

MIERZYĆ, ALE JAK?

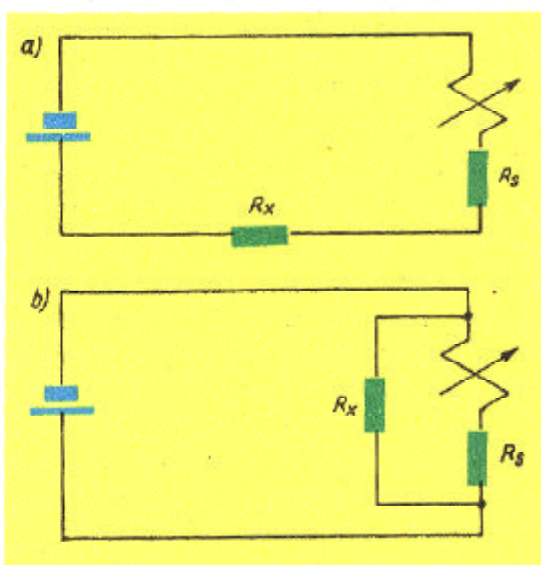
Wielu spośród Czytelników wykonuje pewne prace konstruktorskie. Po sformułowaniu zadania, tzn. określeniu, co chcemy wykonać, przechodzi się do realizacji powziętego pomysłu. Podczas tego drugiego etapu konstruktor posługuje się szeregiem narzędzi, a między innymi przyrządami pomiarowymi. Ze względu na dość skomplikowaną budowę przyrządów pomiarowych oraz niejednokrotnie błędne stosowanie danego przyrządu operator obsługujący przyrząd popełnia nieświadomie szereg pomyłek, które mogą zasadniczo zmieniać wynik pomiaru, a tym samym dawać błędne informacje o stanie lub parametrach urządzenia. Najprostszym przykładem może tu być potrzeba wytoczenia metalowego wałka, którego średnica powinna być utrzymana z dość dużą dokładnością. Jest chyba oczywiste, że pod koniec operacji toczenia nie można dokonywać pomiaru średnicy bezpośrednio po odjęciu noża tokarskiego (i oczywiście zatrzymaniu tokarki). Przed wykonaniem pomiaru należy odczekać trochę, aby toczone wałki ostygły, gdyż ze względu na rozszerzalność cieplną metalu gorący wałek będzie miał większą średnicę niż ten sam wałek, ale zimny. W przypadku niespełnienia tego warunku może się zdarzyć, że w efekcie wytoczony wałek będzie zbyt cienki.

Bardziej skomplikowane problemy występują przy pomiarach wielkości elektrycznych. Można założyć, że w normalnej praktyce konstruktorskiej Czytelników najczęściej powstaje potrzeba pomiaru wielkości takich, jak: oporność, napięcie stałe oraz zmienne i czasami prąd. Tym samym najczęściej spotykanymi przyrządami będą: omomierze, wołtomierze, amperomierze oraz oscyloskopy. W dalszej części artykułu będziemy starali się podać pewne wskazówki praktyczne wykonywania pomiarów ww. wielkości oraz pewne wskazania co do poprawności stosowania przyrządów do tych pomiarów. Jednocześnie nie będziemy rozważali problemów związanych z zagadnieniami błędów pomiaru, a zainteresowanych Czytelników odsyłamy do artykułu, który został opublikowany w 5 numerze „Młodego Technika” w roku 1975.

Chyba jednym z najczęściej spotykanych przez Czytelników przyrządów pomiarowych jest wielozakresowy wołto-ampero-omomierz. Rozpatrzmy więc pomiar oporu. Z punktu widzenia konstrukcji przyrządu omomierze możemy podzielić na szeregowe i równoległe (rys. 1). Wybrana zasada konstrukcyjna przyrządu wpływa zasadniczo na zakres jego stosowania. Jak wynika z rys. 1a, omomierz ten ma włączany badany opornik szeregowo z oporem R_x (symbolizującym oporność wewnętrzną przyrządu), a więc może on mieć trzy charakterystyczne stany wskazań:

- $R_x = 0$ (zwarcie) – odchylenie wskazówki maksymalne,
- $R_x = R_x$ – odchylenie równe połowie odchylenia maksymalnego,
- $R_x = \infty$ (przerwa) – odchylenie równe zero.

Po analizie warunków pracy dochodzimy do wniosku, że dokładność tego przyrządu zależy od



Rys. 1. Schemat obwodu omomierza szeregowego (a) i równoległego (b)

jego odchylenia. Wykres jego błędu pokazany jest na rys. 2. Wynika z tego wniosek, że omomierz ten najdokładniejszy jest w obszarze środka skali, jednakże należy w zasadzie unikać dokonywania tym przyrządem pomiaru małych oporności.

Drugi omomierz równoległy (por. rys. 1b) ma trzy stany wskazań i są one odwróceniem stanów omomierza szeregowego, a więc dla $R_x = \infty$ odchylenie jest maksymalne (pozwala to na pierwszy rzut oka rozróżnić oba przyrządy). Wykres błędów ma identyczny charakter przebiegu jak poprzednio i te same obszary poprawnych wskazań. A więc przez swoje odwrócenie poprzedniego przypadku nadaje się on dobrze do pomiaru małych oporności. Stosowane często w praktyce mostki Wheatstone'a do pomiaru oporu mają identyczną charakterystykę błędów jak omomierze szeregowo, por. rys. 2 (i podobne zastosowanie), lecz błąd ich jest funkcją długości drutu opornika ślizgowego, a nie odchylenia wskazówki.

Dość często, gdy brak nam jest omomierza, wymaganą oporność możemy wyznaczyć za pomocą dwóch przyrządów: woltomierza i amperomierza (rys. 3). Jak wynika z tego rysunku, możliwe są dwa układy połączeń. Istnieje więc pytanie: kiedy stosować każdy z tych układów? Rozpatrując oba te układy widzimy, że w układzie przedstawionym na rys. 3a amperomierz mierzy sumę prądów płynących przez woltomierz i R_x , a w układzie z rys. 3b woltomierz mierzy sumę spadków napięć na R_x i amperomierzu. Obie te sytuacje wywołują błędy pomiarów. Ogólnie można powiedzieć, że pierwszy układ należy stosować, gdy spodziewamy się, że R_x jest co najmniej dziesięciokrotnie większe od oporności woltomierza. Natomiast drugi układ, gdy R_x jest dziesięciokrotnie większe od oporności amperomierza. Dokładna analiza podaje nam trzy obszary stosowania tych układów:

$R_x \approx \sqrt{R_V R_A}$ - oba układy są przydatne,

$R_x > \sqrt{R_V R_A}$ - należy stosować układ b,

$R_x < \sqrt{R_V R_A}$ - należy stosować układ a,

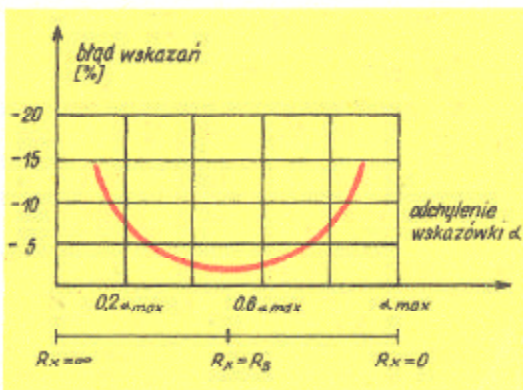
gdzie R_A i R_V są odpowiednio opornościami amperomierza i woltomierza (podane zwykle na przyrządzie).

W pomiarach napięć występuje szereg innych problemów. Problemy te mogą być związane zarówno z rodzajem stosowanych przewodów, jakością połączeń i zacisków, punktem skali, w którym dokonujemy odczytu wskazania, jak i zakresu częstotliwości pomiaru.

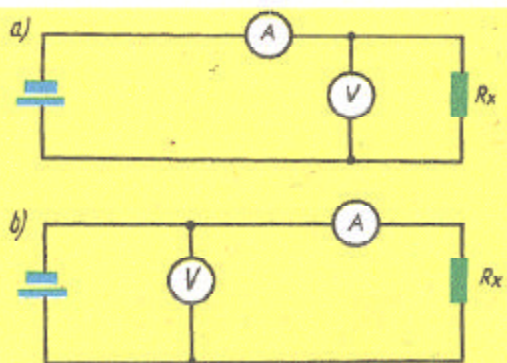
Rozpoczynając od spraw najprostszych należy stwierdzić, że posługując się przyrządami wskazówkowymi, nie należy stosować odczytów, które są mniejsze niż 30% pełnego odchylenia wskazówki.

Nie należy, szczególnie przy dokładniejszych pomiarach małych napięć, stosować różnego rodzaju przewodów i zacisków laboratoryjnych, gdyż w punkcie styku metali powstaje ogniwo termoelektryczne, a powstałe w nim napięcie zniekształca pomiar. Należy zwracać uwagę na dobór przewodów wraz ze wzrostem częstotliwości mierzonego napięcia. Jako przewód pomiarowy może być stosowany izolowany pojedynczy przewód, przewód dwużyłowy nieekranowany (lub ekranowany) oraz kabel koncentryczny, tzn. jeden przewód jest dokładnie otoczony drugim stanowiącym ekran o potencjale ziemi układu. Zastanówmy się, kiedy mogą być stosowane te przewody. Pojedynczy izolowany drut często jest stosowany jako przewód pomiarowy przy pomiarach napięcia stałego i przemiennego. Nie rozpatrując wpływu oporności przewodu na wynik pomiaru wydaje się oczywistym, że może być on akceptowany, gdy mierzone sygnały mają wysoką amplitudę i małą częstotliwość. Należy jednak zauważyć, że w przypadku układu o wspólnym uzziemieniu czasami stosowany jest jeden przewód połączeniowy (tzw. gorący), a drugi (tzw. zimny) stanowi wspólna „ziemia” układu. W tym przypadku, gdy badany sygnał ma małą amplitudę, mogą w przewodzie powstać pewne napięcia zakłóceń wynikające z obecności obcych pól elektromagnetycznych (rys. 4). Rozwiązaniem tego problemu będzie zastosowanie kabla dwużyłowego, gdyż napięcia indukowane w takim przewodzie będą wzajemnie się znosić w obu żyłach kabla. Jednakże taki przewód stanowi pewien dzielnik pojemnościowy i w pewnych przypadkach napięcia zakłóceń mogą niekorzystnie oddziaływać na obwód pomiarowy. Jeżeli przewód będzie wykonany w postaci kabla koncentrycznego, to, pod warunkiem poprawnego wykonania połączeń ekranu z wtyczką (zakonczeniem przewodu), w takim przewodzie zostanie zlikwidowane sprzężenie pojemnościowe pomiędzy obydwoma przewodami (rys. 5).

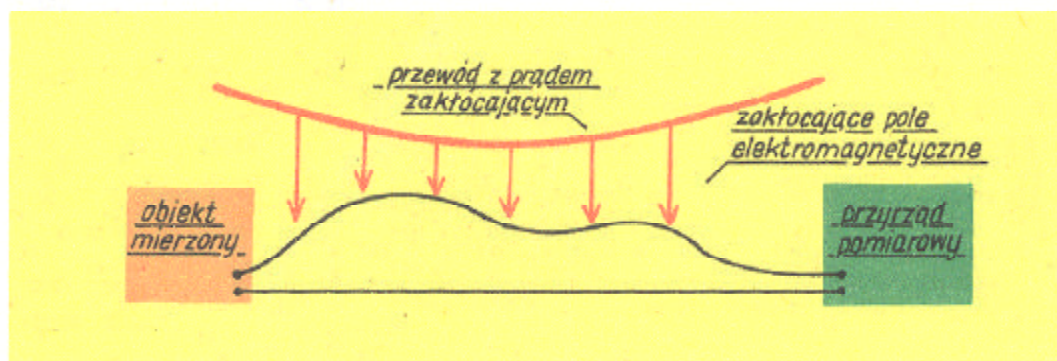
W przypadku zastosowania kabla koncentrycznego do pomiaru sygnału elektrycznego przemiennego należy liczyć się z wpływem pojemności i indukcyjności kabla. Ta pojemność i indukcyjność zależą od wymiarów geometrycznych kabla, a kabel jest zwykle opisywany parametrem charakterystycznym - impedancją falową kabla. Jeżeli podczas pomiarów kabel jest zamknięty obciążeniem opornościowym równym impedancji falowej, to cała energia sygnału przesyłanego przez kabel będzie absorbowana na jego końcu. Jeżeli natomiast obciążenie to różni się od impedancji falowej kabla, to będą następowały odbicia sygnału z powrotem do kabla, a odbity sygnał będzie wywoływał falę stojącą



Rys. 2. Błąd pomiaru omiornierza szeregowego (błąd jest zawsze ujemny, tzn. że omiornierz wskazuje zawsze za dużą wartość)



Rys. 3. Schemat układu do pomiaru oporności za pomocą woltomierza i amperomierza



Rys. 4. Powstawanie napięć zakłócających w przewodach pomiarowych

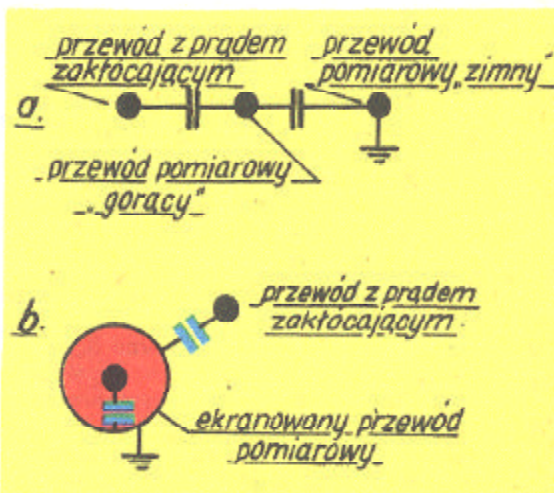
w kablu, która będzie nakładała się na sygnał przesyłany przez kabel (dodając się lub odejmując), powodując tym samym błędy pomiaru, czasami dość znaczne.

Gdy przez kabel symetryczny będziemy przesyłać sygnały impulsowe, to przy braku zamknięcia kabla mogą powstać odbicia impulsów, które będą mogły wytwarzać impulsy dodatkowe, a przy zastosowaniu np. częstotliwościomierza cyfrowego (zwanego popularnie licznikiem częstotliwości) może on zliczać te dodatkowe impulsy podając tym samym zupełnie błędne wyniki pomiaru.

Ostatnio w wielu szkolnych laboratoriach pojawiło się wiele nowoczesnych przyrządów, w tym woltomierzy cyfrowych i oscyloskopów. Przyrządy te ze względu na ich specyficzną budowę stwarzają szereg problemów, z których podstawowy stanowi sposób dołączenia przyrządu do badanego obiektu.

Woltomierze cyfrowe są szczególnie czułe na różnego rodzaju sygnały zakłóceń, które przedostają się do woltomierza wraz z mierzonym sygnałem. Zakłócenia mogą być typu szeregowego, np. nało-

Rys. 5. Powstawanie szkodliwych sprzężeń pojemnościowych w przewodzie dwużyłowym (a) i ich likwidacja w przewodzie ekranowanym (b)



zony sygnał składowej zmiennej na mierzone napięcie stałe, lub równoległe, np. indukowane w obu przewodach pomiarowych napięcie zakłóceń (poza to w obcych pól elektromagnetycznych).

Zakłócenia szeregowo likwidowane są przez odpowiednie filtry wbudowane na wejściu przyrządu



Rys. 6. Typowy współczesny multimetr cyfrowy. Należy zwrócić uwagę na zworę łączącą zaciski LO oraz GUARD

i opisane na płycie czołowej przyrządu. Zakłócenia równoległe likwidowane są przez odpowiedni sposób włączenia woltomierza cyfrowego do układu. Woltomierze cyfrowe mają na swoim wejściu trzy zaciski (rys. 6) oznaczone zwykle jako:

- a) H (lub Hi) – zacisk wysokiego potencjału (tzw. gorący),
- b) L (lub LO) – zacisk niskiego potencjału (tzw. zimny),
- c) G (lub GUARD) – zacisk ochronny (nie mylić z zaciskiem uziemienia).

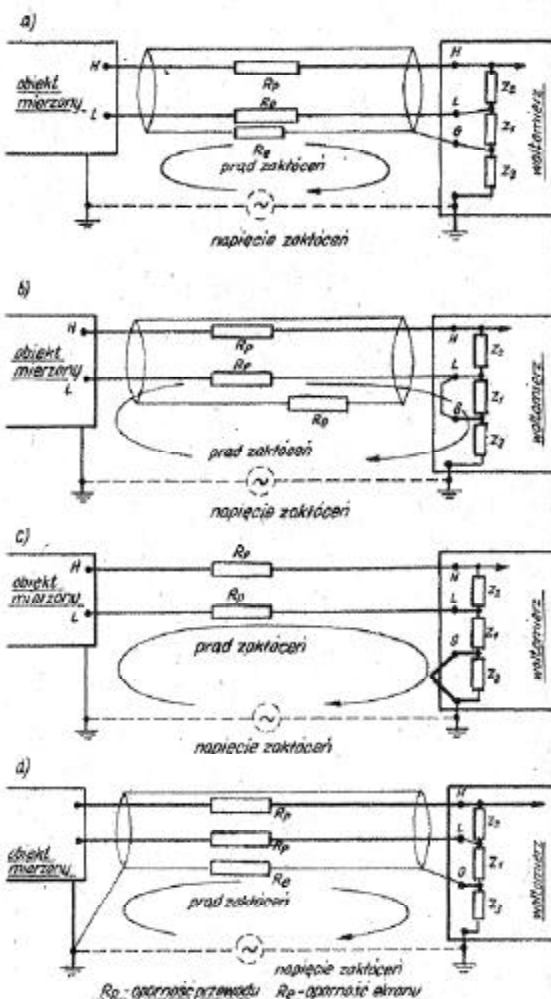
Na rys. 7 podano różne układy włączenia woltomierza w układ pomiarowy. Rysunek 7a podaje poprawny układ połączeń i drogę sygnału zakłóceń. Na rysunku 7b pokazano nieprawidłowe połączenie zacisku G. Zacisk ten połączony jest przez małą oporność R_c (ekran) z zaciskiem niskiego potencjału L źródła napięcia. Tym samym przepływ prądu wywołany napięciem zakłóceń powoduje na tym oporniku spadek napięcia, a więc zniekształca wynik pomiaru. Zjawisko jest szczególnie odczuwalne w przypadku długiego przewodu pomiarowego.

Układ połączeń przedstawiony na rysunku 7c jest układem skrajnie niewłaściwym. W tym przypadku cały prąd zakłóceń płynie przez opornik R_c powodując nałożenie się sygnału zakłóceń na sygnał mierzony. Dodatkowo większa część sygnału zakłóceń odkłada się na impedancji Z_1 (impedancja pomiędzy zaciskami L i G). W większości przypadków impedancja ta odznacza się małym napięciem przebicia,

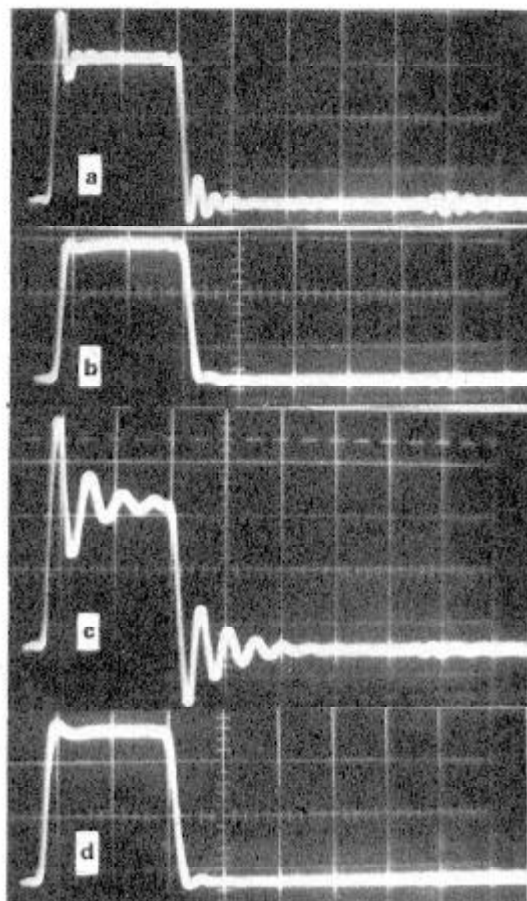
a ponieważ napięcie zakłóceń może w pewnych przypadkach osiągać wartość kilkuset woltów, to może nastąpić uszkodzenie przyrządu.

Na rysunku 7d pokazano układ najskuteczniej chroniący przed nakładaniem się sygnału zakłóceń. Trzeba podkreślić, że w żadnym przypadku nie należy pozostawiać zacisku G bez połączenia. Sytuacja taka może spowodować uszkodzenie przyrządu (przebiecie impedancji Z_1).

Podczas obserwacji oscyloskopowej sygnałów (szczególnie impulsowych) powstaje problem poprawnej interpretacji obserwowanego obrazu. Ilustrację tych problemów stanowi rys. 8, gdzie przedstawiono obrazy oscyloskopowe tego samego przebiegu impulsowego, lecz za każdym razem oscylo-



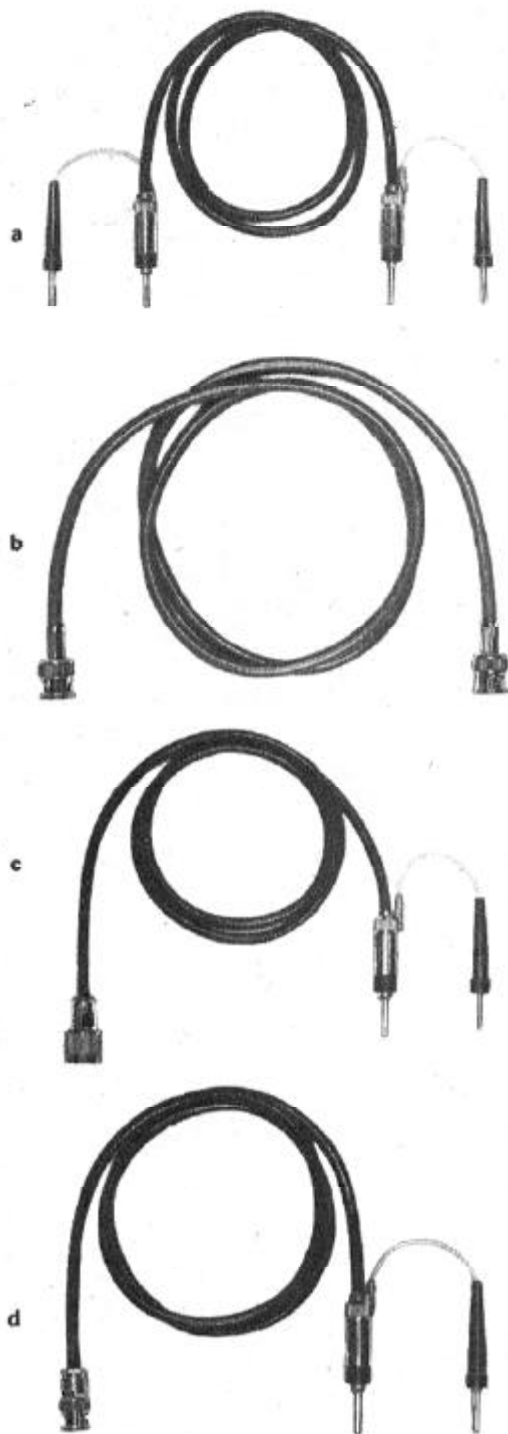
Rys. 7. Różne metody dołączania woltomierza do układu pomiarowego i drogi prądu zakłócającego



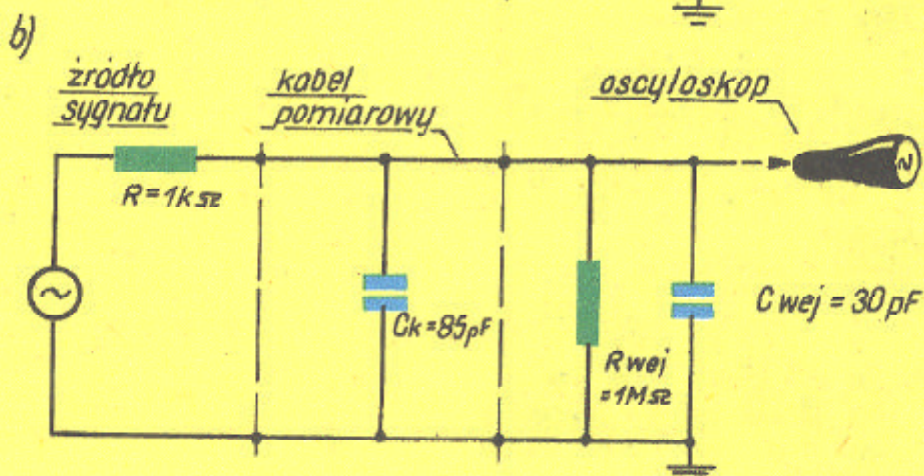
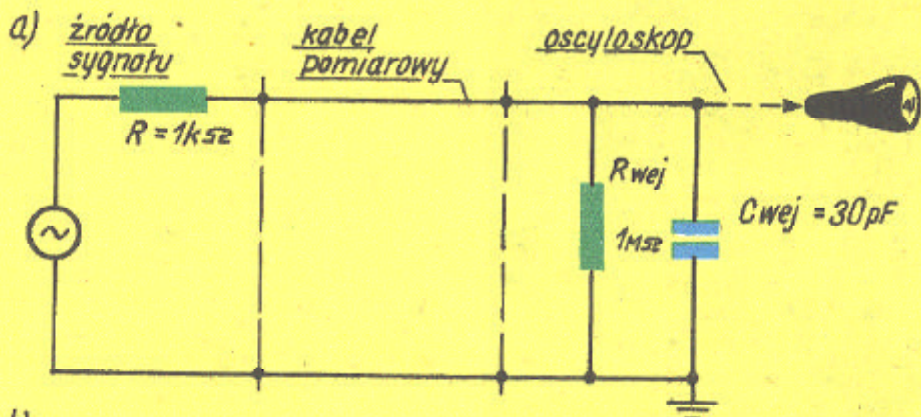
Rys. 8. Obrazy oscyloskopowe tego samego impulsu oglądane po dołączeniu oscyloskopu do źródła impulsu za pomocą krótkiego (a, b) i długiego przewodu (c, d) oraz po zamknięciu tych przewodów impedancją falową (b, d), a także bez zamknięcia (a, c)

skop jest dołączany do układu za pomocą różnej długości przewodów pomiarowych oraz przewód jest zamykany impedancją równą impedancji falowej kabla lub nie jest zamknięty. Na rysunkach 8a, 8c widoczne są obrazy, gdy oscyloskop jest dołączony do źródła za pomocą nie zamkniętego, kolejno krótkiego i długiego przewodu. Rysunki 8b, 8d przedstawiają obrazy oscyloskopowe w tych samych sytuacjach, lecz przewód jest zamknięty na końcu impedancją falową. Zastosowano długości przewodów 20 cm i 80 cm. Omawiane rysunki pozwalają na wnioskowanie, iż najkorzystniejszym przypadkiem jest krótki przewód pomiarowy zamknięty na końcu impedancją równą impedancji falowej kabla. Obserwacje wykonano za pomocą oscyloskopu OS - 150 prod. ZRK.

Przewody pomiarowe mają różnego rodzaju za-

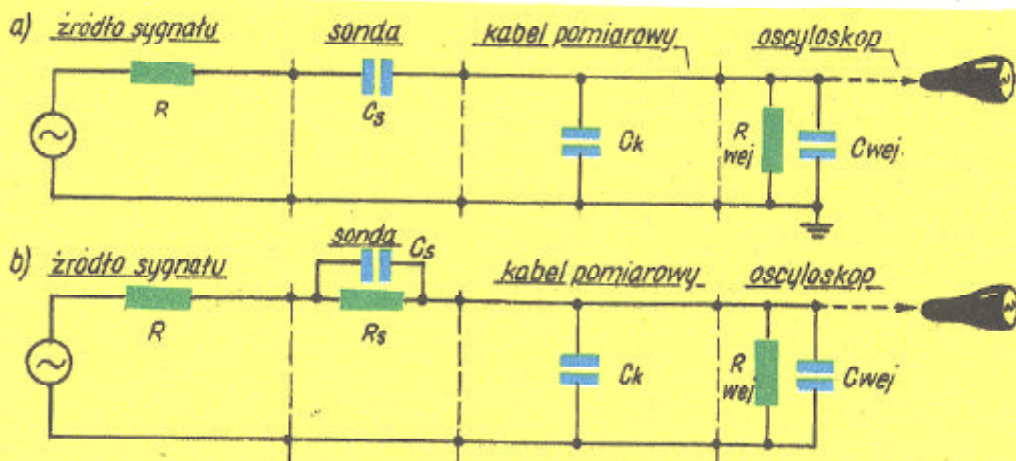


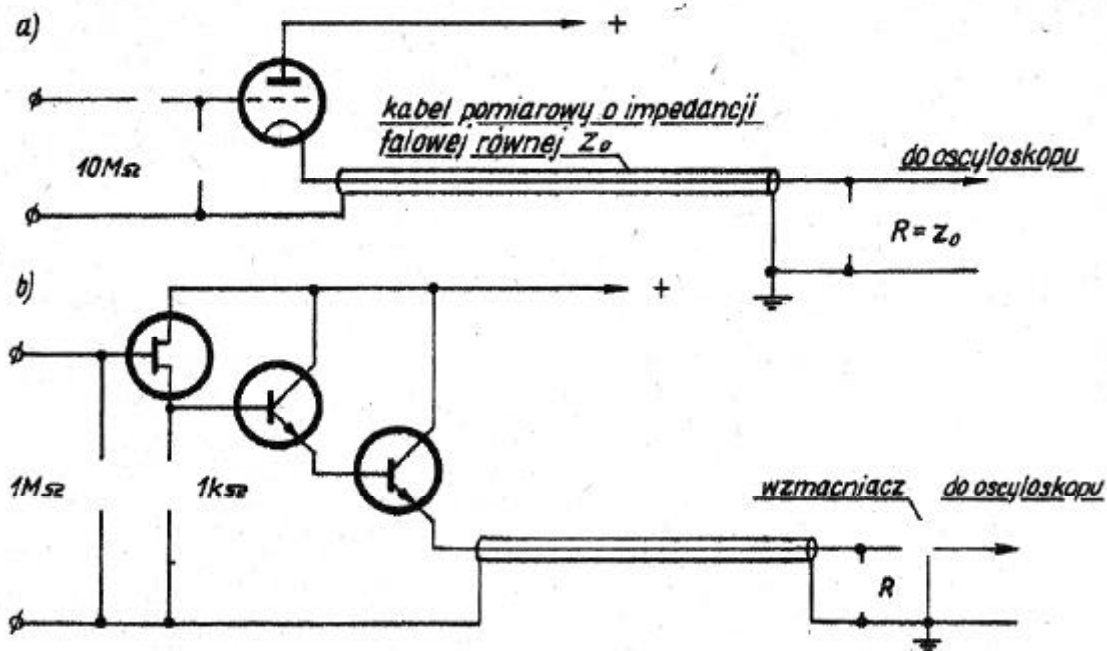
Rys. 9. Przykłady fabrycznych kabli pomiarowych zakończonych wtykami typu bananowego (a), BNC (b), UHF - bananowy (c) i BNC - bananowy (d)



Rys. 10. Schemat zastępczy układu pomiarowego bez uwzględnienia (a) i z uwzględnieniem (b) pojemności kabla pomiarowego

Rys. 11. Schemat zastępczy układu z sondą pasywną





Rys. 12. Uprozczone schematy sond aktywnych: a – wtórnikowej, oraz b – sondy z tranzystorem polowym

kończenia, jednym z powszechniej stosowanych zakończeń jest wtyczka bananowa. Wtyczki takie nie powinny w zasadzie być używane do pomiarów przy wyższych częstotliwościach sygnału, oraz do pomiaru napięć wyższych niż 1500 V (2000 V). Należy zwrócić uwagę, że wtyczki te zastosowane do pomiaru słabych sygnałów powinny być z tego samego materiału co gniazdko. W przypadku różnych metali wtyczki i gniazdko, w miejscu połączenia mogą wystąpić napięcia termoelektryczne. Wartość tych napięć zależy od rodzaju metali i temperatury. Czasami w laboratoriach pomiarowych spotyka się rozgałęźne wtyczki bananowe wykonane z aluminium, należy zwrócić uwagę, że wtyczki te nie powinny być stosowane w układach przy pomiarze napięć rzędu kilku miliwoltów.

Kable ekranowane stosowane do pomiarów przy wyższych częstotliwościach najczęściej zakończone są wtykami typu BNC (rys. 9). Ze względu na prostotę dołączania kabli do przyrządów oraz niski koszt wtyczki i gniazdko typu BNC spotykane są w większości nowoczesnych oscyloskopów, generatorów, woltomierzy, liczników częstotliwości itp. Zakończenia te dobrze pracują w zakresie do 300 MHz oraz dla napięć stałych do 500 V, a przemiennych do 1500 V. Specjalne gniazda tego typu dobrze pracują nawet w zakresie gigaherców. Innym dość rozpowszechnionym zakończeniem kabli jest wtyk

typu UHF. Wadą tego typu wtyczek jest kłopotliwe dołączanie kabli pomiarowych (wielobrotowe zakręcanie). Wtyczki UHF pracują w podobnym zakresie napięć jak wtyczki BNC, lecz nie są zalecane dla częstotliwości powyżej 300 MHz.

Rozpatrzmy teraz przypadek, gdy do źródła o wysokiej impedancji wewnętrznej (np. 1 kΩ) dołączymy oscyloskop za pomocą kabla koncentrycznego długości 0,85 m.

Jeżeli nie uwzględniamy (rys. 10a) wpływu kabla i pojemności wejściowej oscyloskopu, to rezystancja wejściowa oscyloskopu, która wynosi zwykle 1 MΩ z bocznikowaną przez 30 pF stanowi obciążenie źródła i nie powoduje błędu pomiaru większego niż 0,1%. Jeżeli jednak uwzględnimy wpływ kabla na pojemność wejściową oscyloskopu, tzn. uwzględnimy pojemność kabla, która dla kabli o impedancji falowej 75 Ω wynosi 100 pF/m, to widzimy, że pojemność wzrośnie do 115 pF. Reaktancja zaś (oporność bierna, pojemnościowa) obciążająca źródło dla pomiarów przy częstotliwości w zakresie 1 MHz wyniesie 1378 Ω. A więc impedancja wejściowa oscyloskopu wynosząca 1 MΩ jest pomniejszona przez wyliczoną powyżej reaktancję. Jeżeli przeprowadzimy dalsze proste obliczenia, to stwierdzimy, że sygnał wyjściowy źródła o amplitudzie 10 V jest tak dzielony przez powstały dzielnik (rys. 10b) opornościowo-pojemnościowy, iż na oscyloskopie

otrzymamy obraz sygnału o amplitudzie około 8,1 V i przesunięciu fazowym około 39° . Jeżeli częstotliwość sygnału wzrasta do 10 MHz, to reaktancja kabla maleje do 138 Ω , a obraz oscyloskopowy do wartości 1,4 V. Mówiąc innymi słowy, kabel ten będzie wprowadzał błąd pomiaru oscyloskopowego rzędu 19% przy częstotliwości 1 MHz, a rzędu 86% przy częstotliwości 10 MHz.

Tak duże błędy są oczywiście niedopuszczalne. Jednym z rozwiązań jest dołączanie oscyloskopu do punktu pomiarowego o małej impedancji. Jednakże to rozwiązanie nie zawsze jest możliwe, a z drugiej strony nawet dla małej impedancji źródła wraz ze wzrostem częstotliwości wzrasta wpływ kabla pomiarowego. W celu zmniejszenia wpływu tego kabla stosuje się sondy.

Stosowane sondy mogą być sondami pasywnymi lub aktywnymi. Poniżej opisane zostaną przykłady obu tych typów sond. Bierna sonda pomiarowa zawiera odpowiednio dobrany kondensator, który jest włączony w układzie szeregowym (rys. 11a). W układzie tym pojemność równoważna sondy i przewodu pomiarowego jest mniejsza od najmniejszej pojemności układu szeregowego. Kondensator szeregowy C_s wynosi zwykle jedną dziesiątą całkowitej pojemności kabla i pojemności wejścia oscyloskopu. Dodanie tego kondensatora powoduje trzy zjawiska. Po pierwsze obciążenie pojemnościowe źródła jest mniejsze niż 0,1 całkowitej pojemności wejścia oscyloskopu i kabla, po drugie dwa kondensatory tworzą dzielnik pojemnościowy o stosunku 1:10 i stosunek ten jest stały dla wszystkich częstotliwości (wpływ bocznikującej jeden kondensator rezystancji 1 M Ω jest pomijalny); oraz po trzecie sonda nie pracuje dla napięć stałych.

Ze względu na trzecie zjawisko sondy pasywne są modyfikowane, a ich schemat zastępczy podano na rys. 11b. Dodanie specjalnego rezystora szeregowego R_s powoduje powstanie dzielnika rezystancyjnego dającego dokładnie ten sam stosunek podziału napięć przy małych częstotliwościach jak dzielnik pojemnościowy przy dużych częstotliwościach. Zwykle na wyjściu sondy dodawane są specjalne regulowane kondensatory i rezystory w celu dokładnego wyrównania stosunku podziału napięć. W wielu przypadkach przy pomiarze bardzo małych sygnałów, gdy proste sondy pasywne nie zdają egzaminu, stosowane są sondy z wtórnikiem katodowym lub bardziej nowoczesne z wtórnikiem źródłowym, zbudowane przy użyciu tranzystora polowego. Zaletami sond wtórnikowych są małe straty, szybki czas narastania (szybszy niż w sondach pasywnych), wysoka rezystancja wejściowa oraz mała pojemność. Jednakże sondy te mają również szereg

wad, a mianowicie: relatywnie wysoki koszt, małe napięcie przeciążeń, stosunkowo małą stabilność, konieczność osobnego zasilania sondy (jest ona urządzeniem aktywnym) i ograniczoną trwałość.

Odpowiednikiem sond wtórnikowych (rys. 12) są sondy z tranzystorami polowymi; pracują one na podobnych zasadach, tzn. tranzystor polowy (FET) włączony jest jako wtórnik źródłowy dla zapewnienia wysokiej impedancji wejściowej oraz niskiej impedancji wyjściowej odpowiedniej dla danego kabla. W porównaniu z sondami wtórnikowymi zbudowanymi na lampach, sondy FET są bardziej czułe napięciowo i wymagają bardzo małej mocy zasilania. Dla zapewnienia dobrych warunków dopasowania do wtórnika źródłowego dołącza się zwykle kaskadowy stopień wtórników emiterowych. Działanie tego układu jest korzystniejsze w stosunku do układu wtórnika katodowego w odniesieniu do wzmocnienia i szerokości pasma, lecz zakres dynamiki tego układu jest mniejszy i sondy FET mają zwykle maksymalne napięcie wejściowe równe 1 V. Ze względu na dość ostre warunki dopasowania, sondy te są wykonywane fabrycznie wraz z odpowiednim kablem pomiarowym i odpowiednim wzmacniaczem zapewniającym stałość wzmocnienia w szerokim pasmie częstotliwości, np. sonda FET ma pasmo od napięć stałych do 230 MHz (przy spadku wzmocnienia o 3 dB).

Jest oczywiste, że tych kilka uwag nie wyjaśniło wszystkich problemów związanych z praktyką pomiarową. Problemy te powstają ciągle w trakcie konkretnych pomiarów i zależą nie tylko od warunków elektrycznych mierzonego obwodu, lecz także od wielu innych czynników, np. od stanu technicznego przyrządu. Czasami może np. zdarzyć się, że przyrząd wskazówkowy wskazuje inną wartość, gdy jego wskazanie maleje, a inną, gdy rośnie do danej wartości. Powodem tego jest zwykle zły stan łożysk przyrządu. Doraźną pomocą może być lekkie puknięcie palcem w szybkę przyrządu. W momencie uderzenia cały organ ruchomy wewnątrz przyrządu lekko podskakuje i tym samym traci kontakt z powierzchni podparcia, a więc znika tarcie i wskazówka przyrządu ustawia się w położeniu poprawnym. Ta drobna rada praktyczna kończy artykuł, a Czytelnikom, którzy spotkają się z podobnymi problemami lub którzy czasami nie wiedzą, jak najkorzystniej zastosować dany przyrząd, radzimy zainteresować się książką Stefana Weinfeldta i Jerzego Sereby pt. „Elektroniczne przyrządy pomiarowe, wskazówki doboru i eksploatacji”, wydanej w 1975 r. przez Wydawnictwa Komunikacji i Łączności.

Mgr inż. Adam Górski