

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.

1. 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), 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 (termopary). 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 oporność wewnętrzną źródła rzeczywistego (rys.1).

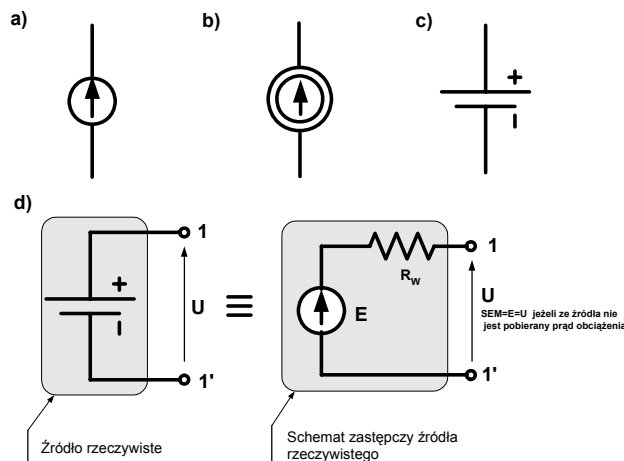
Idealne źródło napięciowe wytwarza na swych zaciskach napięcie (SEM - siłę elektromotoryczną), którego wartość **nie zależy od obciążenia**, czyli wartości dostarczanego przez to źródło prądu.

Idealne źródło prądu wytwarza prąd, którego wartość jest niezależna 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 oporność wewnętrzną równą **zero**, natomiast idealne źródło prądowe ma oporność wewnętrzną **nieskończenie dużą**.

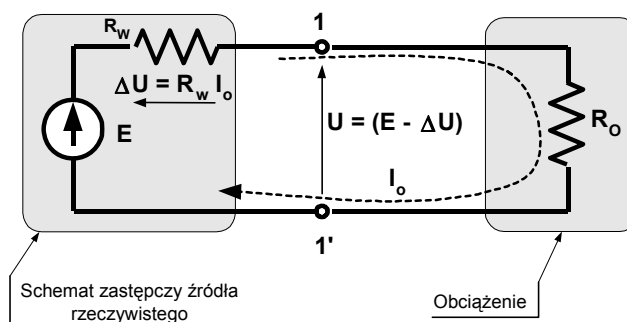
Oporność wewnętrzną źródeł rzeczywistych wpływa w znaczący sposób na właściwości tych źródeł. Rzeczywiste źródło napięcia jest tym lepsze im mniejsza jest jego oporność wewnętrzną R_w . Oporność ta ujawnia swoje oddziaływanie w przypadku, kiedy ze źródła napięcia pobierany jest prąd (rys.2). Prąd I_O 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 $I_O = 0$). Spadek napięcia na oporności wewnętrznej źródła wyznaczony z prostej zależności (prawo Ohma) ma wartość:

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

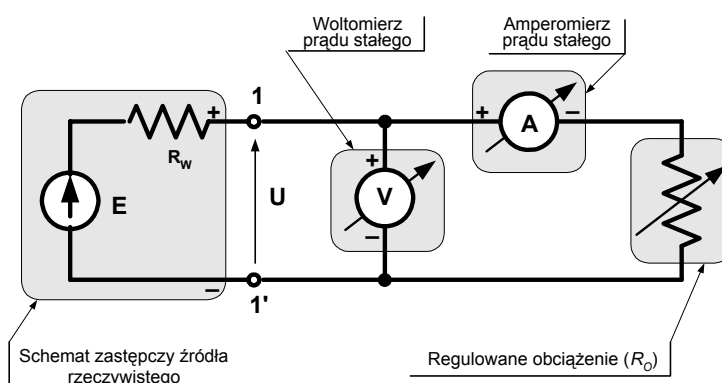
Opisane powyżej zjawisko zależności wartości napięcia na zaciskach rzeczywistego źródła od pobieranego przez obciążenie prądu, umożliwia wyznaczenie jego oporności wewnętrznej R_w . W tym celu wystarczy zmierzyć wartości napięć U_1 i U_2 na zaciskach źródła dla dwu różnych wartości obciążenia R_{O1} 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 oporność wewnętrzną R_w . Szukaną oporność można także wyznaczyć z charakterystyki prądowo - napięciowej danego źródła. W celu wyznaczenia wspomnianej charakterystyki należy złożyć układ pomiarowy jak na rysunku 3.



Rys. 1. Symbole i schematy zastępcze źródeł sygnałów stałoprądowych; (a) symbol idealnego źródła napięciowego; (b) symbol idealnego źródła prądowego; (c) symbol rzeczywistego źródła sygnału stałoprądowego; (d) rzeczywiste źródło napięciowe i równoważny schemat zastępczy utworzony z szeregowego połączenia idealnego źródła napięciowego o $SEM = E$ i oporności wewnętrznej źródła R_w



Rys. 2. Ilustracja wpływu oporności wewnętrznej źródła na wartość napięcia U występującego na jego zaciskach przy pobieraniu przez obciążenie R_O prądu I_O



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

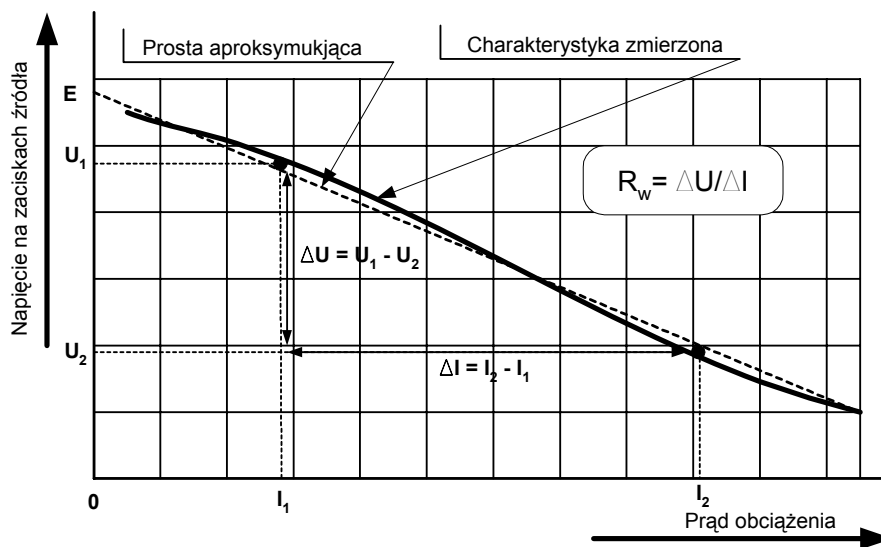
Wyniki pomiarów zestawień w tabeli podanej poniżej. W czasie pomiarów należy zwracać szczególną uwagę na zakresy pomiarowe załączonych przyrządów pomiarowych (zwłaszcza amperomierza), jak również nie przekraczać dopuszczalnej mocy wydzielanej w obciążeniu. Wartość mocy wydzielanej w obciążeniu w przypadku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

$$P_O = I_O \cdot U \quad (2)$$

Tabela 1. Przykład tabeli do zestawienia wyników pomiarów

Nr. pom.	Oporność 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 szukanej oporności wewnętrznej 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 oporność wewnętrzna badanego źródła ma w tym przypadku stałą wartość.



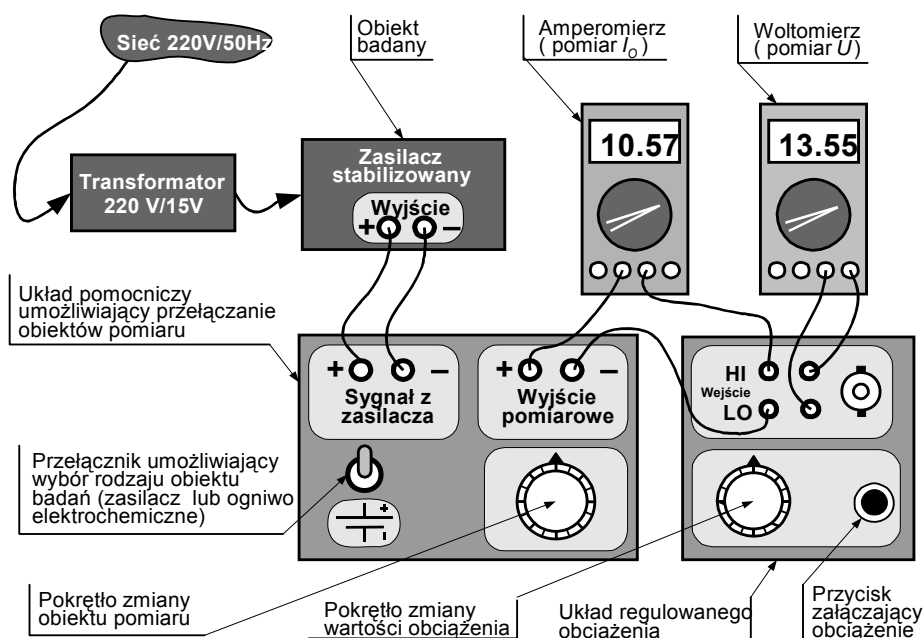
Rys. 4. Przykład wykonania charakterystyki prądowo - napięciowej źródła sygnału stałoprądowego oraz ilustracja sposobu wyznaczenia jego oporności wewnętrznej oraz wartości SEM= E .

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

Oporność 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 oporności 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 prąd dostarczany przez akumulator jest zbyt mały, aby uruchomić rozrusznik. Duża oporność wewnętrzna zasilaczy stabilizowanych jest również powodem występowania niekorzystnych sprzężeń w aparaturze elektronicznej, co w konsekwencji powoduje zwiększenie poziomu zakłóceń.

2. Wykonanie 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").



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). Pokrętko "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 ogniw 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 zrównoległe 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 oporności obciążenia jest ustawiana pokrętkiem "zmiana wartości obciążenia". Nie opisana pozycja tego pokrętła, poprzedzająca pozycję opisaną jako $30k\Omega$ umożliwia podłączenie oporności obciążenia równej $R_0 = \infty$ (rozwarcie lub obciążenie źródła sygnału opornością wewnętrzną woltomierza, jeżeli jest on dołączony do układu).

Uwaga: załączenie obciążenia nastawionego pokrętkiem "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 (pokrętło przełącznika zmiany obiektu pomiaru w pozycji "A"). Zmierzyć wartości napięcia na wyjściu pomiarowym (są to te same napięcia, co na 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.

Do zacisków wyjścia pomiarowego makiety doprowadzić sygnał z ogniwa elektrochemicznego (baterii) (pokrętło 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 (pomiaru dotyczące jednej charakterystyki prądowo-napięciowej) kierując się uwagami pracownika prowadzącego zajęcia oszacować niepewność wyznaczenia poszczególnych punktów analizowanej charakterystyki. Wykresy, jak i wyniki obliczeń oporności wewnętrznej badanych źródeł zamieścić w sprawozdaniu z ćwiczenia. Na podstawie uzyskanych wyników opracować uwagi i wnioski.

3. 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 oporności 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.

4. Literatura

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

Opracował: dr inż. Piotr Ruszel

Instytut Inżynierii Biomedycznej i Pomiarowej Wydziału PPT Politechniki Wrocławskiej