

Oscyloskop – najważniejszy przyrząd pomiarowy w pracowni elektronika

CZĘŚĆ 9

W poprzednim odcinku omówione były podstawowe właściwości sond oscyloskopu.

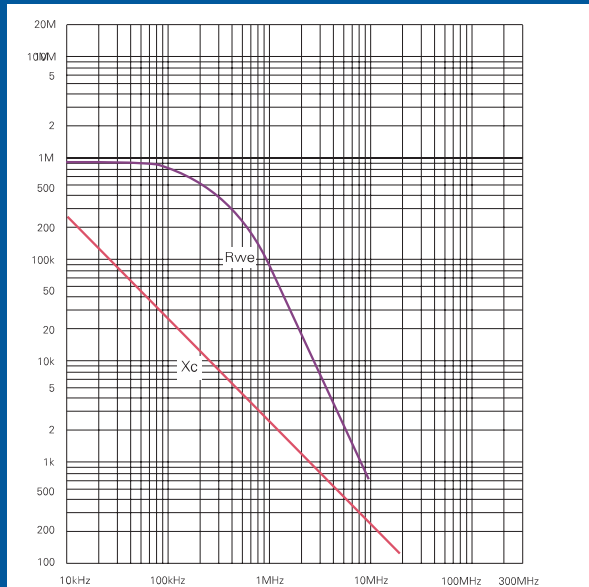
Niektóre zagadnienia zawarte w niniejszym odcinku przeznaczone są dla nieco bardziej zaawansowanych, dotyczą bowiem zagadnień, których zrozumienie wymaga pewnego przygotowania i wiedzy. Nikomu jednak nie sprawi trudności przywołanie sobie wniosków, wynikających z przeprowadzonej analizy.

Parametry sondy oscyloskopowej

W poprzednim odcinku wyjaśniono w ogólnym zarysie, jak duże znaczenie ma zrozumienie parametrów sondy oscyloskopu, zwłaszcza kwestii pojemności wejściowej.

Przyjrzyjmy się bliżej tej sprawie.

Na **rysunku 33** przedstawiono parametry katalogowe pewnej sondy 1:1, a konkretnie przebieg rezystancji i reaktancji wejściowej. Taka sonda



Rys. 33. Charakterystyki sondy 1:1

w rzeczywistości jest po prostu odcinkiem kabla współosiowego, zakończonym z jednej strony zgrabnym chwytakiem, a z drugiej wtykiem BNC. Mniej więcej takie parametry ma też metrowy odcinek kabla współosiowego – takiej prymitywnej „sondy” dość często używa się w praktyce. Dlatego warto przeanalizować ten wykres. Jedną z linii (prostą) określa przebieg reaktancji, czyli oporności pojemnościowej. Tu sprawa jest jasna – ze wzrostem częstotliwości jednostajnie zmniejsza się reaktancja, zgodnie ze wzorem

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

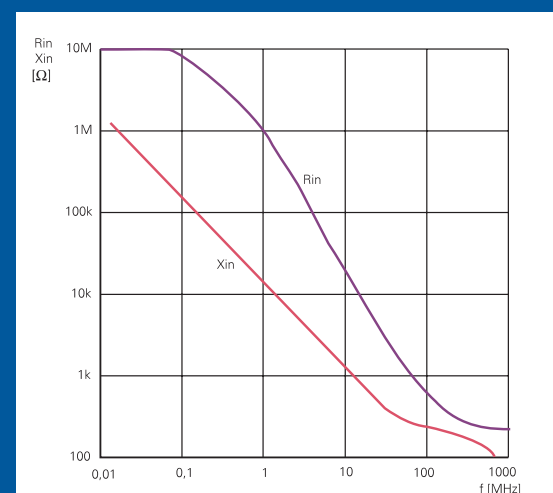
Zdziwienie może budzić druga linia. Przedstawia ona przebieg rezystancji wejściowej sondy w funkcji częstotliwości. Dlaczego ta rezystancja nie jest stała (1MΩ)? Czy to nie jest pomyłka?

Nie! Rezystancja wejściowa sondy (a także rezystancja wejściowa samego oscyloskopu, wynosząca 1MΩ dla prądu stałego) rzeczywiście zmniejsza się ze wzrostem częstotliwości. Ściślej biorąc, chodzi o straty w dielektryku – ze wzrostem częstotliwości coraz większa ilość energii „obecnej w przewodzie” zamienia się na ciepło. Inaczej mówiąc, przy większych częstotliwościach z obwodu badanego pobierana jest pewna energia, która zamienia się na ciepło. Te straty są równoznaczne ze zmniejszaniem się rezystancji wejściowej sondy i słusznie traktujemy je jako zmniejszanie się rezystancji.

Na marginesie trzeba dodać, że w przypadku reaktancji pojemnościowej nie mówimy o stratach – choć przez reaktancję tę płynie prąd, nie występują tam straty mocy (czynnej). Choć w przypadku przepływu prądu przez reaktancję możemy jedynie mówić o magazynowaniu energii i przesunięciu fazy między prądem a napięciem, a nie o stratach mocy, tym niemniej wpływ dołączenia tej pojemności do badanego układu niewątpliwie jest negatywny.

W każdym razie rysunek 33 udowadnia, iż straty te są na tyle znaczne, że taka prosta sonda 1:1 zupełnie nie nadaje się do pracy przy częstotliwościach większych niż 10...20MHz.

Rysunek 34 pokazuje przebieg rezystancji i reaktancji jakiejś sondy o tłumieniu 1:10. Tym razem,

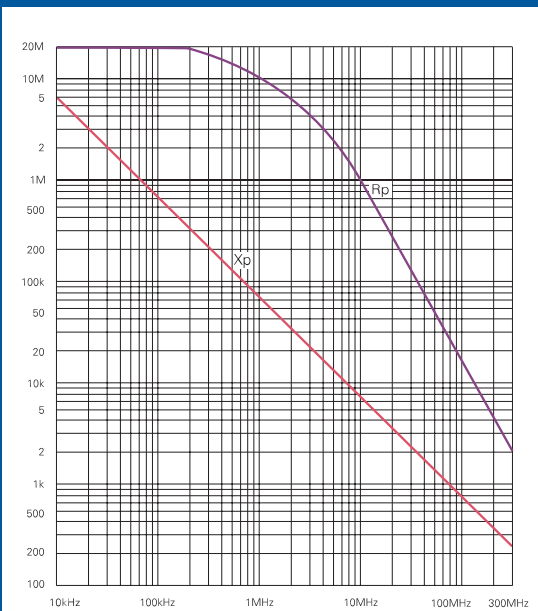


Rys. 34. Charakterystyki sondy 1:10

Miernictwo

dzięki zastosowaniu „sztuczki” z dzielnikiem, pojemność wejściowa i reaktancja pojemnościowa jest mniejsza; mniejszy jest też wpływ strat rezystancyjnych w dielektryku. W sumie sonda o takich parametrach jest użyteczna w znacznie szerszym paśmie częstotliwości, aż do prawie stu megaherców. Oczywiście przy tak dużych częstotliwościach wypadkowa oporność sondy (wypadkowe połączenie rezystancji i reaktancji) jest mała, ale mając świadomość, jakie dodatkowe obciążenie dla układu stanowi dołączona sonda, można jednak przeprowadzać sensowne pomiary przy częstotliwościach do 100MHz.

Rysunek 35 pokazuje charakterystyki sondy 1:100. Jak widać, tym razem użyteczny zakres częstotliwości przekracza 300MHz.



Rys. 35. Charakterystyki sondy 1:100

Charakterystyki sond pokazane na rysunkach 33...35 dotyczą sond starszej produkcji. Dziś produkuje się sondy o lepszych parametrach, współpracujące z oscyloskopami o paśmie przenoszenia sięgającym 500MHz. W artykule celowo przedstawiono wyroby nieco starsze, ponieważ do najnowszego sprzętu ma w naszym kraju dostęp niewielkie grono osób, a artykuł ma być przydatny dla szerokiego grona elektroników, którzy zwykle mają styczność ze sprzętem co najwyżej klasy średniej, ewentualnie starszym sprzętem wyższej klasy.

Ale ogólne wnioski są jasne:

Dopiero właściwa sonda umożliwi wykorzystanie szerokiego pasma oscyloskopu.

Obecnie wiele, jeśli nie większość sond, ma system identyfikacji, dzięki któremu oscyloskop „wie” jakie tłumienie ma dołączona sonda, i może wyświetlać na ekranie aktualne współczynniki odchylenia.

W praktyce nie zawsze możliwe jest wykorzystanie sondy 1:100, najmniej obciążającej badany układ. Przy pomiarach bardzo małych napięć potrzebna jest sonda o jak najmniejszym tłumieniu. Od lat produkuje się więc tak zwane sondy aktywne, w przeciwieństwie do sond biernych, wymagające źródła zasilania. Najczęściej nie tłumią one, ani nie wzmacniają sygnału. Zbudowane są zazwyczaj na specjalnego typu tranzystorach polowych, dzięki

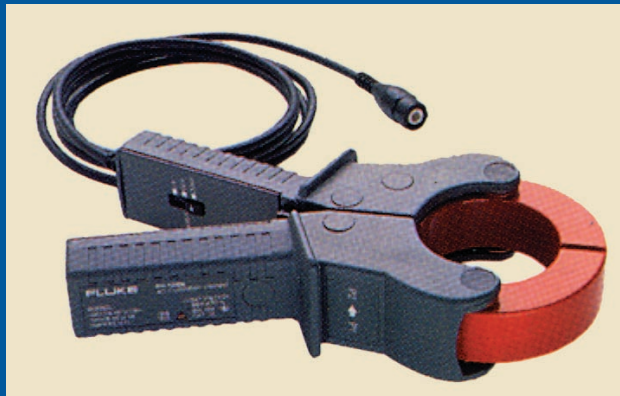
czemu uzyskuje się małą pojemność wejściową. Dla wyeliminowania wpływu kabli, element czynny, tranzystor, umieszcza się w końcówce sondy. Dzięki temu zminimalizowany jest wpływ jakichkolwiek szkodliwych montażowych. Obecnie produkuje się sondy czynne o oporności wejściowej 1MΩ i pojemności 1pF, pracujące w paśmie do 1GHz. Taka sonda pokazana jest na fotografii.

Choć wykonanie dobrej sondy czynnej o pojemności wejściowej 1pF jest nie lada zadaniem, jednak w amatorskiej praktyce warto czasami zbudować prostą „sondę aktywną” w postaci wtórnika z tranzystorem polowym złączowym – przyda się w pomiarach urządzeń w.cz.

Oprócz pojedynczych sond aktywnych, znane są również różnego typu sondy różnicowe. Ten temat wykracza jednak poza ramy niniejszego artykułu.

Należy jeszcze wspomnieć o sondach prądowych. Jak wskazuje nazwa, służą one do pomiaru prądu. Sonda prądowa firmy Fluke pokazana jest na fotografii. Sondy prądowe, w przeciwieństwie do zwykłego amperomierza, nie wymagają przecięcia obwodu wstawienia tam niewielkiego rezystora, na którym mierzony byłby spadek napięcia. Sondy prądowe przypominają cęgi – aby zmierzyć prąd

Fot. 2. Sonda prądowa do oscyloskopu



w przewodzie wystarczy objąć nimi ten przewód. Niektóre sondy działają na zasadzie transformatora, ściślej przekładnika – mogą mierzyć tylko prąd zmienny. Inne sondy prądowe wykorzystują czujnik Halla – hallotron – dzięki czemu mierzą prądy stałe i zmienne.

W starszej literaturze można znaleźć układy przystawek, za pomocą których oscyloskop może mierzyć inne parametry, na przykład pojemność, charakterystyki elementów półprzewodnikowych, itd. Obecnie przystawki takie nie są używane w praktyce. Jedynym wyjątkiem jest układ do pomiaru indukcyjności i maksymalnego prądu pracy cewek indukcyjnych.

(red)

Fot. 1. Sonda czynna 1GHz (1MΩ 1pF)



Dopasowanie linii i odbicia

W tym śródtytułe zostanie wyjaśnione pewne nieporozumienie.

W literaturze często spotyka się zalecenie, że przy przesyłaniu sygnałów o większych częstotliwościach należy stosować przewody koncentryczne o rezystancji charakterystycznej 50Ω i zapewnić dopasowanie z obu stron takiej linii przesyłowej. Dlatego wielu elektroników łącząc oscyloskop z badanym układem stosuje zawsze taki koncentryczny przewód, upewniając się, czy rzeczywiście jest to przewód 50-omowy.

Zasada jest w swej istocie słuszna, ale należy wiedzieć, jakiego zakresu częstotliwości dotyczy.

Należy zacząć od prędkości przesyłania sygnału w takim kablu koncentrycznym. Jest ona nieco mniejsza od prędkości światła i wynosi mniej więcej 20cm/ns .

Kwestia odbić i dopasowania wtedy będzie odgrywać jakąś rolę, gdy długość przesyłanej fali, albo też czasy przesyłanych impulsów będą porównywalne z czasem przejścia sygnału przez daną linię.

Weźmy przewód pomiarowy o długości 1 metra. Sygnał przechodzi przez niego przez około $100\text{cm} / (20\text{cm/ns}) = 5\text{ns}$.

Długość 1m ma fala elektromagnetyczna o częstotliwości około 300MHz .

A więc dopiero powyżej częstotliwości 100MHz i przy impulsach krótszych niż 10ns trzeba się zacząć martwić o dopasowanie. Rzeczywiście, oscyloskopy pracujące przy częstotliwościach rzędu kilkuset megaherców, często mają wejście o rezystancji nie $1\text{M}\Omega$, tylko właśnie 50Ω . Do takich oscyloskopów koniecznie trzeba stosować odpowiednie kable, rozgałęźniki, tłumiki i dopasowania.

Natomiast w oscyloskopie o paśmie 20MHz czy nawet 50MHz , współpracującym z sondą o długości 1m, problem dopasowania impedancji przewodów praktycznie nie występuje. Ponadto dopasowanie 50-omowego kabla do wejścia o dużo większej rezystancji wcale nie jest sprawą łatwą (jeśli w ogóle możliwą).

Wniosek?

Przy oscyloskopach o paśmie rzędu kilkudziesięciu megaherców wcale nie jest konieczne stosowanie 50-omowego kabla koncentrycznego w roli prostej sondy 1:1.

Dotyczy to zwłaszcza pomiarów przy małych częstotliwościach (do 100kHz). Często się widzi, że elektronik nie ma właściwych sond do oscyloskopu i stosuje zwykłe kable, z jednej strony zakończone wtykiem BNC, z drugiej wprost lutowane

do badanego układu. Nader często są to grube, twarde 50-omowe kable koncentryczne. Używanie takich sztywnych kabli to prawdziwa męczarnia.

Tymczasem, jeśli pomiary dotyczą tylko małych częstotliwości, do $20\text{...}100\text{kHz}$, śmiało można zastosować krótkie (20cm) kawałki cienkiego i miękkiego przewodu ekranowanego. Różnica między grubym „porządnym” koncentrycznym kablem 50-omowym, a takim cienkim i elastycznym przewodem ekranowanym, w zakresie małych częstotliwości są praktycznie żadna.

Dlatego przy braku fabrycznych sond 1:10 (które są zalecane w każdej sytuacji), do układów m.c.z. można śmiało wykorzystać krótkie odcinki jakiegokolwiek przewodu ekranowanego.

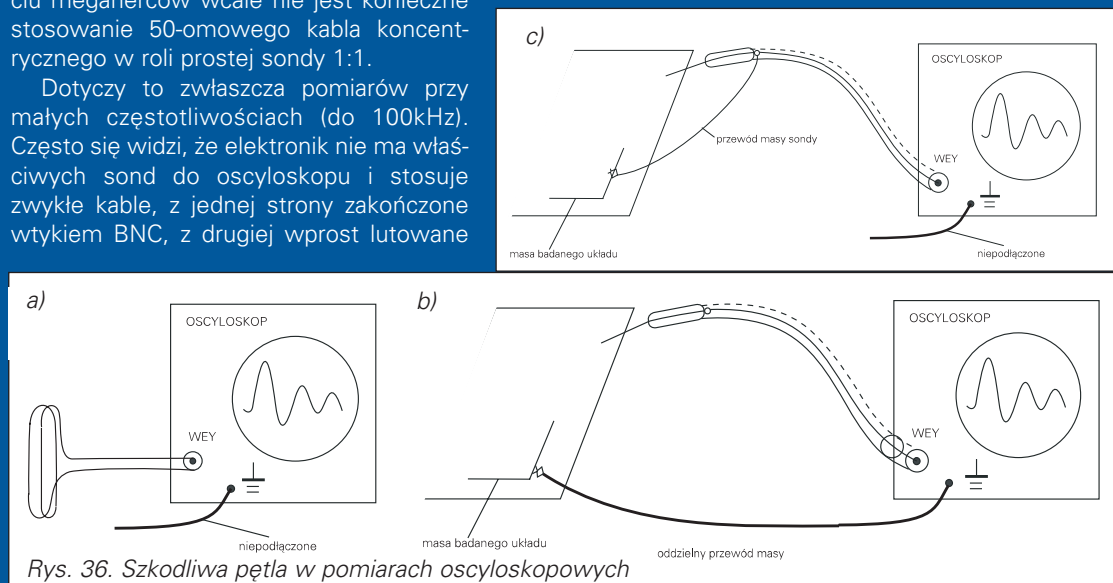
Zakłócenia i błędy

W tym miejscu należy jeszcze wspomnieć, że w pewnych sytuacjach nie stosuje się ani żadnych fabrycznych sond, ani „samoróbki” z przewodu ekranowanego, tylko łączy się badany układ z gniazdem wejściowym oscyloskopu za pomocą dwóch krótkich (do 10cm) jednożyłowych przewodów; jedna żyła to masa, druga – sygnał. Jeśli przewody nie są ze sobą skręcone, pojemność takiej „sondy” jest praktycznie żadna, poniżej 1pF , i badany układ obciążony jest tylko pojemnością i rezystancją wejściową oscyloskopu.

Takie dwa przewody mogą jednak działać jak antena i zbierać z otoczenia różne „śmieci”, w tym zakłócenia. Dlatego metoda z gołymi krótkimi przewodami może być stosowana przy sygnałach o większej amplitudzie. Przy badaniu małych sygnałów w obecności silnych zakłóceń, zapewne konieczny będzie przewód ekranowany lub koncentryczny.

I tu warto zwrócić uwagę na kilka istotnych spraw.

Wśród elektroników panuje powszechne przekonanie, że przewód ekranowany całkowicie likwiduje wszelkie problemy z przenikaniem, czy „zbieraniem” zakłóceń z otoczenia. Jest w tym sporo prawdy, ale jak zwykle nie jest to prawda ostateczna. Rzeczywiście, ekranowany przewód, którego ekran jest podłączony do masy układu, nie



Rys. 36. Szkodliwa pętla w pomiarach oscyloskopowych

dopuszcza do środkowej żyły zakłóceń przedostających się przez pole elektrostatyczne i elektromagnetyczne. Ale należy tu jeszcze wziąć pod uwagę wpływ pola magnetycznego. Jak podają mądre książki, żeby wyeliminować wpływ pola magnetycznego, należy zastosować ekran, a właściwie pancerz, stalowy o grubości powyżej 10mm lub miedziany jeszcze grubszy...

W praktyce wcale nie jest to potrzebne, trzeba tylko rozumieć pewną ważną sprawę.

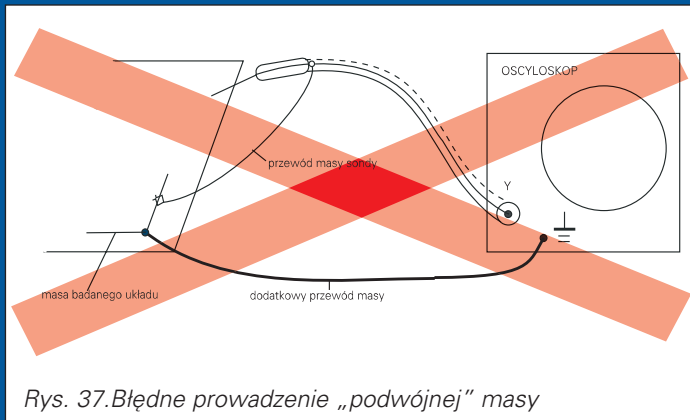
O ile pod wpływem pola elektromagnetycznego, zakłócenie może się zaindukować w jednym przewodzie, o tyle pole magnetyczne może zaindukować napięcie i prąd tylko w pętli czyli w zwoju lub zwojach. Pętla lub wielozwojowa cewka podłączona do wejścia oscyloskopu może więc pełnić rolę czujnika pola magnetycznego.

Na **rysunku 36** pokazano trzy sytuacje. Rysunek 36a pokazuje jak zrobić pętlę do pomiaru pól magnetycznych. Tymczasem wielu elektroników stosując fabryczną sondę lub przewód ekranowany, nie podłącza do badanego układu masy sondy, tylko dla wygody, do połączenia masy oscyloskopu i układu stosuje oddzielny przewód, jak pokazano na rysunku 36b. Tworzą tym samym większą lub mniejszą pętlę, która zbiera z otoczenia zakłócenia przenoszone przez pole magnetyczne. Należy tu podkreślić, że zakłócenia te nie są duże, i problem pojawia się tylko przy pomiarach małych napięć, rzędu miliwoltów. Przy dużych sygnałach można stosować sposób z rysunku 36b, bo rzeczywiście jest wygodny.

Natomiast przy małych sygnałach należy minimalizować powierzchnię pętli tworzonej przez przewód masy, jak pokazano to na rysunku 36c.

Sprawa połączenia masy ma też bardzo duże znaczenie przy obserwacji krótkich impulsów. Przy niewłaściwym połączeniu, np. wg rysunku 36b, obraz zbroczy impulsów będzie zniekształcony i może wprowadzić w błąd obserwatora. Będzie on potem szukał w układzie przyczyny zniekształceń impulsów, gdy tymczasem impulsy w układzie będą prawidłowe, natomiast przyczyną zniekształceń obrazu w oscyloskopie będzie właśnie niepoprawne prowadzenie obwodu masy.

Błędne jest także dwukrotne połączenie obwodu masy, tak „na wszelki wypadek”. Dlatego **rysunek 37**



Rys. 37. Błędne prowadzenie „podwójnej” masy

nek 37 jest przekreślony. W takiej sytuacji ekran kabla i dodatkowy przewód tworzą pętlę. W pętli tej indukuje się prąd, być może o znacznej wartości, który na rezystancji ekranu kabla może wywołać zauważalny spadek napięcia.

Przy okazji omawiania zakłóceń warto jeszcze wspomnieć o kolejnej możliwości utworzenia pętli masy. Większość oscyloskopów ma wtyczkę „z uziemieniem”. Bolec uziemiający jest połączony z obudową oscyloskopu, czyli masą. Jeśli używany zasilacz ma takie same połączenie obwodu „uziemienia”, wtedy połączenie przewodami masy zasilacza, masy układu i masy oscyloskopu zamknie takową pętlę. Na problemy z taką pętlą masy można się natknąć bardzo często i nie ma jednoznacznej reguły, jak wtedy postąpić.

W każdym razie generalnie należy unikać pętli masy i stosować sposób z rysunku 36c.

Wiadomości podane w dwóch ostatnich odcinkach nie wyczerpują wszystkich spraw związanych z praktycznym wykorzystaniem oscyloskopu. Sygnalizują jednak dwa podstawowe zagadnienia:

- Czy dołączenie oscyloskopu ma wpływ na pracę badanego układu?
- Czy obraz na ekranie dokładnie odwzorowuje przebiegi w badanym układzie?

Dobry elektronik powinien zdawać sobie sprawę, na ile parametry wejścia oscyloskopu, zastosowanej sondy i sposobu podłączenia, mają wpływ na działanie układu i kształt przebiegów na ekranie.

(red)

fotografie

1. Aktywna sonda pomiarowa Tektronix 1GHz 1MHz 1pF (skanować z prospektu

2. Sonda prądowa AC 100mA-1000A firmy Fluke (skanować z katalogu str. 35