

Elementy i Układy Elektroniczne

– laboratorium

Instrukcja do ćwiczenia nr 1

Wojciech Kazubski

**Instytut Radioelektroniki i Technik Multimedialnych
Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych
POLITECHNIKA WARSZAWSKA
Warszawa 2025**

Spis treści

1. ĆWICZENIE NR 1: PRĄD STAŁY, ZMIENNY, METODY POMIARÓW NAPIĘCIA, NATĘŻENIA PRĄDU I REZYSTANCJI	3
1. Cel i zakres ćwiczenia	3
2. Pomiar napięć stałych i przemiennych	3
2.1. Pomiar napięcia stałego	3
2.1.1. Zadanie pomiarowe	5
2.2. Pomiar napięcia przemiennego	5
2.2.1. Zadanie pomiarowe	6
2.3. Pomiar prądów stałych i przemiennych	6
2.4. Pomiar prądów przemiennych	7
3. Pomiar rezystancji	7
3.1. Metoda techniczna	7
3.1.1. Zadanie pomiarowe	9
3.2. Pomiar rezystancji omomierzem	9
3.2.1. Zadanie pomiarowe	11
4. Pomiary oscyloskopowe	11
4.1. Zasada działania oscyloskopu	11
4.1.1. Zadanie pomiarowe	12
4.2. Sonda oscyloskopowa	12
4.2.1. Zadanie pomiarowe	13
5. Zagadnienia kolokwium wstępniego	14
6. Literatura pomocnicza	14
7. Zaliczenie	15

1. Ćwiczenie nr 1: Prąd stały, zmienny, metody pomiarów napięcia, natężenia prądu i rezystancji

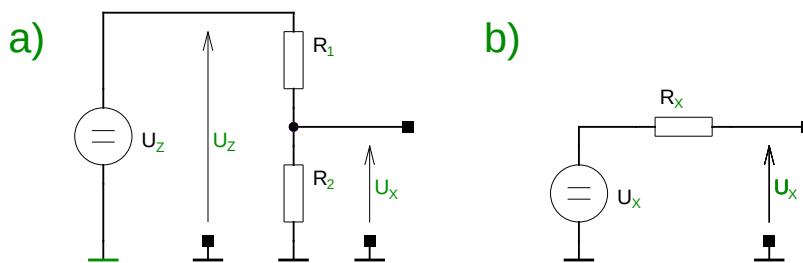
1. Cel i zakres ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie z metodami pomiaru napięcia stałego i przemiennego, prądów stałych i przemiennych oraz rezystancji za pomocą podstawowych metod stosowanych w elektronice. Ćwiczenie obejmuje zagadnienia związane z pomiarem napięć stałych i przemiennych za pomocą voltmierzy z uwzględnieniem zaburzenia wprowadzanego w układzie przez przyrząd pomiarowy oraz pomiarem rezystancji metodą techniczną. Ćwiczenie obejmuje również obserwację sygnałów za pomocą oscyloskopu i analizy wpływu sondy oscyloskopowej a kształt obserwowanego przebiegu.

2. Pomiar napięć stałych i przemiennych

2.1. Pomiar napięcia stałego

Pomiar napięcia przy pomocy voltmierza powoduje pewne zaburzenie badanego układu spowodowane obciążeniem go przez rezystancję wewnętrzną (wejściową) użytego przyrządu. Tworzy ona dzielik napięcia z zastępczą rezystancją wewnętrzną badanego układu, przez co zmierzane napięcie będzie mniejsze niż występujące w układzie badanym gdy przyrząd pomiarowy nie jest dołączony. Rozważmy pomiar napięcia na wyjściu dzielnika napięciowego złożonego z rezistorów R_1 i R_2 , zasilanego napięciem U_z , za pomocą voltmierza o rezystancji wewnętrznej R_v . Początkowo przyjmijmy, że voltmierz jeszcze nie jest dołączony (rys 1.1a):



Rys. 1.1 Dzielik napięcia i jego schemat zastępczy

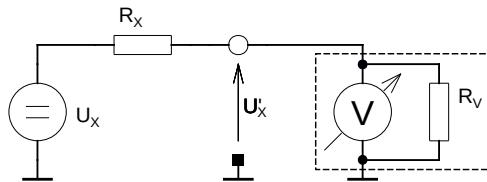
wtedy napięcie U_x wyniesie:

$$U_x = U_z \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

a rezystancja zastępcza R_x układu (czyli rezystancja wyjściowa dzielnika napięciowego) będzie równa:

$$R_x = R_1 \parallel R_2 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

Dzielnik można zastąpić równoważnym układem zastępczym pokazanym na rysunku 1.1b. Dołączenie woltomierza powoduje powstanie dodatkowego dzielnika złożonego z rezystancji zastępczej układu R_x i rezystancji wewnętrznej woltomierza R_v (rys. 1.2):



Rys. 1.2 Schemat zastępczy po dołączeniu woltomierza

Odczyt z woltomierza $U'x$ będzie odpowiadał spadkowi napięcia na rezystancji R_v i wniesie:

$$U'x = U_x \frac{R_v}{R_x + R_v}$$

jest to wielkość mniejsza od U_x . Różnica tych dwóch wielkości wyniesie:

$$\Delta U_x = U_x - U'x = U_x \frac{R_x}{R_x + R_v}$$

a błąd względny pomiaru:

$$\delta U_x = \frac{\Delta U_x}{U_x} = \frac{R_x}{R_x + R_v} \approx \frac{R_x}{R_v}$$

błąd będzie tym mniejszy im większa będzie rezystancja wewnętrzna woltomierza i ma charakter błędu metody (systematycznego), jego oszacowanie wymaga znajomości struktury badanego układu (jego rezystancji wewnętrznej w punkcie pomiaru napięcia).

Najczęściej obecnie stosowane multymetry cyfrowe charakteryzują się stałą rezystancją wejściową równą $10M\Omega$, niezależnie od wybranego zakresu pomiarowego. Podobnie zachowują się wyższej klasy multymetry analogowe wyposażone we wzmacniacz mierzonego napięcia.

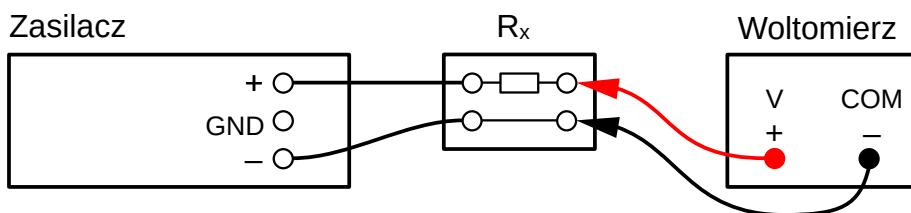
Tańsze woltomierze i multymetry analogowe (a także większość większości dawnych) charakteryzują się rezystancją wewnętrzną zależną od ustawionego zakresu pomiarowego. Poda je się ją w kiloomach na volt ustawionego zakresu pomiarowego. Przykładowo woltomierz o rezystancji $20k\Omega/V$ będzie miał rezystancję wewnętrzną $200k\Omega$ na zakresie pomiarowym $0...10V$ i $5M\Omega$ na zakresie $250V$. Najprostsze multymetry wskazówkowe przeznaczone do pomiarów w elektrotechnice mają około $1...2k\Omega/V$ a najwyższej klasy, do pomiarów w elektronice, miały do $100k\Omega/V$.

2.1.1. Zadanie pomiarowe

Dla przydzielonych wielkości U_Z , oraz rezystancji R_1 i R_2 , obliczyć napięcie wyjściowe dzielnika U_x oraz rezystancję wewnętrzną R_x . Obliczyć napięcie wskazane przez woltomierz, błąd bezwzględny pomiaru i błąd wzajemny dla dwóch przypadków:

1. pomiar multymetrem cyfrowym o rezystancji wewnętrznej $10M\Omega$,
2. pomiar multymetrem analogowym o rezystancji $20k\Omega/V$ i zakresach pomiarowych $0...2,5V$, $0...10V$, $0...50V$, $0...250V$ oraz $0...1000V$ przy czym wybrany jest optymalny zakres pomiarowy (najmniejszy, w którym mieści się napięcie mierzone).

Uzyskane wyniki zweryfikować eksperymentalnie, ustawiając w zasilaczu (sekcja C lub D) napięcie wyjściowe równe obliczonemu napięciu U_x , kontrolując je multymetrem cyfrowym. Następnie dołączyć rezystor o wartości R_x , symulujący rezystancję wyjściową dzielnika i dokonać pomiaru napięcia za rezystorem najpierw za pomocą multymetrów cyfrowego a następnie za pomocą analogowego (rys. 1.3). Sprawdzić, czy zmierzone wielkości odpowiadają obliczonym.



Rys. 1.3 Układ do pomiaru napięcia stałego

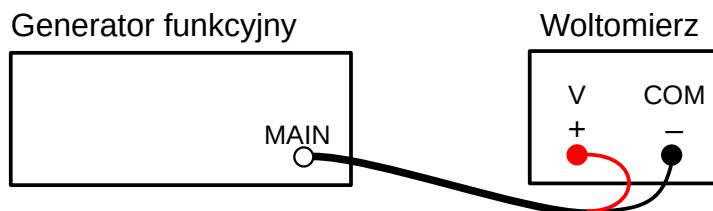
2.2. Pomiar napięcia przemiennego

Przy pomiarze napięć przemiennych najczęściej istotne jest poznanie skutecznej wartości mierzonego napięcia. Od niej bezpośrednio zależy moc, jaka wydziela się w obciążeniu rezystancyjnym dołączonym do źródła tego napięcia. W praktyce jednak większość mierników napięcia przemiennego reaguje na wartość średnią napięcia wyprostowanego. Dla przebiegów innych niż fala prostokątna, wartość średnia jest mniejsza niż wartość skuteczna. Dla przebiegu sinusoidalnego różnica ta wynosi około 11% a dla trójkątnego 15%. W praktyce przyjęto się, że mierniki napięcia przemiennego są skalowane tak, aby odczyt odpowiadał wielkości skutecznej przebiegu sinusoidalnego. Powoduje to powstanie dodatkowego błędu pomiarowego przy pomiarze napięć o przebiegu innym niż sinusoidalny (+11% dla przebiegu prostokątnego, -4% dla trójkątnego itp.) a także odkształconych przebiegów sinusoidalnych.

Błąd ten nie dotyczy mierników wyposażonych w specjalny typ przetwornika AC/DC umożliwiający pomiar wartości skutecznej dowolnego przebiegu wejściowego. Mierniki takie zwykle są oznaczone napisem „True RMS” oznaczającym pomiar rzeczywistej wartości skutecznej. W takich miernikach napięcie skuteczne jest mierzone niezależnie od kształtu przebiegu.

2.2.1. Zadanie pomiarowe

Zestawić układ pomiarowy według rysunku 1.4). Na generatorze funkcyjnym ustawić częstotliwość sygnału równą 50Hz, kształt sinusoidalny oraz przydzieloną wielkość napięcia międzyszczytowego przebiegu. Odczyt napięcia można włączyć naciskając kilkakrotnie przycisk „Display Select” obok wyświetlacza w generatorze aż wyświetli się jednostka pomiaru Vp-p.



Rys. 1.4 Układ do pomiaru napięcia przemiennego

1. Zmierzyć napięcie multimetrem z funkcją True RMS oraz zwykłym, korzystając z funkcji pomiaru napięcia przemiennego V_{AC} , i zanotować odczytane wielkości. Sprawdzić czy odczyty są zbliżone.
2. Przełączyć kształt generowanego przebiegu na prostokątny i ponownie odczytać napięcia. Obliczyć błąd pomiaru napięcia za pomocą przyrządu bez przetwornika True RMS.
3. Wykonać analogiczne pomiary i obliczyć błąd dla trójkątnego przebiegu napięcia.
4. Porównać uzyskane wyniki z teoretycznymi. **Uwaga:** rzeczywista amplituda sygnału wyjściowego generatora może istotnie różnić się od ustawionej i różnica ta może zależeć od ustawionego kształtu przebiegu!

2.3. Pomiar prądów stałych i przemiennych

W większości multimetrów pomiar prądu odbywa się poprzez pomiar spadku napięcia na rezystorze pomiarowym. Wartość jego rezystancji zwykle jest inna dla każdego zakresu pomiarowego, tak że spadek napięcia przy maksymalnym prądzie pomiarowym danego zakresu jest w przybliżeniu stały. W multimedrach cyfrowych wynosi on zwykle około 200mV, co wymaga rezystancji pomiarowych od 1000Ω na zakresie $200\mu A$ do $10m\Omega$ na zakresie 10A (teoretycznie maksymalny możliwy odczyt wynosi 20A, jednak zazwyczaj producenci ograniczają zakres pomiaru do 10A ze względu na wytrzymałość prądową rezystora pomiarowego i gniazd miernika). Dodatkowo przy pomiarze większych prądów istotne mogą być rezystancje przewodów pomiarowych, styków, złącz itp. zwiększące rzeczywisty spadek napięcia. Są one znacznie bardziej do oszacowania a ich wpływ może być istotny zwłaszcza jeśli np. przewody pomiarowe są niskiej jakości.

2.4. Pomiar prądów przemiennych

Nie wszystkie multymetry posiadają funkcję pomiaru prądów przemiennych, najtańsze często są jej pozbawione. Podobnie jak przy pomiarze napięć, przyrządy najczęściej mierzą prąd średni wyprostowany, ale są wyskalowane według wartości skutecznej prądu sinusoidalnie zmiennego. Powoduje to pojawienie się błędu przy pomiarze prądów o przebiegach niesinusoidalnych (odkształconych), analogicznie jak przy pomiarze napięcia. Nie dotyczy to oczywiście mierników z funkcją „True RMS”.

W elektrotechnice popularne są amperomierze cęgowe, pozwalające na pomiar prądów bez przerywania przewodu. Działają na zasadzie transformatora prądowego, przewód z mierzonym prądem pełni rolę uzwojenia pierwotnego o jednym zwoju. Z tego powodu mierniki cęgowe zwykle mierzą jedynie prąd przemienny. Są jednak takie, które mogą mierzyć prąd stały dzięki wyposażeniu w czujnik Halla, mierzący stałe pole magnetyczne.

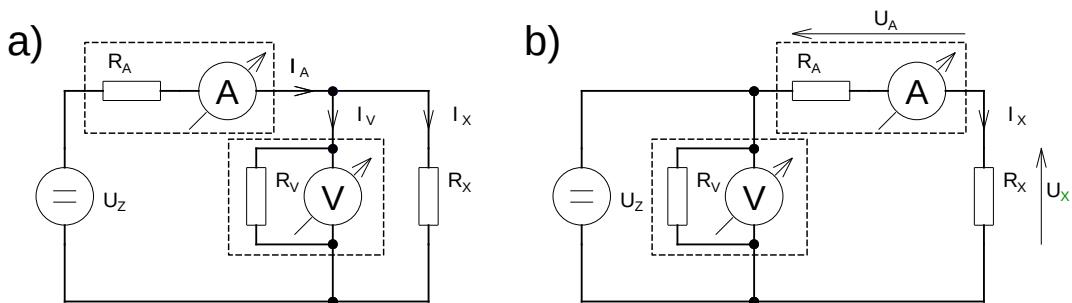
Obliczenie mocy pobieranej w obwodzie prądu przemiennego poprzez pomiar napięcia woltomierzem oraz prądu amperomierzem i pomnożenie uzyskanych wartości daje w wyniku moc pozorną. Wyznaczenie mocy czynnej (a także mocy biernej) wymaga znajomości współczynnika mocy $\cos\varphi$. Teoretycznie można go wyznaczyć badając dwukanałowym oscyloskopem przesunięcie fazy pomiędzy napięciem i prądem, jednak standardowe oscyloskopy mierzą napięcie względem masy, co utrudnia pomiar i grozi zwarciem lub porażeniem.

3. Pomiar rezystancji

Pomiaru rezystancji można dokonać kilkoma metodami, spośród nich zostaną omówione dwie, metoda techniczna i pomiar rezystancji omomierzem.

3.1. Metoda techniczna

W metodzie tej dokonuje się równoczesnego pomiaru prądu płynącego przez badany rezystor oraz spadku napięcia na nim. Mierzoną rezystancję wyznacza się na podstawie prawa Ohma. Możliwe są dwa warianty układu pomiarowego, pokazane na rysunku 1.5.



Rys. 1.5 Pomiar rezystancji metodą techniczną

W wariantie a) amperomierz włączony jest pomiędzy źródłem napięcia zasilania a woltomierzem, przez co mierzy on sumę prądu płynącego przez badaną rezystancję i przez rezystancję wewnętrzną użytego woltomierza:

$$I_A = I_X + I_V = \frac{U_V}{R_X} + \frac{U_V}{R_V} = U_V \frac{R_V + R_X}{R_V R_X}$$

Obliczona z na podstawie tego prądu i odczytu napięcia z woltomierza rezystancja R'_X jest mniejsza od rzeczywistej rezystancji mierzonej R_X i jest równa rezystancji zastępczej równoległego połączenia R_X i rezystancji wewnętrznej R_V użytego woltomierza:

$$R'_X = \frac{U_V}{I_A} = \frac{R_X R_V}{R_X + R_V}$$

Rzeczywistą wartość rezystancji można obliczyć, znając rezystancję wewnętrzną woltomierza R_V :

$$R_X = \frac{R'_X R_V}{R_V - R'_X}$$

Jeśli jednak jej nie uwzględnimy, to wzajemny błąd pomiaru (błąd metody) wyniesie:

$$\delta R_X = \frac{R'_X - R_X}{R_X} = -\frac{R_X}{R_X + R_V} \approx -\frac{R_X}{R_V}$$

błąd ten rośnie wraz ze wzrostem rezystancji mierzonej R_X . Oznacza to, że powinien być stosowany do pomiaru małych i średnich rezystancji.

Wariant b) różni się od poprzedniego tym, że amperomierz jest włączony za woltomierzem i mierzy tylko prąd płynący przez rezistor mierzony, jednak odczyt z woltomierza daje sumę spadku napięcia na rezystancji badanej i na amperomierzu:

$$U_V = U_X + U_A = I_X R_X + I_X R_A = I_X (R_A + R_X)$$

Dzieląc to napięcie przez odczytaną wartość prądu otrzymujemy rezystancję R' , która jest równa sumie badanej rezystancji R i rezystancji wewnętrznej amperomierza R :

$$R'_X = \frac{U_V}{I_A} = R_X + R_A$$

Aby obliczyć rzeczywistą wartość rezystancji mierzonej, musimy od wyniku dzielenia odjąć rezystancję wewnętrzną amperomierza:

$$R_X = R'_X - R_A$$

Jeśli jej nie uwzględnimy, to błąd metody wyniesie:

$$\delta R_X = \frac{R'_X - R_X}{R_X} = \frac{R_A}{R_X}$$

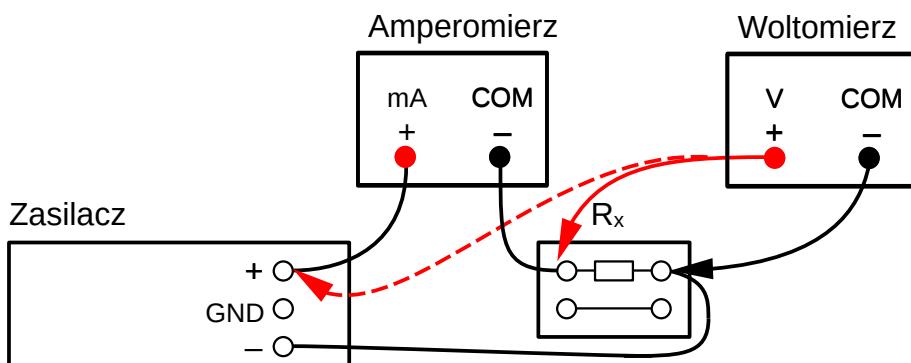
i jest tym mniejszy im większa jest mierzona rezystancja. Predestynuje to ten układ do pomiaru dużych rezystancji. Pewien problem przy stosowaniu tego wariantu wynika z tego, że producenci

mierników stosunkowo rzadko podają wartość rezystancji wewnętrznej amperomierzy w multi-metrach a ponadto na każdym zakresie pomiarowym jest ona inna.

W obu wariantach napięcie zasilające układ pomiarowy musi być dobrane do spodziewanej wartości mierzonej rezystancji i jej zdolności do odprowadzania wydzielającego się w niej ciepła. Przy pomiarze małych rezystancji, na poziomie kilku omów lub mniej, napięcie zasilające będzie niewielkie, nawet mniejsze niż 1V, podczas gdy pomiar rezystancji w zakresie mega-omów i powyżej może wymagać napięcia sięgającego nawet setek woltów.

3.1.1. Zadanie pomiarowe

Wykonać pomiar rezystora o wartości R_x z punktu 2.1.1 metodą techniczną, wykorzystując układ pomiarowy z rys. 1.6, używając jako źródła zasilania sekcji C lub D zasilacza ustalonej na przydzielone napięcie pomiarowe. Pomiar wykonać dla obu układów pomiarowych z rysunku 1.5, wykorzystując dwa multymetry cyfrowe a następnie powtórzyć z multimetrem analogowym do pomiaru napięcia i cyfrowym do pomiaru prądu (łącznie 4 pomiary). Porównać uzyskane wyniki w parach (układ a) z układem b) dla tych samych mierników użytych do pomiaru oraz w parach z tym samym układem pomiarowym ale różnymi miernikami. Wyjaśnić przyczyny zaobserwowanych różnic.

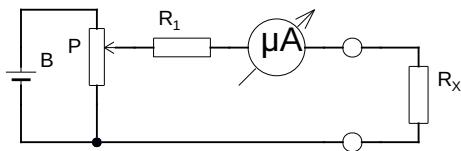


Rys. 1.6 Układ do pomiaru rezystancji metodą techniczną

3.2. Pomiar rezystancji omomierzem

Pomiaru rezystancji można w łatwy sposób dokonać za pomocą omomierza. Omomierze bywają budowane jako odrębne przyrządy pomiarowe, jednak najczęściej omomierz jest jedną z funkcji multymetru. Zawiera on źródło napięcia stałego zasilającego badaną rezystancję i układ pomiaru płynącego przez nią prądu (lub spadku napięcia przy przepływie znanego prądu). Uproszczony schemat omomierza w multymetrze analogowym jest pokazany na rysunku 1.7. Układ jest zwykle zasilany z ogniwa suchego o napięciu 1,5V. Mikroamperomierz mierzy prąd płynący przez rezistor badany. Dodatkowy rezistor R_1 ogranicza maksymalny prąd w obwodzie tak aby uniknąć przeciążenia miernika jeśli zostanie dołączona mała rezystancja mierzona. Do-

biera się go tak aby przy zerowej rezystancji mierzonej (zwarcie zacisków pomiarowych) uzykać pełne wychylenie wskazówki miernika. W tym punkcie znajduje się zero skali rezystancji która jest nieliniowa i odwrócona w stosunku do skali prądu. Punktowi zerowemu skali prądu odpowiada nieskończona rezystancja mierzona. Potencjometr P umożliwia skompensowanie zmian napięcia ognia w miarę jego wyczerpywania się.

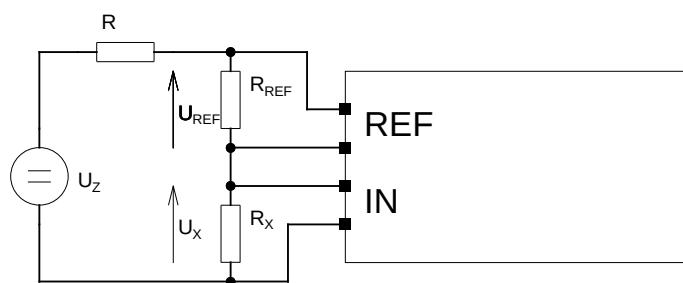


Rys. 1.7 Schemat zastępczy typowego omomierza analogowego (wskazówkowego)

Chociaż skala omomierza zawiera pełny zakres rezystancji od 0 do nieskończoności to zwykle omomierze mają kilka zakresów pomiarowych optymalizowanych dla różnych zakresów rezystancji mierzonej. Każdy zakres ma odpowiednio dobraną rezystancję R₁ i czułość miernika.

Przed wykonaniem pomiaru należy wybrać odpowiedni zakres pomiarowy a następnie zewrzeć zaciski pomiarowe i ustawić pełne wychylenie wskazówki odpowiadające zerowej rezystancji, po czym dołączyć mierzoną rezystancję i odczytać wynik ze skali rezystancji. Zmiana zakresu może wymagać ponownego zerowania.

W cyfrowych miernikach elektronicznych pomiar rezystancji jest realizowany nieco inaczej. Wykorzystuje się tu napięcie odniesienia przetwornika analogowo-cyfrowego i fakt, że w rzeczywistości przetwornik mierzy stosunek napięcia wejściowego do napięcia odniesienia. Jeśli zamiast źródła napięcia odniesienia do odpowiednich końcówek dołączymy rezystor wzorcowy i przepuścimy przez niego ten sam prąd co przez rezystor mierzony dołączony do zacisków wejściowych to odczyt na wyświetlaczu będzie odpowiadał stosunkowi rezystancji mierzonej do rezystancji wzorcowej. Wynik jest w znacznym stopniu niezależny od wielkości prądu pomiarowego płynącego przez rezystory o ile jest on w obu jednakowy ale warunek ten jest spełniony ze względu na szeregowe ich połączenie. Omomierz taki nie wymaga zerowania ani kalibracji, o ile rezystory wzorcowe zachowują wymaganą rezystancję. Odczyt nie jest zależny od napięcia zasilającego obwód pomiarowy.



Rys. 1.8 Zasada pomiaru rezystancji w multymetrze cyfrowym

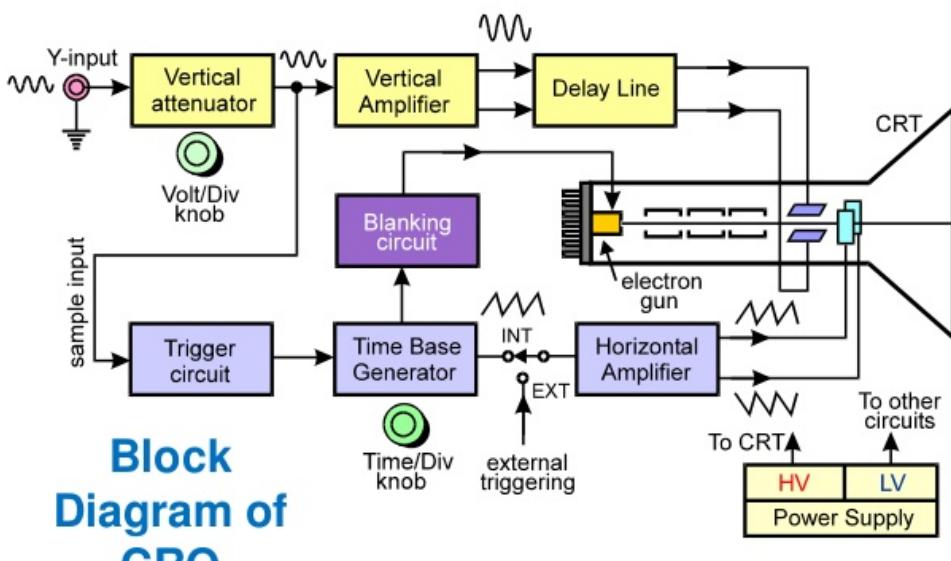
3.2.1. Zadanie pomiarowe

Wykonać pomiar rezystora o wartości R_x z punktu 2.1.1 za pomocą omomierza w multymetrze cyfrowym oraz analogowym. Zanotować wynik pomiaru i zakres pomiarowy na którym odczyt został dokonany. Uzyskane wyniki porównać z wynikami uzyskanymi metodą techniczną. Oszacować rozdzielczość pomiaru obydwoma przyrządami.

4. Pomiary oscyloskopowe

4.1. Zasada działania oscyloskopu

W klasycznym oscyloskopie do zobrazowania sygnału wykorzystywana była lampa oscyloskopowa, w której do wytworzenia obrazu badanego przebiegu wykorzystywana była wiązka elektronów padająca na ekran lampy pokryty luminoforem. Badany przebieg poprzez wejściowy dzielnik napięcia i wzmacniacz jest podawany na parę płytок odchylających wiązkę w kierunku pionowym a na drugą parę płytok, odchylającą wiązkę w poziomie, podawany jest przebieg piłko-ksztaltny zsynchronizowany z badanym przebiegiem. Połączone działanie obu torów odchylania, w pionie i w poziomie, powoduje wyświetlenie na ekranie kształtu badanego przebiegu.



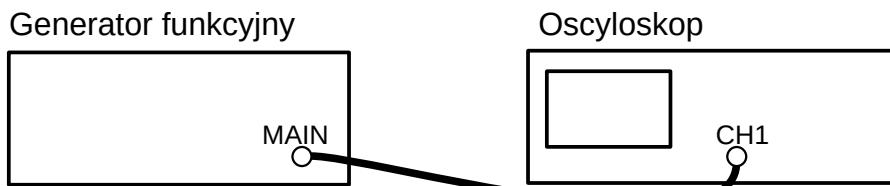
Rys. 1.9 Schemat blokowy oscyloskopu analogowego

Obecnie produkowane są niemal wyłącznie oscyloskopy cyfrowe. Mają one obwody wejściowe podobne do tych używanych w oscyloskopach klasycznych, jednak sygnał jest w nich przetwarzany na postać cyfrową przez szybki przetwornik analogowo-cyfrowy (zazwyczaj z bezpośrednim porównaniem) i zapisywany w szybkiej pamięci RAM. Zawartość tej pamięci jest odczytywana przez mikrokontroler, który wyświetla kształt przebiegu na ekranie wyświetlacza (obecnie LCD lub podobnego). Oscyloskopy cyfrowe mają znacznie większe możliwości, obserwowany przebieg może być zatrzymany na dowolnie długo w pamięci, co ułatwia obserwację

przebiegów jednorazowych i rzadko powtarzających się. Badany przebieg można zapisać na nośniku danych w postaci pliku graficznego lub tabeli danych, przesłać do komputera, wydrukować na podłączonej drukarce itp. Wyznaczanie poziomów napięć oraz zależności czasowych badanych sygnałów ułatwiają wyświetlane na ekranie linie pomiarowe. Bardziej zaawansowane oscyloskopy mają nawet funkcję wyliczania widma amplitudowego obserwowanego przebiegu. Pewne wady oscyloskopów cyfrowych wynikają z tego, że sygnał badany podlega dyskretyzacji w czasie, przez co mogą być np. gubione wąskie impulsy przy zbyt rzadkim próbkowaniu a obserwacja sygnałów zmiennych w czasie może być utrudniona.

4.1.1. Zadanie pomiarowe

Do wyjścia generatora funkcyjnego dołączyć oscyloskop (kanał CH1) za pomocą kabla koncentrycznego (rys. 1.10). Na generatorze ustawić przydzielone kształt sygnału, częstotliwość i napięcie międzymiędzyszczytowe, a następnie ustawić oscyloskop tak, aby uzyskać optymalne zobrazowanie przebiegu. W sprawozdaniu podać, jakie ustawienia czułości i podstawy czasu zostały wybrane. Obliczyć napięcie międzymiędzyszczytowe obserwowanego przebiegu oraz jego częstotliwość. Sprawdzić, czy są one zgodne z wielkościami ustawionymi na generatorze oraz wynikami pomiarów napięcia w punkcie 2.2.1.



Rys. 1.10 Układ pomiarowy do obserwacji przebiegu za pomocą oscyloskopu

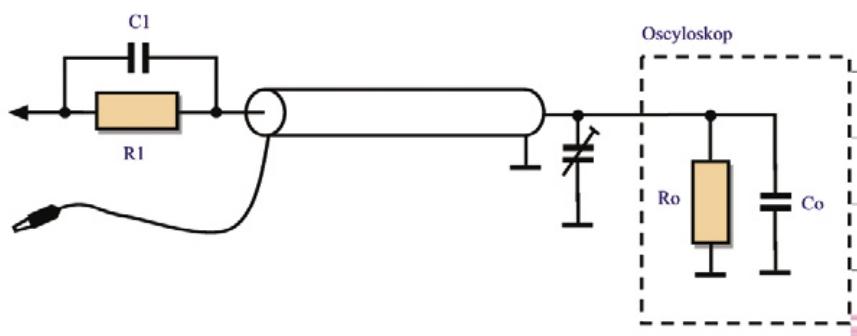
Sprawdzić, jak ustawienie poziomu synchronizacji wpływa na obserwowany na ekranie oscyloskopu przebieg. Co się dzieje jeśli poziom synchronizacji zostanie ustawiony zbyt wysoko lub zbyt nisko?

4.2. Sonda oscyloskopowa

Wejścia typowego oscyloskopu charakteryzują się rezystancją wewnętrzną równą $R_0 = 1M\Omega$, połączoną z równoległą pojemnością C_0 najczęściej z przedziału od 15 do 35pF. Sama rezystancja jest dość duża, tak że zwykle nie powoduje zauważalnego obciążenia badanego obwodu. Co innego jest z pojemnością wejściową, tym bardziej że oscyloskop musi być połączony z badanym układem za pomocą odcinka kabla. Aby nie wprowadzać zakłóceń, musi to być kabel ekranowany. Typowy kabel koncentryczny o impedancji falowej 50Ω charakteryzuje się pojemnością własną wynoszącą 100pF/m. Jeśli długość kabla wyniesie 1m to całkowita pojemność ob-

ciążająca układ badany wyniesie od 115 do 135 pF. Jest to stosunkowo dużo i najprawdopodobniej istotnie wpływie na badany przebieg, zwłaszcza w. cz. lub impulsowy. Specjalne kable koncentryczne o małej pojemności jednostkowej pozwalają obniżyć całkowitą pojemność do około połowy powyższej wielkości, jednak wciąż jest to sporo.

Rozwiązaniem jest zastosowanie sondy dzielącej sygnał w stosunku 10:1 (rys. 1.11). Zawiera ona rezystor R_1 o wielkości $9M\Omega$ tworzący z rezystancją wejściową oscyloskopu R_0 dzielnik napięcia o takim stosunku podziału. Aby dzielnik nie zniekształcał obserwowanych impulsów, w sondzie równolegle do rezystora jest dołączony kondensator C_1 o pojemności 9-krotnie mniejszej od sumarycznej pojemności kabla sondy i wejścia oscyloskopu. Uzyskuje się w ten sposób niemal 10-krotne zmniejszenie pojemności obciążającej układ badany (do około $10...15\text{pF}$). Ponieważ pojemność wejściowa oscyloskopu może nieco różnić się od nominalnej, sonda wyposażona jest w niewielki kondensator zmienny umożliwiający jej precyzyjne doregulowanie do konkretnego oscyloskopu, a nawet do jego konkretnego wejścia (kanału), gdyż mogą mieć minimalne różnice pojemności wejściowych.

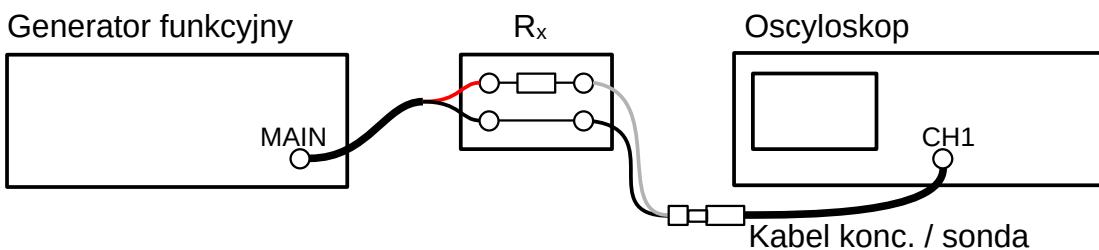


Rys. 1.11 Wewnętrzna budowa sondy oscyloskopowej

Niektóre sondy wyposażone są w przełącznik umożliwiający pominięcie dzielnika, przez co nie tłumią ona sygnału ale obciążenie badanego układu jest większe. Może się to przydać do obserwacji sygnałów o małej amplitudzie ale o ograniczonym paśmie.

4.2.1. Zadanie pomiarowe

1. Generator funkcyjny przełączyć na prostokątny kształt sygnału wyjściowego, zanotować jego zmierzoną amplitudę i oszacować czas narastania obserwowanego przebiegu.
 2. Pomiędzy wyjście generatora a kabel łączący z oscyloskopem włączyć rezystor o wartości R_x użyty w punkcie 2.1.1, tak jak jest pokazane na rysunku 1.12. Zaobserwować pochylenie zboczy impulsów, wynikające z efektu całkowania wywołanego przez połączoną pojemność własną kabla i oscyloskopu. Zarejestrować (naszkicować, sfotografować) obserwowany przebieg i określić jego amplitudę. Co spowodowało odkształcenie obserwowanego przebiegu?



Rys. 1.12 Układ pomiarowy do badania wpływu obciążenia pojemnością wejściową oscyloskopu

3. Zastąpić kabel koncentryczny sondą oscyloskopową ustawioną na tłumienie 1:1 (przełącznik na końcówce sondy na pozycję 1X). Określić amplitudę obserwowanego przebiegu i sprawdzić, czy uległa ona zmianie. Kabel sondy może mieć mniejszą pojemność jednostkową niż typowy kabel koncentryczny 50Ω .
4. Przełączyć sondę na podział 10:1 (pozycja 10X) i zwiększyć czułość odchymania, aby przywrócić optymalną wysokość przebiegu na ekranie. Czy kształt widocznego przebiegu jest bardziej zbliżony do prostokątnego? Określić amplitudę przebiegu na wejściu sondy i czas narastania, uwzględniając tłumienie wprowadzane przez sondę.
5. Zmienić częstotliwość generatora na 1kHz i zmniejszyć szybkość podstawy czasu w oscyloskopie tak aby obserwować 2...3 okresy przebiegu sterującego. Pomiędzy oscyloskopem a sondą wstawić trójnik BNC z dołączonym kondensatorem 5pF, symulującym zmianę pojemnościowej wejściowej oscyloskopu. Zaobserwować i zarejestrować zmianę kształtu obserwowanego przebiegu. Jakie wskazania praktyczne wynikają z tego eksperimentu?

5. Zagadnienia kolokwium wstępniego

1. Obliczanie prądów i napięć w obwodach prądu stałego, prawo Ohma, prawa Kirhoffa, źródła zastępcze, dzielnik napięciowy, dzielnik prądowy.
2. Przeliczanie częstotliwości i okresu sygnałów okresowych.
3. Wartość średnia, średnia wyprostowana, skuteczna, szczytowa i międzyszczytowa przebiegów zmiennych. Błędy przy pomiarze napięć przemiennych o różnych kształtach.
4. Pomiar rezystancji metodą techniczną, wybór układu pomiarowego, źródła błędów pomiaru.
5. Właściwości obwodu RC 1 rzędu, częstotliwość graniczna, stała czasowa odpowiedzi dla pobudzenia sygnałem prostokątnym.

6. Literatura pomocnicza

1. S. Osowski, K. Siwek, M. Śmialek, *Teoria obwodów*, wyd.2, OWPW, Warszawa 2013
2. J. Osiowski, J. Szabatin, *Podstawy teorii obwodów*, WNT, Warszawa 1993, 1995
3. M. Rupniewski, *Elektrotechnika Elementy teorii obwodów*, OWPW, Warszawa 2012

7. Zaliczenie

Ćwiczenie zaliczane jest na podstawie wyniku kolokwium wstępniego i oceny sprawozdania końcowego. Sprawozdanie zawierające wyniki wykonanych zadań z wnioskami i komentarzami, należy dostarczyć prowadzącemu ćwiczenie w postaci elektronicznej w terminie 5 dni akademickich.