

Ćwiczenie nr 5. Źródła napięciowe, prądowe (chemiczne, elektroniczne), pomiary parametrów.**Cel ćwiczenia:**

Celem ćwiczenia jest zapoznanie studentów wykonujących ćwiczenie ze źródłami sygnałów stałoprądowych stosowanych w elektronice, jak również z podstawowymi właściwościami tych źródeł i sposobami pomiaru ich parametrów.

Wprowadzenie w tematykę ćwiczenia

Źródła sygnałów stałoprądowych są stosowane w elektronice jako;

- źródła zasilające układy elektroniczne, to jest dostarczające prądów i napięć do polaryzacji elementów i przyrządów aktywnych w strukturach układów elektronicznych (polaryzowane są tranzystory, układy scalone, przyrządy optoelektroniczne itp.),
- źródła sygnałów odniesienia (sygnałów wzorcowych w układach elektronicznych),
- źródła zasilania awaryjnego urządzeń i systemów elektronicznych .

Dzieli się one na źródła elektrochemiczne (baterie suche, akumulatory, ogniwa paliwowe), stałoprądowe zasilacze elektroniczne (stabilizowane i niestabilizowane zasilacze napięcia i prądu stałego). Źródłami sygnału stałoprądowego są również, fotoogniwa (ogniwa słoneczne), jak i zjawiska termoelektryczne zachodzące na złączu dwu różnych metali (termoelementy). Każde z wyżej wymienionych źródeł sygnałów stałoprądowych posiada, co najmniej jeden parametr charakterystyczny dla danej grupy źródeł. Istnieje jednak grupa parametrów wspólnych. Wyznaczenie wartości niektórych z tych parametrów jest celem zadań realizowanych w niniejszym ćwiczeniu.

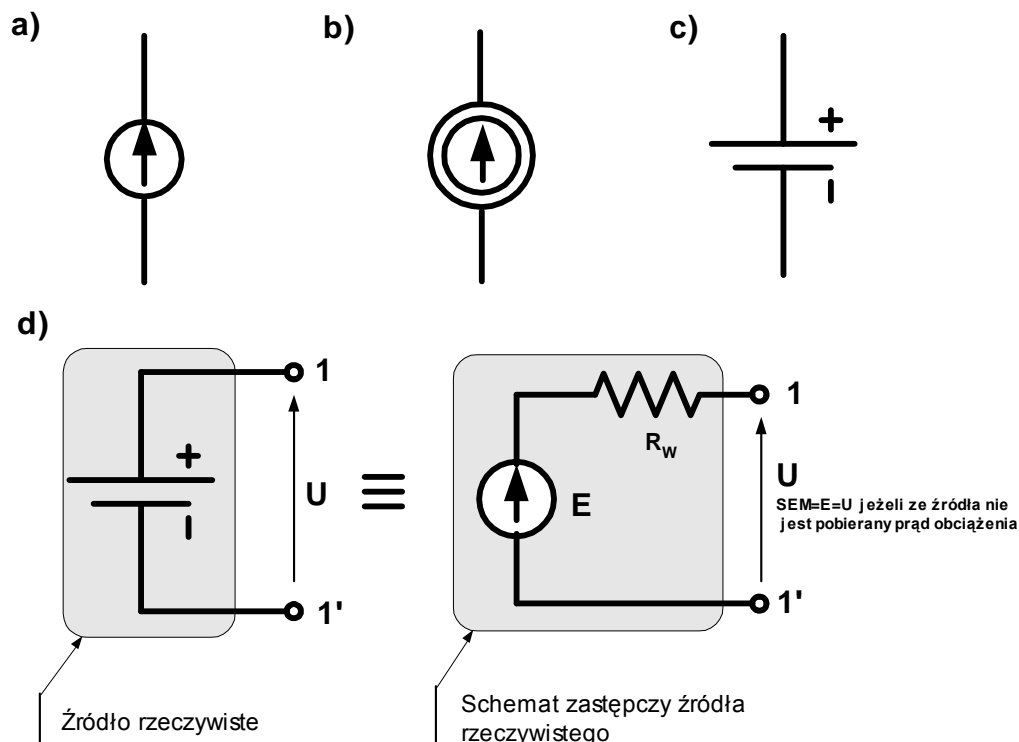
Każde rzeczywiste źródło sygnału stałoprądowego można, w celu analizy, zastąpić prostym układem zastępczym. Układ taki składa się z dwu elementów; idealnego źródła napięcia lub prądu oraz elementu reprezentującego rezystancję (oporność) wewnętrzną źródła rzeczywistego (rys.1).

Idealne źródło napięciowe wytwarza na swych zaciskach napięcie (SEM- siłę elektromotoryczną), którego wartość **nie zależy od obciążenia**, czyli wartości dostarczanego przez to źródło prądu.

Idealne źródło prądu wytwarza prąd, którego natężenie jest niezależne od dołączonego obciążenia. Napięcie na zaciskach takiego źródła jest równe zero przy zwarciu i rośnie proporcjonalnie do wzrostu wartości rezystancji obciążenia. Zgodnie z prawem Ohma wynika, że idealne źródło napięcia ma rezystancję wewnętrzną równą **zero**, natomiast idealne źródło prądowe ma rezystancję wewnętrzną **nieskończenie dużą**.

Rezystancja wewnętrzna źródeł rzeczywistych wpływa w znaczący sposób na właściwości tych źródeł. Rzeczywiste źródło napięcia jest tym lepsze im mniejsza jest jego rezystancja wewnętrzna R_w . Rezystancja ta ujawnia swoje oddziaływanie w przypadku, kiedy ze źródła napięcia pobierany jest prąd (rys.2). Prąd I_o pobierany przez obciążenie R_o dołączone do zacisków wyjściowych źródła 1- 1' powoduje, że napięcie U występujące na zaciskach tego źródła, jest mniejsze od napięcia E występującego na tych zaciskach w sytuacji kiedy ze źródła nie jest pobierany prąd (to jest $I_o = 0$).

Ćwiczenie nr 5. Źródła napięciowe, prądowe (chemiczne, elektroniczne), pomiary parametrów.

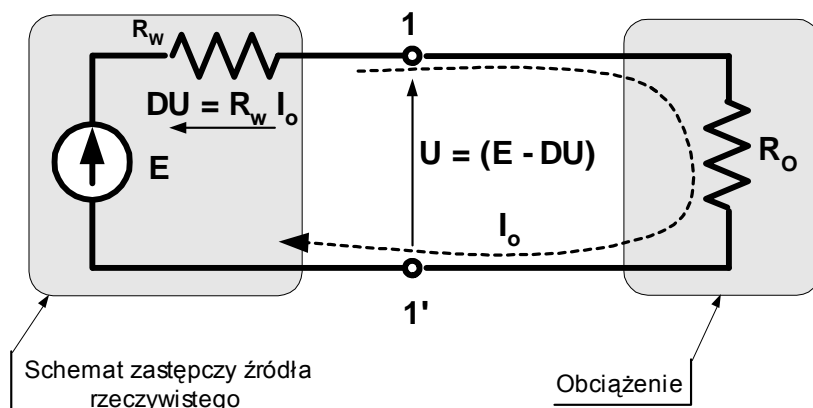


Rys.1 Symbole i schematy zastępcze źródeł sygnałów stałoprądowych.

- symbol idealnego źródła napięciowego,
- symbol idealnego źródła prądowego,
- symbol rzeczywistego źródła sygnału stałoprądowego
- rzeczywiste źródło napięciowe i równoważny schemat zastępczy utworzony z szeregowego połączenia idealnego źródła napięciowego o SEM = E i rezystancji wewnętrznej źródła R_w .

Spadek napięcia na rezystancji wewnętrznej źródła wyznaczony z prostej zależności (prawo Ohma) ma wartość:

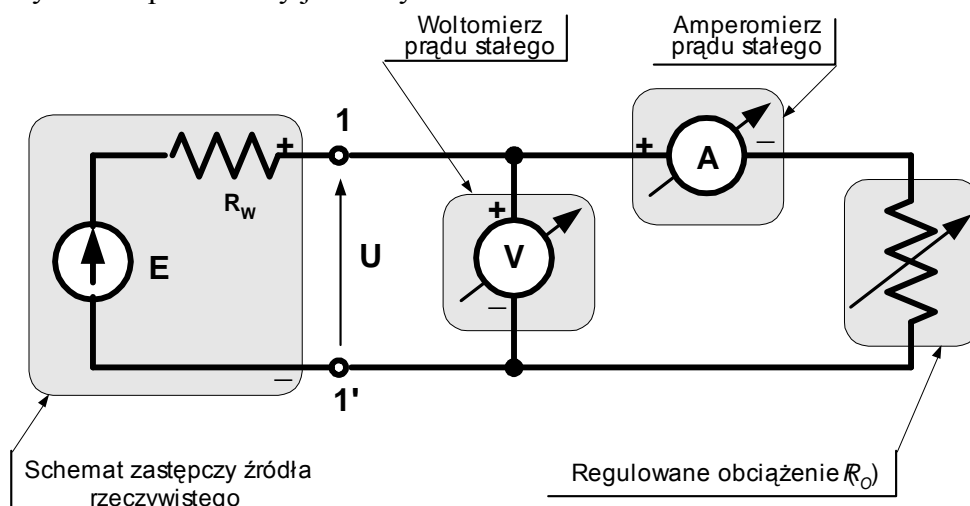
$$\Delta U = I_o \cdot R_w \quad (1)$$



Rys 2. Ilustracja wpływu rezystancji wewnętrznej źródła na wartość napięcia U występującego na jego zaciskach przy pobieraniu przez obciążenie R_o prądu I_o .

Ćwiczenie nr 5. Źródła napięciowe, prądowe (chemiczne, elektroniczne), pomiary parametrów.

Opisane powyżej zjawisko zależności wartości napięcia na zaciskach rzeczywistego źródła od pobieranego przez obciążenie prądu, umożliwia wyznaczenie jego rezystancji wewnętrznej R_w . W tym celu wystarczy zmierzyć wartości napięć U_1 i U_2 na zaciskach źródła dla dwu różnych wartości obciążenia R_{O1} oraz R_{O2} . Uzyskane wyniki pozwalają ułożyć układ dwu równań (zastosować II prawo Kirchhoffa na sumę spadków napięć w zamkniętym oczku), z których można wyznaczyć szukaną rezystancję wewnętrzną R_w . Szukaną rezystancję można także wyznaczyć z charakterystyki prądowo - napięciowej danego źródła. W celu wyznaczenia wspomnianej charakterystyki należy złożyć układ pomiarowy jak na rysunku 3.



Rys 3. Schemat ideowy układu pomiarowego do wyznaczenia charakterystyki prądowo - napięciowej rzeczywistego źródła napięcia

Wyniki pomiarów zestawić w tabeli podanej poniżej. W czasie pomiarów należy zwracać szczególną uwagę na zakresy pomiarowe załączonych przyrządów pomiarowych (zwłaszcza amperomierza), jak również nie przekraczać dopuszczalnej mocy wydzielanej w obciążeniu. Wartość mocy wydzielanej w obciążeniu w przypadku prądu stałego wyliczyć z zależności:

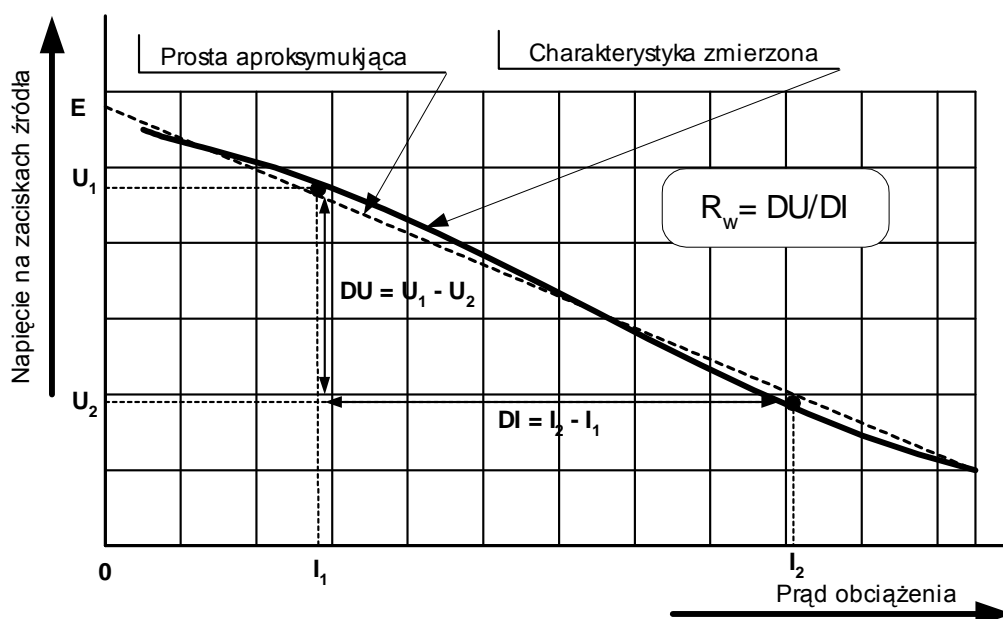
$$P_o = I_o \cdot U \quad (2)$$

Tabela 1. Przykład tabeli do zestawienia wyników pomiarów

Nr. pom.	Rezystancja obciążenia R_o	Napięcie na Zaciskach źródła U	Prąd obciążenia I_o	Moc wydzielana w obciążeniu P_o
	[Ω]	[V]	[A]	[W]
1				
...				
n				

Na podstawie wyników pomiarów zestawionych w tabeli sporządzić wykres charakterystyki prądowo - napięciowej badanego źródła (rys 4). Z wykonanego wykresu wyznaczyć wartość szukaną rezystancję wewnętrzną badanego źródła. Jest ona równa współczynnikowi kierunkowemu prostej, stycznej do charakterystyki w danym jej punkcie. Najczęściej wyznaczana charakterystyka jest w przybliżeniu linią prostą. Oznacza to, że rezystancja wewnętrzna badanego źródła ma w tym przypadku stałą wartość.

Ćwiczenie nr 5. Źródła napięciowe, prądowe (chemiczne, elektroniczne), pomiary parametrów.



Rys 4. Przykład wykonania charakterystyki prądowo - napięciowej źródła sygnału stałoprądowego oraz ilustracja sposobu wyznaczenia jego rezystancji wewnętrznej oraz wartości SEM= E .

Dysponując wartością rezystancji wewnętrznej źródła oraz wartościami prądu obciążenia i napięcia na zaciskach źródła można wyliczyć wartości mocy wydzielanej w rezystancji obciążenia R_O , oraz w rezystancji wewnętrznej źródła R_W . W przypadku rzeczywistego źródła, to jest źródła o skończonej rezystancji wewnętrznej $R_{zr} \neq 0$, maksymalna moc jest wydzielana w obciążeniu, jeżeli wartość rezystancji obciążenia jest równa wartości rezystancji wewnętrznej źródła ($R_{zr} = R_O$).

Rezystancja wewnętrzna występuje w każdym rzeczywistym źródle napięciowym sygnału elektrycznego, zarówno w ogniwie elektrochemicznym jak i zasilaczu stabilizowanym. Źródło napięciowe jest tym lepsze im mniejsza jest wartość jego rezystancji wewnętrznej. Jest to wyraźnie widoczne w przypadku rozładowanych baterii suchych w latarce, jak i w przypadku rozładowanego akumulatora samochodowego. Przy rozładowanych bateriach żarówka świeci słabo bądź, w skrajnym przypadku, nie świeci. Przy rozładowanym akumulatorze nie można uruchomić silnika, ponieważ natężenie prądu dostarczanego przez akumulator jest zbyt małe, aby uruchomić rozrusznik. Duża rezystancja wewnętrzna zasilaczy stabilizowanych jest również powodem występowania niekorzystnych sprzężeń w aparaturze elektronicznej, co w konsekwencji powoduje zwiększenie poziomu zakłóceń.

Wyznaczanie charakterystyki prądowo - napięciowej źródła wymaga pomiarów natężenia prądu i napięcia. Należy pamiętać, że pomiary te zawsze są obarczone niepewnością, której wartość wynika z zastosowanych przyrządów pomiarowych. Obecnie powszechnie dostępne są elektroniczne multimetry cyfrowe. Niepewność pomiaru prądu lub napięcia przyrządem cyfrowym składa się z dwu podstawowych części. Są to składowa "iloczynowa" niepewności (nazywana także składową "multiplikatywną") oraz składowa sumacyjna (addytywna). Wartość składowej "iloczynowej" jest częścią wartości zmierzonej (jest ułamkiem wartości zmierzonej). Stąd jej nazwa sugerująca, że aby wyznaczyć wartość tej składowej niepewności, należy wartość zmierzona przemnożyć przez podany w instrukcji czynnik. Jest on zwykle podany jako procentowa wartość z wielkości zmierzonej (z angielskiego % of reading - % rdg).

Ćwiczenie nr 5. Źródła napięciowe, prądowe (chemiczne, elektroniczne), pomiary parametrów.

Zmierzono woltomierzem cyfrowym napięcie $U_x=8.72V$. Podany przez producenta składnik multiplikacyjny niepewności pomiaru napięcia wynosi 0,1%rdg. Zatem szukana wartość tej składowej niepewności pomiaru napięcia jest równa

$$\pm \Delta U_m = \pm(U_x \cdot 0,1)/100 = \pm(8,72[V] \cdot 0,1[\%])/100[\%] = \pm 0,00872[V] \approx \pm 0,009[V].$$

Druga składowa niepewności, to jest składowa "addytywna", określana jest najczęściej jako pewna liczba "ziaren" wielkości mierzonej. Pod pojęciem "ziarno" rozumiana jest najmniejsza wartość o jaką może zmienić się, najmniej znacząca cyfra na polu odczytowym woltomierza, przy pomiarze napięcia U_x .

Niech napięcie $U_x = 8,72V$ (z poprzedniego przykładu) było zmierzone na czterocyfrowym polu odczytowym woltomierza o zakresie 20,00V. Zatem najmniejsze "ziarno" o jakie zmienia się wskazanie tego woltomierza, ma wartość $\Delta U_z = \pm 0,01V$ (zmiany wskazań na najmniej znaczącej pozycji wyświetlacza). Gdyby było powiedziane, że błąd ziarnistości (tj. składowa addytywna) ma wartość np. 3 - ziarna, to w tym przypadku (na tym zakresie pomiarowym woltomierza) szukana wartość ΔU_z , byłaby równa $\Delta U_z = \pm(3 \cdot 0,01V) = \pm 0,03V$.

Całkowita niepewność pomiaru wartości prądu lub napięcia woltomierzem cyfrowym jest sumą obu powyżej omawianych składowych, to jest składowej multiplikatywnej i składowej addytywnej.

Amperomierzem o pięć - cyfrowym polu odczytowym, zmierzono na zakresie 20,000A prąd $I_x = 15,575A$. Z instrukcji przyrządu wiadomo, że składowa multiplikacyjna niepewności pomiaru, ma wartość $\pm 0,01\%$ a składowa addytywna ± 3 ziarna. Jaka jest wartość granicznej niepewności pomiaru prądu I_x tym amperomierzem. Rozwiązanie. Wartość szukanej składowej multiplikatywnej jest równa:

$$\pm \Delta I_m = \pm(I_x \cdot 0,1)/100 = \pm(15,575[A] \cdot 0,1[\%])/100[\%] = \pm 0,0015575[A] \approx \pm 0,002[A]$$

Składowa addytywna jest w tym przypadku równa: $\Delta I_z = \pm(3 \cdot 0,001A) = \pm 0,003A$.

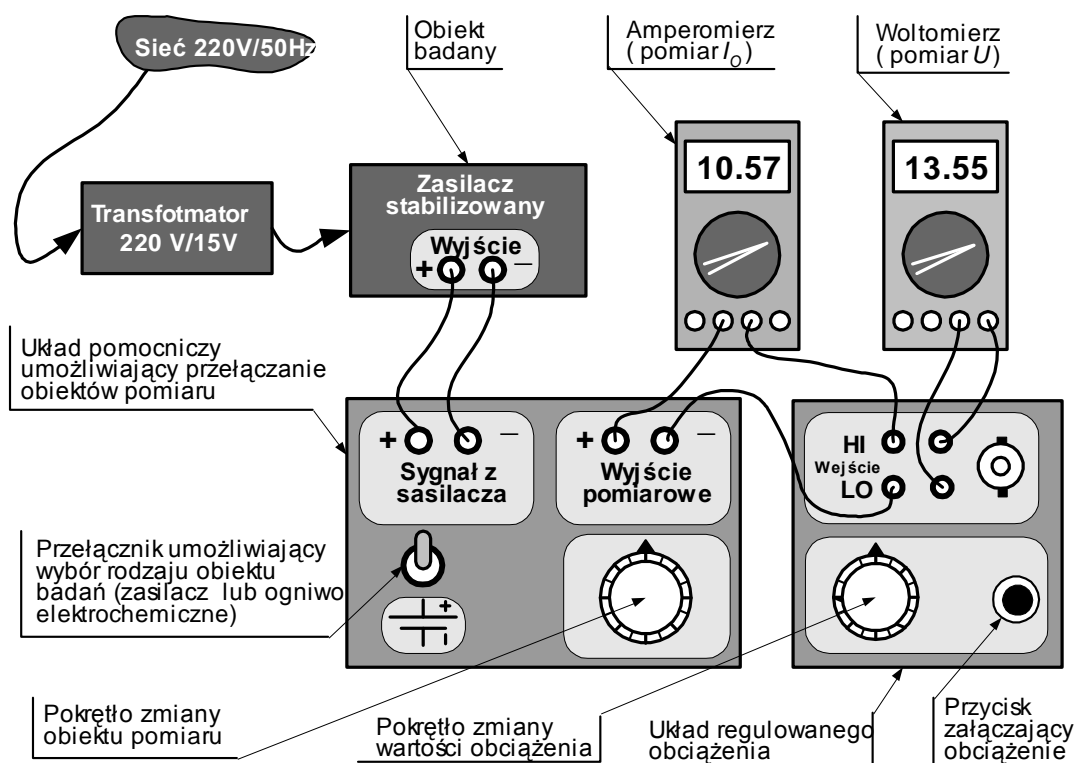
Zatem szukana niepewność graniczna pomiaru wartości prądu $\Delta I_x = \pm \Delta I_m \pm \Delta I_z = \pm(0,002 + 0,003) = \pm 0,005A$

Poprawny zapis zmierzonej wartości prądu ma postać $I_x = (15,575 \pm 0,005)A$

Program ćwiczenia

W czasie ćwiczenia należy wyznaczyć charakterystyki prądowo- napięciowe zasilacza stabilizowanego oraz kilku ogniw elektrochemicznych o różnym poziomie naładowania. W celu ułatwienia pomiarów stanowisko laboratoryjne jest wyposażone w pomocnicze układy dydaktyczne (makiety dydaktyczne) ułatwiające realizację ćwiczenia. Pomiary charakterystyk prądowo - napięciowych realizowane są w układzie, którego idea pomiarowa została przedstawiona na rysunku 3, a schemat blokowy z zastosowaniem pomocniczych układów dydaktycznych podano na rysunku 5. Jako przyrządy mierzące napięcie i prąd (woltomierz i amperomierz) zalecane jest zastosowanie przyrządów uniwersalnych np. V-640 lub multimetrów Metex. Połączenie przyrządów w układ jak na rysunku 5 wymaga włączenia amperomierza i woltomierza zgodnie z ogólnie stosowanymi regułami (amperomierz szeregowo, woltomierz równolegle). Należy także zwrócić uwagę na prawidłowe dołączenie jednego z obiektów badań, jakim jest zasilacz stabilizowany z układem pomocniczym (zacisk "plus" zasilacza dołączyć do gniazda "plus" w układzie pomocniczym w grupie zacisków opisanych jako "Sygnał z zasilacza").

Ćwiczenie nr 5. Źródła napięciowe, prądowe (chemiczne, elektroniczne), pomiary parametrów.



Rys. 5 Schemat blokowy połączeń przyrządów pomiarowych (amperomierza i woltomierza) z obiektami badań i układami pomocniczymi.

Przełącznik umieszczony na płycie układu pomocniczego umożliwia doprowadzenie do zacisków opisanych jako "wyjście pomiarowe" sygnałów z badanych źródeł tj. zasilacza stabilizowanego lub ogniwa elektrochemicznego (w zależności od położenia dźwigni przełącznika). Pokręto "zmiany obiektu pomiaru- selektor" na płycie układu pomocniczego umożliwia dodatkowe przełączanie obiektów pomiaru. W pozycji "A" do zacisków pomiarowych doprowadzone są bezpośrednio sygnały z zasilacza lub ogniwa. W pozycjach "B", "C", "D" do zacisków pomiarowych dołączone są sygnały z rozładowanych w różnym stopniu ogniwo elektrochemicznych. W pozycjach tych możliwe jest także doprowadzenie do zacisków "wyjścia pomiarowego" sygnału z zasilacza (zależnie od położenia dźwigni przełącznika wyboru obiektu badań). W przypadku tym jego oporność wewnętrzna ma znacznie większą wartość. Zmianę oporności obciążenia umożliwia "układ regulowanego obciążenia". Układ ten ma zrównoleżone dwie pary gniazd "radiowych" i jedno gniazdo koncentryczne typu BNC-50. Zalecane jest, aby do gniazd opisanych jako "HI" dołączać dodatni biegun źródeł badanych sygnałów. **Maksymalne napięcie (stałe + zmienne), jakie można dołączyć do tego obciążenia wynosi $U_{\max} = 15V$.** Wartość rezystancji obciążenia jest ustawiana pokrętelem "zmiana wartości obciążenia". Nie opisana pozycja tego pokręteła, poprzedzająca pozycję opisaną jako $30k\Omega$ umożliwia podłączenie rezystancji obciążenia równej $R_0 = \infty$ (rozwarcie lub obciążenie źródła sygnału opornością wewnętrzną woltomierza, jeżeli jest on dołączony do układu). **Uwaga:** załączenie obciążenia nastawionego pokrętelem "zmiana wartości obciążenia" następuje tylko wtedy, kiedy wciśnięty jest przycisk oznaczony napisem "załączenie".

Wykonanie pomiarów. W zmontowanym układzie jak na rysunku 5 doprowadzić do układu obciążenia sygnał z zasilacza stabilizowanego (pokręto przełącznika zmiany obiektu pomiaru w pozycji "A"). Zmierzyć wartości napięcia na wyjściu pomiarowym (są to te same napięcia, co na

Ćwiczenie nr 5. Źródła napięciowe, prądowe (chemiczne, elektroniczne), pomiary parametrów.

zaciskach źródła badanego) przy rozwarciu źródła jak i przy załączonych obciążeniach oraz prądy pobierane ze źródła przy różnych wartościach obciążenia. Wyniki zestawić w tabeli pomiarowej (tabela nr 2). Tabela nr.1, zaproponowana wcześniej, może być fragmentem tabeli nr.2

Tabela nr.2 Przykładowa tabela do zestawienia wyników pomiaru źródeł stałoprądowych.

Obciążenie	R [Ω]	∞	30 k Ω	15 k Ω	7,5 k Ω	3,0 k Ω	1,5 k Ω	0,75 k Ω	0,3 k Ω	0,15 k Ω	75 Ω	50 Ω
Bateria "A"	U [V]											
	I [A]											
Bateria "B"	U [V]											
	I [A]											
Bateria "C"	U [V]											
	I [A]											
Bateria "D"	U [V]											
	I [A]											
Zasilacz "A"	U [V]											
	I [A]											
Zasilacz "E"	U [V]											
	I [A]											

Do zacisków wyjścia pomiarowego makiety doprowadzić sygnał z ogniwa elektrochemicznego (baterii) (pokrętko przełącznika "selektor" w pozycji "A"). Podobnie jak w poprzednim punkcie zmierzyć wartości napięcia na zaciskach baterii i prąd z niej pobierany. Wyniki zapisać w tabeli.

Pomiary powtórzyć dla ogniwa ale przy przełączniku - selektor ustawionym w pozycji "B". Wyniki zapisać w tabeli. Pomiary dla baterii powtórzyć przy kolejnych ustawieniach przełącznika - selektor w pozycjach "C" a następnie "D".

Powtórzyć pomiar napięcia i prądu dla zasilacza stabilizowanego, ale przy przełączniku - selektor ustawionym w pozycji "E". Wyniki zapisać w tabeli pomiarowej.

Na podstawie zestawionych w tabeli wyników pomiarów, wykonać wykresy charakterystyk prądowo - napięciowych badanych źródeł. Z narysowanych charakterystyk wyznaczyć wartości SEM i oporności wewnętrzne badanych źródeł.

Dla jednej grupy wyników pomiarów (pomiary dotyczące jednej charakterystyki prądowo - napięciowej) kierując się uwagami pracownika prowadzącego zajęcia oszacować niepewność wyznaczenia poszczególnych punktów analizowanej charakterystyki. Wykresy, jak i wyniki obliczeń rezystancji wewnętrznej badanych źródeł zamieścić w sprawozdaniu z ćwiczenia. Na podstawie uzyskanych wyników opracować uwagi i wnioski.

Ćwiczenie nr 5. Źródła napięciowe, prądowe (chemiczne, elektroniczne), pomiary parametrów.**Pytania kontrolne**

1. Jaki sygnał elektryczny nazywamy sygnałem stałoprądowym i jakie są jego charakterystyczne parametry. Wyjaśnij to na sporządzonym szkicu.
2. Podaj charakterystyczne cechy idealnego źródła prądowego i napięciowego. Narysuj stosowane symbole tych źródeł.
3. Podaj charakterystyczne cechy rzeczywistego źródła napięciowego. Narysuj jego układ zastępczy i wyjaśnij, co oznaczają poszczególne elementy tego układu.
4. Wyjaśnij wpływ rezystancji wewnętrznej rzeczywistego źródła napięcia, na sygnał napięciowy występujący na jego zaciskach. Wyjaśnij to w oparciu o schemat prostego układu złożonego ze źródła i obciążenia.
5. Podaj, w jaki sposób można wyznaczyć wartość SEM źródła napięcia (podaj metodę pomiarową i metodę „graficzną”).
6. Narysuj układ do pomiaru charakterystyki prądowo - napięciowej źródła i zaznacz sposób dołączenia przyrządów pomiarowych, w przypadku pomiaru źródeł stałoprądowych.
7. W jaki sposób można oszacować niepewność pomiaru prądu i napięcia multimetrem cyfrowym. Wymień składowe niepewności granicznej pomiaru prądu i napięcia multimetrem cyfrowym.
8. Wyjaśnij jak definiowana jest składowa iloczynowa niepewności cyfrowego pomiaru prądu i napięcia.
9. Wyjaśnij jak definiowana jest składowa sumacyjna niepewności cyfrowego pomiaru prądu i napięcia.

Literatura

1. B. Konorski.: Podstawy elektrotechniki. PWN Warszawa 1967r.
2. T. Cholewicki.: Elektrotechnika teoretyczna. WNT Warszawa 1967r.
3. Praca zbiorowa pod kierunkiem B.Konorskiego.: Poradnik inżyniera elektryka. WNT Warszawa 1968r.
4. Praca zbiorowa pod redakcją A. Wojnara.: Poradnik inżyniera radioelektryka. WNT Warszawa 1969r.
5. J. Parchański.: Miernictwo elektryczne i elektroniczne. WSiP Warszawa 1996r.

Zestaw przyrządów pomiarowych

- | | |
|--|--------|
| 1. Multimetr cyfrowy | 1 szt. |
| 2. Makieta PD-5 „źródła sygnałów stałych” | 1 szt. |
| 3. Makieta PD-4 „obciążenie regulowane” | 1 szt. |
| 4. Makieta PD-2 –zasilacz prądu stałego (15V/0,5A) | 1 szt. |
| 5. Transformator (230V/15V AC) do zasilacza | 1 szt. |

Opracował: dr inż. Piotr Ruszel

Instytut Inżynierii Biomedycznej i Pomiarowej Wydziału PPT Politechniki Wrocławskiej