Laboratorium Podstaw Pomiarów

Podstawy Elektroniki i Pomiarów 1 – laboratorium

Ćwiczenie T2

Pomiary napięć i prądów stałych

Instrukcja

Opracował:

dr hab. inż. Grzegorz Pankanin, prof. uczelni

Instytut Systemów Elektronicznych
Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych

Warszawa 2023

v. 2.4
(20.10.2023)

Fundusze Europejskie Wiedza Edukacja Rozwój

Politechnika Warszawska

Unia Europejska Europejski Fundusz Społeczny

Ćwiczenie T2

Pomiary napięć i prądów stałych

1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z metodami pomiaru napięć i prądów w rzeczywistych obwodach elektrycznych, pojęciem niepewności pomiaru oraz wykorzystywaną aparaturą pomiarową.

2. Tematyka ćwiczenia

- pomiary bezpośrednie napięcia i prądu,
- pomiar pośredni prądu,
- pomiar napięcia na zaciskach źródła rzeczywistego, błąd metody, wyznaczenie rezystancji wewnętrznej źródła napięcia,
- metoda kompensacyjna pomiaru siły elektromotorycznej (SEM) źródła.

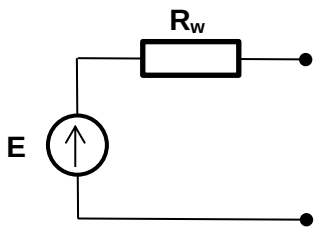
3. Umiejętności zdobywane przez studentów

- umiejętność pomiaru napięcia, prądu i rezystancji,
- umiejętność wyznaczania wartości prądu metodą pośrednią,
- umiejętność pomiaru napięcia na zaciskach źródła rzeczywistego i wyznaczenia jego rezystancji wewnętrznej,
- umiejętność pomiaru siły elektromotorycznej źródła metoda kompensacyjną,
- umiejętność poprawnego opracowania i udokumentowania wyników pomiarów.

4. Charakterystyka mierzonych wielkości i metod pomiarowych

4.1. Podstawy teoretyczne – metoda bezpośrednia pomiaru napięcia

Napięcie stałe jest to różnica potencjałów między dwoma punktami obwodu elektrycznego, która nie zmienia się w czasie. Rzeczywiste źródło napięcia stałego można opisać jako szeregowe połączenie źródła idealnego o sile elektromotorycznej E oraz opornika R_w reprezentującego rezystancję wewnętrzną (Rys. 2.1). Źródłem napięcia stałego może być bateria, zasilacz stabilizowany a także obwód elektryczny, którego dwa dane punkty zdefiniujemy jako jego zaciski wyjściowe.

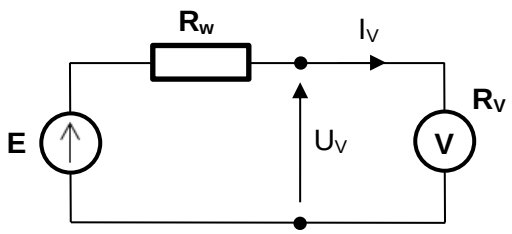


Rys. 2.1. Źródło rzeczywiste napięcia stałego

Rezystancja wewnętrzna rzeczywistych źródeł napięcia waha się w bardzo szerokich granicach. Rezystancja wewnętrzna profesjonalnych zasilaczy jest rzędu ułamka mΩ, rezystancja baterii i akumulatorów służących do zasilania urządzeń waha się w granicach od kilku mΩ do kilku kΩ.

Każdy obwód elektryczny zawierający źródła napięciowe lub prądowe można potraktować jako rzeczywiste źródło napięciowe. Jego rezystancja wewnętrzna R_w oraz siła elektromotoryczna (SEM) będą zależały od konfiguracji obwodu oraz wartości występujących w nim elementów.

Do pomiaru napięcia służą przyrządy zwane woltomierzami. W przypadku woltomierza idealnego jego rezystancja wewnętrzna R_V jest nieskończenie duża. W rzeczywistych woltomierzach jej wartość zależy od typu przyrządu i zawiera się w granicach od kilku kiloomów (kΩ) w przypadku mierników magnetoelektrycznych, do nawet 10 GΩ w przypadku stacjonarnych, profesjonalnych woltomierzy. Zasadę bezpośredniego pomiaru napięcia na zaciskach źródła napięcia stałego za pomocą woltomierza przedstawiono na Rys 2.2.



Rys. 2.2. Pomiar napięcia na zaciskach źródła napięcia stałego

Dołączenie woltomierza do zacisków rzeczywistego źródła napięcia, zgodnie z Rys 2.2, powoduje zamknięcie obwodu elektrycznego i przepływ prądu I_V

$$I_V = \frac{E}{R_w + R_V} \tag{2-1}$$

który płynie przez woltomierz i powoduje spadek napięcia na rezystancji wewnętrznej źródła. Z tego powodu napięcie zmierzone jest mniejsze od wartości siły elektromotorycznej źródła o spadek napięcia na jego rezystancji wewnętrznej

$$U_V = E - I_V \cdot R_w = E\frac{R_V}{R_w + R_V} = \frac{E}{\frac{R_w}{R_V} + 1} \tag{2-2}$$

Mamy tu do czynienia z **błędem metody**, który jest błędem systematycznym, a więc **korygowalnym**. W tym przypadku jest on ujemny i wyraża się zależnością

$$\Delta_m E = U_V - E = -E\frac{R_w}{R_w + R_V} = -E\frac{1}{1 + \frac{R_V}{R_w}} \tag{2-3}$$

Ponieważ zwykle nie znamy wartości E, więc w praktyce wygodniej jest przedstawić wzór na błąd metody $\Delta_m E$ w postaci

$$\Delta_m E = -U_V \frac{R_w}{R_V} \tag{2-4}$$

Znając wartość błędu metody można skorygować wynik pomiaru

$$E = U_V - \Delta_m E \tag{2-5}$$

Niezależnie od błędu metody każdy wynik pomiaru obarczony jest **niepewnością**.

Największy dopuszczalny błąd względny pomiaru $\delta_g x$ oblicza się ze wzorów podanych dla konkretnych przyrządów pomiarowych.

W tabeli 2.1 zamieszczono wyrażenia na największy dopuszczalny błąd względny pomiaru napięć i prądów stałych oraz rezystancji dla multimetru **U1252B**.

Tabela 2.1. Wyrażenia na największy dopuszczalny błąd względny pomiaru za pomocą multimetru **U1252B**

Mierzona wielkość	**Zakres pomiarowy**	**Wyrażenie na największy dopuszczalny błąd względny pomiaru**
napięcie stałe	50 mV	$\delta_g U = 0{,}05\% + \frac{50}{n} \cdot 100\%$
	500 mV, 1 V, 5 V i 50 V	$\delta_g U = 0{,}025\% + \frac{5}{n} \cdot 100\%$
	500 V i 1000 V	$\delta_g U = 0{,}03\% + \frac{5}{n} \cdot 100\%$
prąd stały	500 μA i 5 mA	$\delta_g I = 0{,}05\% + \frac{5}{n} \cdot 100\%$
	50 mA i 440 mA	$\delta_g I = 0{,}15\% + \frac{5}{n} \cdot 100\%$
	5 A	$\delta_g I = 0{,}3\% + \frac{10}{n} \cdot 100\%$
	10 A	$\delta_g I = 0{,}3\% + \frac{5}{n} \cdot 100\%$
rezystancja	500 Ω	$\delta_g R = 0{,}05\% + \frac{10}{n} \cdot 100\%$
	5 kΩ, 50 kΩ i 500 kΩ	$\delta_g R = 0{,}05\% + \frac{5}{n} \cdot 100\%$
	5 MΩ	$\delta_g R = 0{,}15\% + \frac{5}{n} \cdot 100\%$
	50 MΩ	$\delta_g R = 1\% + \frac{5}{n} \cdot 100\%$
	500 MΩ (dla R<200 MΩ)	$\delta_g R = 3\% + \frac{10}{n} \cdot 100\%$
	500 MΩ (dla R>200 MΩ)	$\delta_g R = 8\% + \frac{10}{n} \cdot 100\%$

Symbol „n" we wzorach oznacza wskazanie przyrządu z pominięciem kropki dziesiętnej.

Multimetr **U1252B** jest urządzeniem przenośnym zasilanym z akumulatora znajdującego się wewnątrz obudowy.

W tabeli 2.2 zamieszczono wyrażenia na największy dopuszczalny błąd względny pomiaru napięć i prądów stałych oraz rezystancji dla multimetru **34450A**.

Tabela 2.2. Wyrażenia na największy dopuszczalny błąd względny pomiaru za pomocą multimetru **34450A**

Mierzona wielkość	**Zakres pomiarowy**	**Wyrażenie na największy dopuszczalny błąd względny pomiaru**
napięcie stałe	100 mV	$\delta_g U = 0{,}018\% + 0{,}008\% \frac{U_Z}{U}$
	1 V, 10 V, 100 V i 1000 V	$\delta_g U = 0{,}015\% + 0{,}005\% \frac{U_Z}{U}$
prąd stały	100 µA	$\delta_g I = 0{,}05\% + 0{,}015\% \frac{I_Z}{I}$
	1 mA	$\delta_g I = 0{,}05\% + 0{,}007\% \frac{I_Z}{I}$
	10 mA	$\delta_g I = 0{,}05\% + 0{,}015\% \frac{I_Z}{I}$
	100 mA	$\delta_g I = 0{,}05\% + 0{,}007\% \frac{I_Z}{I}$
	1 A	$\delta_g I = 0{,}10\% + 0{,}015\% \frac{I_Z}{I}$
	10 A	$\delta_g I = 0{,}25\% + 0{,}007\% \frac{I_Z}{I}$
rezystancja	100 Ω i 1 kΩ	$\delta_g R = 0{,}050\% + 0{,}008\% \frac{R_Z}{R}$
	10 kΩ i 100 kΩ	$\delta_g R = 0{,}050\% + 0{,}005\% \frac{R_Z}{R}$
	1 MΩ	$\delta_g R = 0{,}060\% + 0{,}005\% \frac{R_Z}{R}$
	10 MΩ	$\delta_g R = 0{,}250\% + 0{,}005\% \frac{R_Z}{R}$
	100 MΩ	$\delta_g R = 2{,}000\% + 0{,}005\% \frac{R_Z}{R}$

Niepewność standardową obliczamy ze wzoru

$$u(x) = \frac{\Delta_g x}{\sqrt{3}} = \frac{x \cdot \delta_g x}{\sqrt{3} \cdot 100\%} \tag{2-6}$$

natomiast niepewność standardową względną – ze wzoru

$$u_{rel}(x) = \frac{u(x)}{x} \cdot 100\% = \frac{\delta_g x}{\sqrt{3}} \tag{2-7}$$

gdzie x oznacza mierzoną wielkość (odpowiednio napięcie U, prąd I, rezystancję R), a $\delta_g x$ – największy dopuszczalny błąd względny pomiaru.

W przypadku przyrządów elektromechanicznych (np. woltomierza magnetoelektrycznego **LM-3**) największy dopuszczalny błąd pomiaru (bezwzględny) określany jest na podstawie parametru zwanego **klasą**

$$\Delta_{kl}U = \frac{kl \cdot U_z}{100} \tag{2-8}$$

gdzie kl oznacza klasę przyrządu (np. 0,1; 0,2; 0,5; 1), U_z – zakres pomiarowy, a U – wynik pomiaru.

W ogólnym przypadku przy szacowaniu niepewności pomiaru uwzględnia się również **zdolność rozdzielczą** przyrządu (np. 0,5 lub 0,2 elementarnej działki). W Laboratorium Podstaw Pomiarów ten składnik będziemy pomijali. Przy takim uproszczeniu niepewność standardowa pomiaru przyrządem elektromechanicznym wyraża się wzorem

$$u(U) = \frac{\Delta_{kl}U}{\sqrt{3}} \tag{2-9}$$

a niepewność standardowa względna – wzorem

$$u_{rel}(U) = \frac{\Delta_{kl}U}{U \cdot \sqrt{3}} \cdot 100\% \tag{2-10}$$

W przypadku elementów wzorcowych (np. opornik dekadowy) klasa oznacza – inaczej niż dla przyrządów pomiarowych – największy dopuszczalny błąd względny wyrażony w procentach. Przykładowo największy dopuszczalny błąd względny ustawienia rezystancji opornika dekadowego klasy 0,05 jest równy $\delta_g R_d$ = 0,05%.

Kolejna różnica dotyczy obliczania niepewności standardowej. Przyjmuje się, że wartości elementów wzorcowych charakteryzują się rozkładem normalnym. W takim przypadku niepewność standardowa wyrażona jest wzorem

$$u(x) = \frac{\Delta_g x}{3} = \frac{x \cdot \delta_g x}{3 \cdot 100\%} \tag{2-11}$$

natomiast niepewność standardowa względna – wzorem

$$u_{rel}(x) = \frac{u(x)}{x} \cdot 100\% = \frac{\delta_g x}{3} \tag{2-12}$$

gdzie x oznacza wartość elementu wzorcowego (np. rezystancję R), a $\delta_g x$ – największy dopuszczalny błąd względny.

4.2. Wyznaczanie siły elektromotorycznej i rezystancji wewnętrznej źródła napięcia

Istnieje możliwość wyznaczenia siły elektromotorycznej E i rezystancji wewnętrznej R_w źródła rzeczywistego w oparciu o pomiar napięcia na jego zaciskach. W tym celu należy

wykonać pomiar za pomocą dwóch woltomierzy o znacznie różniących się rezystancjach wewnętrznych.

Analitycznie można to zapisać w sposób następujący:

$$U_1 = E\,\frac{R_{V1}}{R_w + R_{V1}} \tag{2-13}$$

$$U_2 = E\,\frac{R_{V2}}{R_w + R_{V2}} \tag{2-14}$$

gdzie:

U_1 – napięcie zmierzone woltomierzem o rezystancji wewnętrznej R_{V1},
U_2 – napięcie zmierzone woltomierzem o rezystancji wewnętrznej R_{V2}.

Uzyskamy w ten sposób układ dwóch równań liniowych z dwiema niewiadomymi E i R_w. Rozwiązaniem tego układu równań są wyrażenia

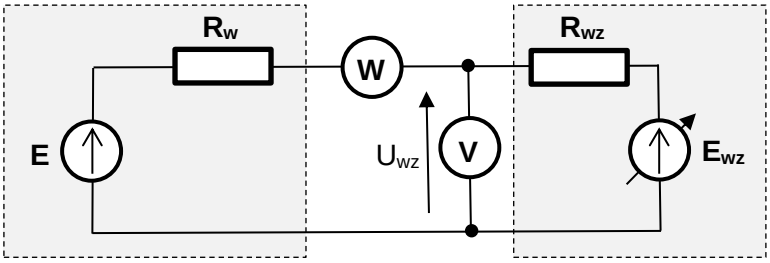
$$E = U_1 \cdot U_2 \cdot \frac{R_{V1} - R_{V2}}{R_{V1} \cdot U_2 - R_{V2} \cdot U_1} \tag{2-15}$$

$$R_w = R_{V1} \cdot R_{V2} \cdot \frac{U_1 - U_2}{R_{V1} \cdot U_2 - R_{V2} \cdot U_1} \tag{2-16}$$

W przedstawionej analizie zakłada się, że różnice wskazań obu woltomierzy są spowodowane wyłącznie przez wpływ ich rezystancji wewnętrznych. Nie uwzględnia się faktu, że wartości napięć U_1 i U_2 oraz rezystancji wewnętrznych R_{V1} i R_{V2} są obarczone niepewnością. Dlatego też wzory (2-15) i (2-16) można wykorzystywać jedynie w przypadku, gdy wskazania U_1 i U_2 woltomierzy różnią się znacząco (znacznie więcej niż wynikałoby to z ich niepewności).

4.3. Pomiar siły elektromotorycznej źródła metodą kompensacyjną

Metoda kompensacyjna pomiaru napięcia należy do grupy metod zerowych. Kompensacyjny pomiar siły elektromotorycznej źródła o nieznanej rezystancji wewnętrznej R_w polega na porównaniu tego napięcia z napięciem znanego, regulowanego źródła o dowolnej, lecz niezbyt dużej rezystancji wewnętrznej. Obwód pomiarowy ilustrujący metodę kompensacyjną przedstawiono na Rys. 2.3.



Rys. 2.3. Układ do pomiaru napięcia metodą kompensacyjną

Zadaniem źródła wzorcowego (E_{wz}, R_{wz}) jest wytworzenie napięcia równego sile elektromotorycznej badanego źródła. Do detekcji stanu zrównania napięcia wzorcowego z siłą elektromotoryczną badanego źródła służy **wskaźnik równowagi**, którym może być woltomierz o dużej czułości. W stanie równowagi napięcia E oraz U_{wz} są sobie równe. Jedną z podstawowych zalet metody kompensacyjnej jest fakt, że po skompensowaniu obwodu nie jest pobierany prąd z badanego źródła napięcia, a więc na jego rezystancji wewnętrznej nie występuje spadek napięcia.

Wskaźnik równowagi **W** powinien charakteryzować się **dużą czułością**, aby stan zrównoważenia siły elektromotorycznej E przez wzorcowe napięcie U_{wz} mógł być wyznaczony możliwie precyzyjnie. Woltomierz **V** wykorzystywany do pomiaru napięcia wzorcowego powinien charakteryzować się **dużą dokładnością**, gdyż od niej głównie zależy dokładność wyznaczenia siły elektromotorycznej E.

Na niepewność pomiaru metodą kompensacyjną wpływa niepewność pomiaru napięcia wzorcowego, ograniczona rozdzielczość regulacji wynikająca ze skokowych zmian napięcia wzorcowego oraz nieczułość wskaźnika równowagi.

Do obliczenia wartości niepewności standardowej pomiaru siły elektromotorycznej E źródła metodą kompensacyjną można wykorzystać następujące wyrażenie:

$$u(E) = \sqrt{\left(\frac{\Delta_g U_{wz}}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta U}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta U_{min}}{\sqrt{3}}\right)^2} \tag{2-17}$$

gdzie:

$\Delta_g U_{wz}$ – największy dopuszczalny błąd pomiaru napięcia wzorcowego,

ΔU – rozdzielczość regulacji napięcia wzorcowego, wyrażona przez różnicę kolejnych stanów źródła; dla zasilacza **E3646A** wartość ΔU jest równa 10 mV,

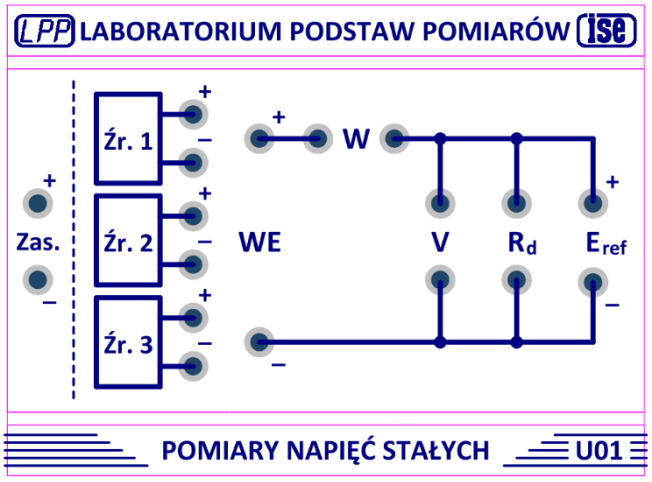
ΔU_{min} – najmniejsza (co do modułu) możliwa do odczytania wartość napięcia na wskaźniku równowagi **W**; w przypadku woltomierza cyfrowego – napięcie odpowiadające cyfrze „1” na najmniej znaczącym miejscu.

Niepewność standardową względną można obliczyć ze wzoru

$$u_{rel}(E) = \frac{u(E)}{U_{wz}} \cdot 100\% \tag{2-18}$$

5. Opis modułu pomiarowego U01

Moduł **U01** zawiera trzy źródła napięcia (**Źr.1**, **Źr.2** i **Źr.3**) o różnych wartościach siły elektromotorycznej oraz różnych rezystancjach wewnętrznych. Wymagają one dołączenia zasilacza stabilizowanego do zacisków **Zas.**



Rys. 2.4. Moduł pomiarowy U01

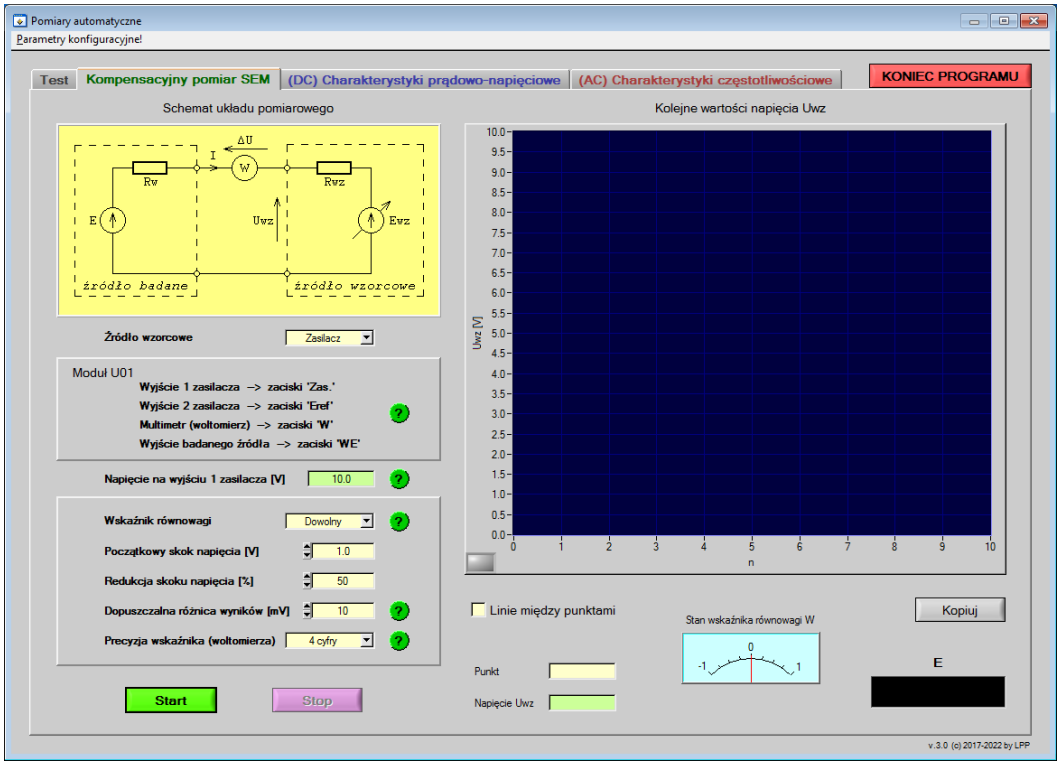
Zaciski **WE** są przeznaczone do dołączenia źródła napięcia, którym może być jedno ze źródeł **Źr.1**, **Źr.2**, **Źr.3**, bądź zasilacz stabilizowany (stosownie do realizowanego eksperymentu). Zaciski **W** przewidziano do dołączenia wskaźnika równowagi w metodzie kompensacyjnej. W innych eksperymentach mogą być one wykorzystane do dołączenia miliamperomierza, lub mogą być zwarte za pomocą przewodu laboratoryjnego. Zaciski **V** służą do dołączenia woltomierza, a zaciski $\mathbf{R_d}$ do dołączenia opornika dekadowego. Zaciski $\mathbf{E_{ref}}$ są wykorzystywane w metodzie kompensacyjnej do dołączenia źródła napięcia referencyjnego (wzorcowego).

6. Opis programu komputerowego do automatycznego pomiaru siły elektromotorycznej metodą kompensacyjną

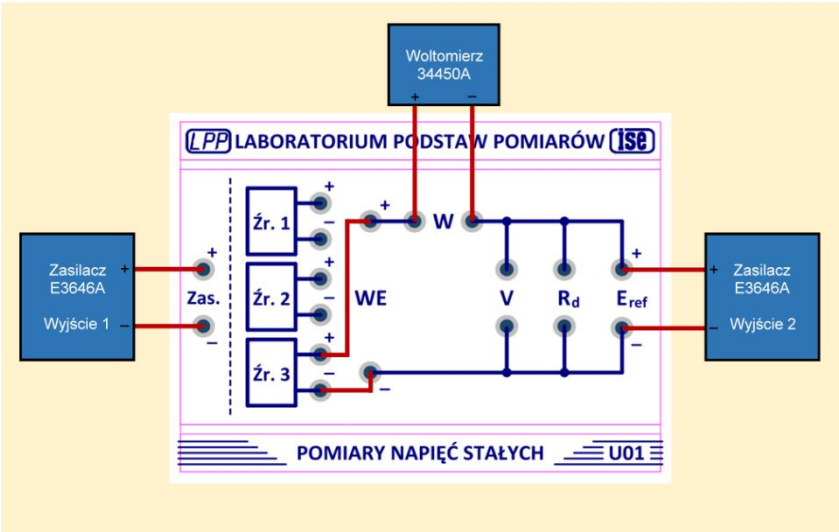
Program komputerowy do automatycznego pomiaru siły elektromotorycznej metodą kompensacyjną dostępny jest w zakładce ***Kompensacyjny pomiar SEM*** aplikacji **Pomiary automatyczne**, dostępnej na pulpicie komputera. Panel programu przedstawiony jest na Rys. 2.5.

Standardowo **Wyjście 1** zasilacza **E3646A** traktowane jest jako źródło badane, natomiast **Wyjście 2** pełni rolę regulowanego źródła napięcia referencyjnego (wzorcowego). W takim przypadku przed rozpoczęciem pomiarów należy połączyć układ pomiarowy zgodnie za schematem przedstawionym na Rys. 2.6, zwracając uwagę na biegunowość połączeń. W polu ***Źródło wzorcowe*** powinna być wybrana opcja ***Zasilacz***. Do zacisków **Zas.** należy dołączyć **Wyjście 1** zasilacza **E3646A**. Wymaganą wartość napięcia na tym wyjściu należy wprowadzić w odpowiednim polu panelu programu. **Wyjście 2** zasilacza pełni rolę regulowanego źródła napięcia wzorcowego. Do pomiaru tego napięcia

wykorzystana jest wewnętrzna funkcja zasilacza, dlatego zaciski **V** modułu **U01** pozostają niedołączone. Do zacisków **W** należy dołączyć multimetr **34450A** pracujący jako woltomierz, pełniący rolę wskaźnika równowagi.



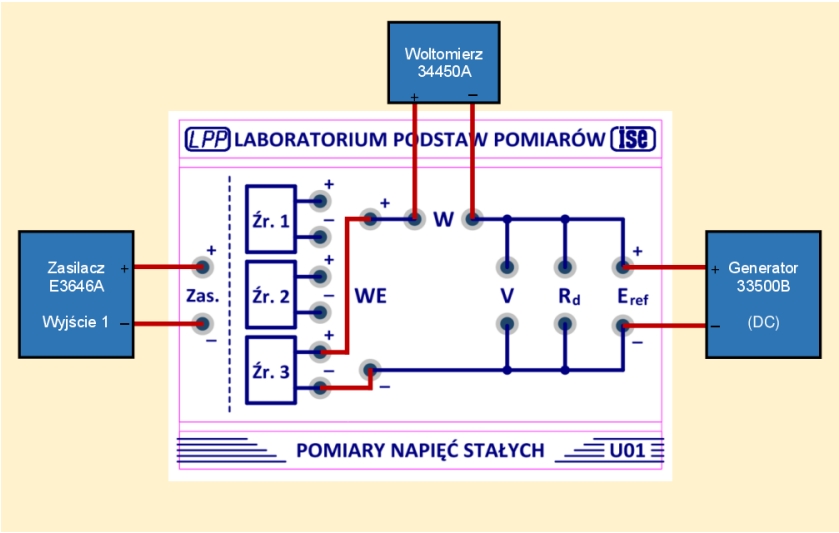
Rys. 2.5. Panel programu do automatycznego pomiaru siły elektromotorycznej metodą kompensacyjną



Rys. 2.6. Schemat połączeń przy automatycznym pomiarze siły elektromotorycznej z zasilaczem jako źródłem wzorcowym

Możliwe jest również wykorzystanie generatora pracującego w trybie DC jako źródła wzorcowego (np. w sytuacji, gdy wystąpi błąd komunikacji z zasilaczem). W takim przypadku należy połączyć układ pomiarowy zgodnie ze schematem przedstawionym

na Rys. 2.7, a w polu ***Źródło wzorcowe*** wybrać opcję ***Generator***. Ponieważ zasilacz nie jest teraz obsługiwany przez program, więc wartość napięcia źródła badanego na **Wyjściu 1** należy ustawić ręcznie.



Rys. 2.7. Schemat połączeń przy automatycznym pomiarze siły elektromotorycznej z generatorem jako źródłem wzorcowym

Niezależnie od rodzaju źródła wzorcowego w programie możliwe są dwa sposoby kompensacji.

W ogólnym przypadku (w polu ***Wskaźnik równowagi*** wybrana opcja ***Dowolny***) wskaźnik równowagi dostarcza jedynie informacji, czy napięcie na wyjściu badanego źródła jest większe czy mniejsze od napięcia wzorcowego. W zależności od znaku sygnału niezrównoważenia napięcie wzorcowe jest zwiększane lub zmniejszane o wartość zadanego skoku napięcia. Początkowy skok napięcia można wprowadzić w odpowiednim polu. Po każdej zmianie znaku sygnału niezrównoważenia skok napięcia jest zmniejszany o wartość wprowadzoną w polu ***Redukcja skoku napięcia***, wyrażoną w procentach (np. o 50%). Dzięki temu napięcie wzorcowe oscyluje wokół stanu równowagi z coraz mniejszym skokiem. Gdy zmiany napięcia wzorcowego staną się mniejsze od wartości wprowadzonej w polu ***Dopuszczalna różnica wyników***, wtedy można przyjąć, że stan równowagi został osiągnięty. Sygnalizowane jest to zieloną linią na wykresie wyników oraz pojawieniem się wartości mierzonej siły elektromotorycznej *E*. Dla celów poznawczych proces kompensacji kontynuowany jest jeszcze przez kilka cykli.

Jeżeli wskaźnikiem równowagi jest czuły woltomierz (w polu ***Wskaźnik równowagi*** wybrana opcja ***Woltomierz***), wtedy znany jest nie tylko znak sygnału niezrównoważenia, ale także różnica napięć: badanego i wzorcowego – czyli napięcie niezrównoważenia. Jeżeli o wartość tego napięcia będziemy zwiększali napięcie wzorcowe w kolejnych krokach, to powinniśmy szybko osiągnąć stan równowagi, w którym wartość napięcia niezrównoważenia będzie mniejsza od wartości wprowadzonej w polu ***Dopuszczalna***

różnica wyników. W przypadku idealnym (badane źródło o małej rezystancji wewnętrznej) stan równowagi powinien zostać osiągnięty już w pierwszym kroku.

Przy wybranej opcji ***Woltomierz*** wynik pomiaru napięcia niezrównoważenia wpływa bezpośrednio na ustawienie wartości napięcia wzorcowego, dlatego istotna w tym przypadku jest precyzja woltomierza. W programie można ją zmieniać (4 lub 5 cyfr).

Proces kompensacji można w każdej chwili przerwać za pomocą przycisku ***Stop***. Wykres przedstawiający kolejne wartości napięcia wzorcowego można skopiować za pomocą przycisku ***Kopiuj***, a następnie wkleić bezpośrednio do protokołu.

Za pomocą okrągłych przycisków z symbolem **?** można wyświetlić krótkie opisy wybranych funkcji programu.

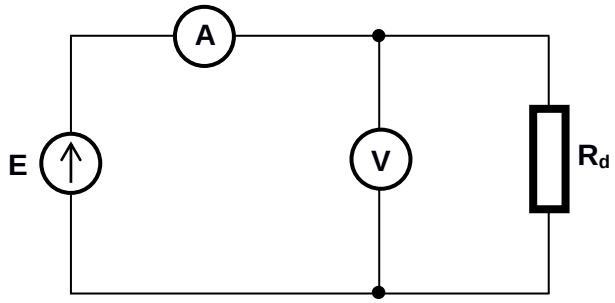
7. Badania i pomiary

Studenci w czasie ćwiczenia mają do dyspozycji:

- zasilacz stabilizowany dwukanałowy **E3646A**,
- multimetr **34450A**,
- multimetr ręczny **U1252B**,
- woltomierz magnetoelektryczny **LM-3**,
- opornik dekadowy **OD-1-M6b**.

Zadanie 1. Pomiar napięcia i prądu metodą bezpośrednią i pośrednią.

Wykorzystując moduł **U01** połączyć układ wg schematu z Rys. 2.8. **Wyjście 1** zasilacza połączyć z zaciskami **WE**. Napięcie wyjściowe zasilacza U_{zas} i ograniczenie prądowe I_{ogr} oraz wartość rezystancji na oporniku dekadowym $\mathbf{R_d}$ ustawić wg wskazówek Prowadzącego. Multimetru **34450A** użyć do pomiaru napięcia, a multimetru ręcznego **U1252B** – do pomiaru prądu.



Rys. 2.8. Schemat układu pomiarowego do Zadania 1.

Zmierzyć napięcie U oraz prąd I, a następnie obliczyć wartość prądu ze wzoru

$$I_{obl} = \frac{U}{R_d}$$

☞ Obliczyć niepewność standardową względną dla zmierzonych i obliczonych wartości. Porównać wartości I oraz I_{obl} z uwzględnieniem niepewności. W tym celu wykorzystać aplikację **Porównywanie wyników**, dostępną na pulpicie komputera. W protokole zamieścić i skomentować wykres utworzony przez aplikację.

Zadanie 2. Pomiar napięcia na źródle rzeczywistym. Wyznaczenie rezystancji wewnętrznej źródła.

☞ **Wyjście 1** zasilacza połączyć z zaciskami **Zas.** modułu **U01**. Napięcie wyjściowe zasilacza i ograniczenie prądowe pozostawić takie, jak w **Zadaniu 1**. Wykorzystując multimetr **34450A** i woltomierz magnetoelektryczny **LM-3** (klasa 0,5) zmierzyć napięcie na zaciskach źródeł: **Źr.1**, **Źr.2** i **Źr.3**. Wyniki zamieścić w tabeli.

***Uwaga**: W woltomierzu **LM-3** dobrać odpowiedni zakres przy pomiarze napięcia źródła **Źr.1** i przy następnych źródłach go **nie zmieniać**, gdyż zmiana zakresu powoduje zmianę rezystancji wewnętrznej woltomierza magnetoelektrycznego, zmieniając warunki pomiaru.*

! ***Na podstawie uzyskanych wyników ocenić, które z badanych źródeł ma najmniejszą, a które największą rezystancję wewnętrzną. Odpowiedź uzasadnić.***

☞ Na podstawie uzyskanych wyników wyznaczyć rezystancję wewnętrzną źródła **Źr.2** W tym celu można skorzystać z aplikacji **Demo_02** (zakładka ***Metoda ekstrapolacji liniowej***), dostępnej na pulpicie komputera. Rezystancja wewnętrzna woltomierza **34450A** wynosi 10 MΩ, natomiast rezystancję wewnętrzną woltomierza **LM-3** można wyznaczyć ze wzoru $R_V = \varkappa \cdot U_Z$, gdzie $\varkappa$ = 1 kΩ/V, a U_Z jest napięciem zakresowym.

☞ Obliczyć błąd metody pomiaru napięcia na zaciskach źródła **Źr.2** za pomocą multimetru **34450A** i woltomierza **LM-3**. Skorygować odpowiednie wyniki, a następnie obliczyć dla nich niepewność standardową względną (przyjąć, że niepewność standardowa względna po korekcji jest równa niepewności standardowej względnej przed korekcją). Wyniki zamieścić w tabeli. Porównać skorygowane wyniki, wykorzystując aplikację **Porównywanie wyników**, dostępną na pulpicie komputera.

Zadanie 3. Pomiar napięcia metodą kompensacyjną.

☞ Zmierzyć siłę elektromotoryczną źródła **Źr.3** metodą kompensacyjną. Jako regulowane źródło wzorcowe wykorzystać **Wyjście 2** zasilacza. Przed połączeniem układu pomiarowego ustawić ograniczenie prądowe I_{ogr} = 100 mA. Dobrać przyrządy pomiarowe w taki sposób, aby niepewność pomiaru była najmniejsza. Uzasadnić swój wybór.

☞ Zmierzyć siłę elektromotoryczną źródła **Źr.3** w sposób automatyczny, korzystając z aplikacji **Pomiary automatyczne** (zakładka ***Kompensacyjny pomiar SEM***). Wartość parametru ***Napięcie na wyjściu 1 zasilacza*** przyjąć taką, jak w **Zadaniu 1**.

☞ Zamieścić w protokole wykres kolejnych wartości napięcia wzorcowego. Omówić sposób dochodzenia do stanu równowagi.

! ***Porównać wyniki pomiaru napięcia na zaciskach źródła Źr.3 uzyskane metodą bezpośrednią i metodą kompensacyjną. Wyjaśnić przyczyny występujących rozbieżności.***

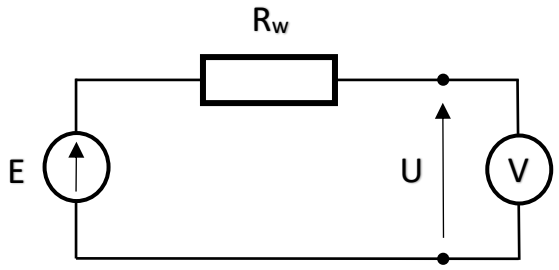
? Pytania kontrolne

1. Czym się różni rzeczywiste źródło napięcia od źródła idealnego?
2. Narysuj schemat zastępczy rzeczywistego źródła napięcia i oznacz jego elementy.
3. Jakie wartości przyjmuje rezystancja wewnętrzna rzeczywistych źródeł napięcia?
4. Do czego służy woltomierz i jakimi parametrami można go scharakteryzować?
5. Jaką rezystancją wewnętrzną charakteryzują się spotykane w praktyce woltomierze?
6. W jaki sposób włącza się w obwód pomiarowy amperomierz, a w jaki woltomierz?
7. Co to jest błąd metody? Narysuj odpowiedni schemat i opisz istotę tego błędu dla bezpośredniego pomiaru napięcia.
8. Wyprowadź wyrażenie na błąd metody przy pomiarze siły elektromotorycznej rzeczywistego źródła napięcia woltomierzem o skończonej rezystancji wewnętrznej.
9. Jaki parametr woltomierza magnetoelektrycznego określa niepewność pomiaru?
10. Podaj wzór na niepewność standardową pomiaru napięcia za pomocą woltomierza magnetoelektrycznego.
11. Jak oblicza się niepewność standardową względną pomiaru napięcia na podstawie klasy woltomierza? Jaką minimalną wartość może mieć ta niepewność dla woltomierza klasy 0,5?
12. Opisz, w jaki sposób można wyznaczyć rezystancję wewnętrzną źródła napięcia mając do dyspozycji dwa woltomierze. Jakie warunki muszą być spełnione, aby wynik był wiarygodny?
13. Narysuj układ do pomiaru siły elektromotorycznej źródła metodą kompensacyjną. Jakie wymagania powinny spełniać wykorzystywane w układzie woltomierze, aby błąd pomiaru był najmniejszy?
14. Opisz sposób pomiaru siły elektromotorycznej źródła metodą kompensacyjną. W jakich warunkach warto stosować tę metodę?
15. Podaj wady i zalety metody kompensacyjnej w stosunku do metody bezpośredniej.

16. W jaki sposób rezystancja wewnętrzna woltomierza wpływa na wynik pomiaru w przypadku:
    - źródła napięciowego idealnego,
    - źródła napięciowego rzeczywistego.
17. Jaką wartość wskaże woltomierz o rezystancji wewnętrznej 10 kΩ mierzący napięcie na zaciskach źródła napięciowego rzeczywistego o rezystancji 10 kΩ, jeżeli siła elektromotoryczna źródła wynosi 10 V?
18. Jaką rezystancją wewnętrzną powinien charakteryzować się woltomierz idealny, a jaką amperomierz idealny?
19. Zmierzono napięcie na zaciskach źródła rzeczywistego, którego siła elektromotoryczna wynosi $E = 5$ V. Uzyskano wynik $U = 2{,}500$ V. Ile wynosi rezystancja wewnętrzna źródła, jeśli rezystancja woltomierza wynosi 100 kΩ?
20. Zmierzono natężenie prądu za pomocą amperomierza. Uzyskano wynik $I = 10{,}000$ mA na zakresie $I_z = 50$ mA. Oblicz niepewność standardową względną pomiaru, jeśli największy dopuszczalny błąd względny pomiaru jest wyrażony wzorem
$$\delta_g I = 0{,}05\% + 0{,}02\% \cdot \frac{I_z}{I}$$
21. Zmierzono prąd metodą pośrednią poprzez pomiar spadku napięcia na rezystorze o wartości $R = 10$ kΩ. Woltomierz wskazał wartość $U = 10{,}000$ V na zakresie $U_z = 20$ V. Podaj wartość prądu oraz niepewność standardową względną wyznaczenia tej wartości, jeśli największy dopuszczalny błąd względny pomiaru napięcia wyraża się zależnością
$$\delta_g U = 0{,}05\% + 0{,}01\% \cdot \frac{U_z}{U}$$
a tolerancja rezystora wynosi 0,1 %.
22. Zmierzono siłę elektromotoryczną źródła metodą kompensacyjną. Uzyskano wynik $U = 10{,}000$ V na zakresie $U_z = 30$ V. Oblicz niepewność standardową $u(U)$ tego pomiaru, jeśli napięcie wzorcowe zmierzono woltomierzem, którego największy dopuszczalny błąd względny pomiaru wyraża się zależnością
$$\delta_g U = 0{,}01\% + 0{,}01\% \cdot \frac{U_z}{U}$$
rozdzielczość regulacji napięcia wzorcowego wynosi $\Delta U = 0{,}1$ mV, a najmniejsza możliwa do odczytania wartość napięcia na wskaźniku równowagi jest równa $\Delta U_{min} = 0{,}01$ mV.

Zadania domowe

Zadanie 1



Rys. 1.

W układzie jak na Rys. 1 zmierzono napięcie U za pomocą woltomierza analogowego **LM-3** posiadającego następujące zakresy pomiarowe:

1,5 V, 3 V, 7,5 V, 15 V, 30 V, 75 V, 150 V

Klasa woltomierza wynosi 1, a współczynnik $\varkappa$ = 1kΩ/V. Wartość siły elektromotorycznej E wyrażona w woltach jest równa dwóm ostatnim cyfrom numeru albumu (w przypadku cyfr 00 przyjąć wartość 10 V). Rezystancja wewnętrzna R_w źródła wynosi 1000 Ω.

Dla właściwie dobranego zakresu pomiarowego woltomierza oblicz:

- błąd metody pomiaru siły elektromotorycznej źródła $\Delta_m E$,
- niepewność standardową względną $u_{rel}(E)$.

Zadanie 2

W układzie jak na Rys.1 zmierzono napięcie U za pomocą woltomierza cyfrowego **34450A** posiadającego następujące zakresy pomiarowe:

100 mV, 1 V, 10 V, 100 V, 1000 V.

Rezystancja wewnętrzna woltomierza wynosi 10 MΩ. Wartość siły elektromotorycznej E wyrażona w woltach jest równa dwóm ostatnim cyfrom numeru albumu (w przypadku cyfr 00 przyjąć wartość 10 V). Rezystancja wewnętrzna R_w źródła wynosi 1 MΩ.

Dla właściwie dobranego zakresu pomiarowego woltomierza oblicz:

- błąd metody pomiaru siły elektromotorycznej źródła $\Delta_m E$,
- niepewność standardową względną $u_{rel}(E)$.

Wyrażenie na największy dopuszczalny błąd względny pomiaru $\delta_g U$ można znaleźć w instrukcji do ćwiczenia T2.