowaniu rysunku 31 okazuje się, że aby sonda była prawidłowo skompensowana dla różnych pozycji przełącznika czułości toru Y w oscyloskopie, pojemność wejściowa oscyloskopu musi być jednakowa we wszystkich położeniach przełącznika czułości. Wszystkie fabryczne oscyloskopy spełniają ten ważny warunek.

Fot. 2. Przelączana sonda 1:1/1:10





Rys. 31. Praktyczny układ sondy 1:10

Jeśli jednak ktoś próbuje samodzielnie zbudować oscyloskop, bardzo rzadko zwraca uwagę na ten „drobiazg” i potem oscyloskop na każdym zakresie ma inną pojemność wejściową i nie nadaje się do współpracy z sondą 1:10.

Ta sprawa jest jeszcze jednym argumentem, przeciwko budowaniu byle jakich oscyloskopów we własnym zakresie.

**Każda sonda bierna 1:10, 1:100 i 1:1000 musi być przed pomiarem skalibrowana częstotliwościowo.**

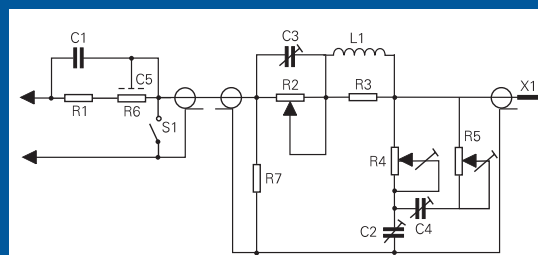
**Korzystając ze źródła sygnału prostokątnego (1kHz) należy pokręcając wbudowanym w sondę pokrętelem, ustawić na oscyloskopie obraz jak najbardziej zbliżony do prostokątnego (zobacz „Oscyloskop..” w EdW 3/97 str. 34).**

Ściśle biorąc, przy zakupie drogiej sondy dobrych firm należy zwrócić uwagę, dla jakich pojemności wejściowych oscyloskopu sonda może być skompensowana. Przykładowo sondy Hewlett Packard 1:10 mogą pracować z oscyloskopami o pojemności (tylko) 6...22pF, bo przeznaczone są do oscyloskopów tejże firmy, mających tak małą pojemność wejściową. Oczywiście przy małej pojemności oscyloskopu uzyskuje się także małą pojemność wejściową sondy, wynoszącą kilka pikofaradów.

Typowe sondy 1:10, jakie można powszechnie kupić na rynku, nadają się do oscyloskopów o większych pojemnościach (do 40...50pF), jednak uzyskana wartość pojemności wejściowej sondy wynosi nie kilka, ale od kilkunastu do 20 pikofaradów.

Stosując typową sondę 1:10 można więc zmniejszyć pojemność obciążającą badany układ 2...3-krotnie.

Natomiast zastosowanie sondy 1:100 dobrej firmy pozwoli zmniejszyć szkodliwą pojemność obciążającą układ badany do 2...3pF, czyli nawet ponad dziesięciokrotnie.



Rys. 32. Schemat ideowy sondy biernej 1:100

Dość popularne ostatnio są sondy z przełącznikiem o tłumieniu 1:1 i 1:10. Jest to pożyteczne rozwiązanie, ale zgodnie z podanymi właśnie informacjami, w miarę możliwości należy stale pracować przy tłumieniu 1:10, bo sonda ma wtedy rezystancję (dla prądu stałego) równą 10MΩ i pojemność nie większą niż 20pF. Natomiast w pozycji 1:1 zwierany jest po prostu rezystor (9MΩ), a pojemność wejściowa sondy wzrasta wtedy do 130...160pF! A wiaze sondę w pozycji 1:1 należy stosować tylko w razie konieczności badania małych sygnałów, o amplitudach rzędu pojedynczych miliwoltów, w punktach układu, gdzie oporność wewnętrzna jest niewielka.

Budowa dobrej sondy 1:10 lub 1:100, przenoszącej równomiernie sygnały o częstotliwościach do setek megaherców wcale nie jest łatwa. Dlatego w opisie takich sond zwykle znajduje się informacja, przy jakich największych częstotliwościach może pracować dana sonda bez obawy wprowadzenia znacznego błędu. Na rysunku 32 można znaleźć schemat wewnętrzny sondy 1:100 pokazanej na fotografii na tej stronie. Oczywiście nie można skopiować takiej sondy w warunkach domowych, stosując jakiegokolwiek elementy – nie tylko podzespoły muszą mieć ściśle określone parametry, ale i szczegóły konstrukcji mechanicznej mają tu duże znaczenie. W każdym razie sonda PM8932 o schemacie z rysunku 32 może pracować przy napięciach do 5,6kV, a jej pasmo przeniesienia sięga kilkuset MHz.

Choć dla wielu amatorów sprawa pomiarów przebiegów o częstotliwościach setek megaherców jest nieaktualna, znaczna część Czytelników EdW ma w zakładach pracy i na uczelniach dostęp do oscyloskopów o tak szerokim pasmie przeniesienia. Niewątpliwie oscyloskop o pasmie sięgającym setek megaherców na większości elektroników robi spore wrażenie, ale mając na uwadze powyższe rozważania, trzeba pamiętać, że stosowanie do takiego oscyloskopu zwykłego kabla lub sondy 1:1 nie pozwoli uzyskać wyników lepszych, a może nawet gorsze, niż przy zastosowaniu oscyloskopu z pasmem 20MHz i właściwą sondą.

## Podsumowanie

Przedstawiony materiał ma przekonać każdego użytkownika oscyloskopu, jak ważna jest, bardzo często lekceważona sprawa „kabelków”. Niewłaściwy „kabelek” może nie tylko zaburzyć lub uniemożliwić pracę badanego układu, ale też uniemożliwić wykorzystanie w pełni pasma przeniesienia używanego oscyloskopu.

W następnym odcinku zostaną przedstawione dalsze informacje na ten temat.

(red)

Fot. 3. Sonda 1:100

