

POLITECHNIKA OPOLSKA

INSTYTUT AUTOMATYKI I INFORMATYKI



LABORATORIUM METROLOGII ELEKTRONICZNEJ

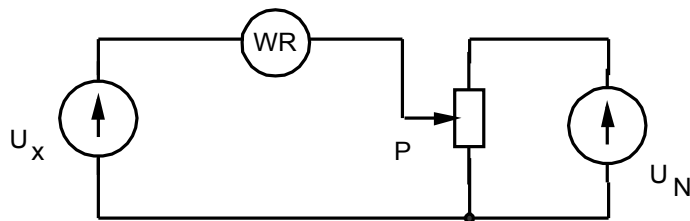
7. KOMPENSATORY

2. KOMPENSATORY NAPIĘCIA STAŁEGO

2.1. Wstęp

2.1.1. Zasada pomiaru metodą kompensacyjną.

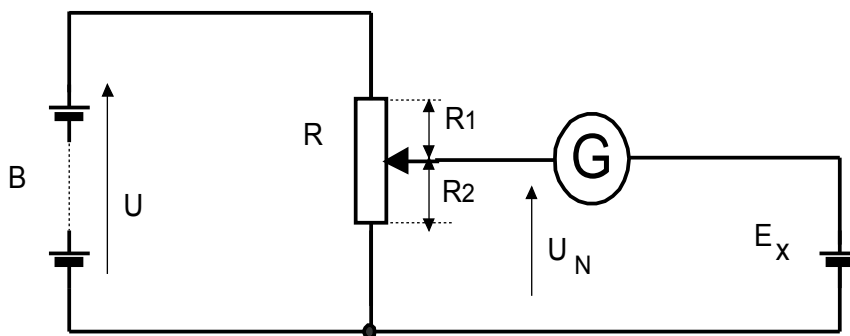
Metoda kompensacyjna pomiaru napięcia stałego polega na porównaniu mierzonego napięcia U_x lub siły elektromotorycznej E_x ze znanym napięciem kompensacji U_N lub siłą elektromotoryczną wzorcową E_N , przy braku przepływu prądu w obwodzie złożonym z tych źródeł połączonych przeciwstawnie (rys.2.1). Wskaźnikiem równowagi (WR) braku przepływu prądu może być galwanometr G.



Rys.2.1. Zasada pomiaru napięcia stałego metodą kompensacyjną
P – potencjometr precyzyjny

2.1.2. Kompensator o stałym prądzie roboczym.

Schemat kompensatora o stałym prądzie roboczym przedstawiono na rysunku 2.2. Do porównania napięć (lub sił elektromotorycznych) służy wzorcowy opornik potencjometryczny (precyzyjny) o rezystancji $R = R_1 + R_2$ stanowiący zasadniczą część kompensatora.



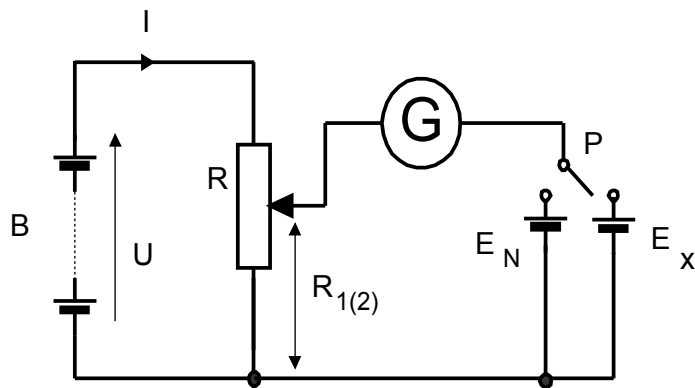
Rys.2.2. Kompensator o stałym prądzie roboczym.

W stanie kompensacji $U_N = U_x$ prąd przez galwanometr nie płynie, nie pobiera więc prądu ze źródła napięcia mierzonego. Mierzona SEM o wartości E_x kompensuje się napięciem U_N regulowanym opornikiem potencjometrycznym R, a wynik pomiaru oblicza się ze wzoru

$$E_x = U \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (2.1)$$

Napięcie zasilające kompensator musi być znane. Może być ono zmierzone lub określone na podstawie pomiaru prądu przepływającego przez opornik R.

Stosowana jest metoda kompensacyjno-porównawcza pomiaru napięcia, nie wymagająca kontroli prądu przepływającego przez opornik R (rys.2.3).



Rys. 2.3. Zasada kompensacyjno-porównawcza pomiaru napięcia

Aby zmierzyć wartość E_x należy najpierw za pomocą potencjometru R przeprowadzić kompensację siły elektromotorycznej E_N (przełącznik P w położeniu E_N). Otrzymujemy wartość rezystancji R_1 dla której

$$E_N = R_1 \cdot I \quad (2.2)$$

Następnie przeprowadzamy kompensację mierzonej siły elektromotorycznej E_x (przełącznik P w położeniu E_x). Otrzymujemy wartość rezystancji R_2 , przy której

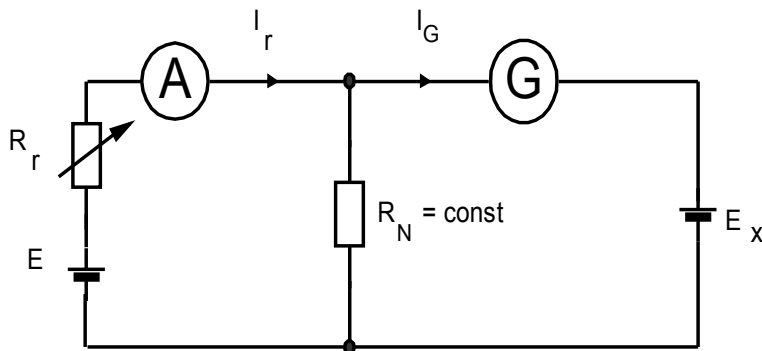
$$E_x = R_2 \cdot I \quad (2.3)$$

Dzieląc stronami równania (2.3) i (2.2) otrzymujemy

$$E_x = E_N \frac{R_2}{R_1} \quad (2.4)$$

Zakres siły elektromotorycznej E_x jest ograniczony spadkiem napięcia na oporniku R, czyli $E_x \leq I R$.

2.1.3. Kompensator o zmiennym prądzie roboczym.



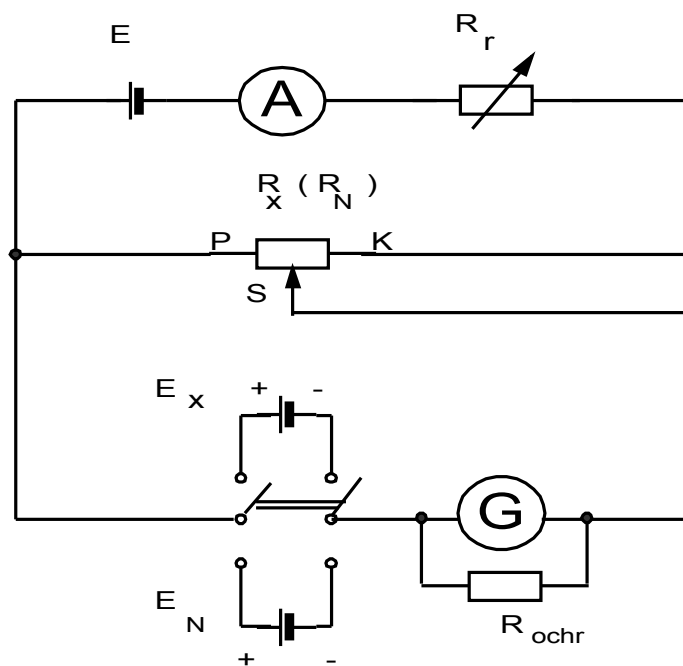
Rys.2.4. Kompensator o zmiennym prądzie roboczym.

Stosuje się również kompensatory w których kompensację uzyskuje się nie potencjometrycznie, ale przez regulację prądu I_r (rys.2.4). Jest to kompensator ze stałą rezystancją wzorcową R_N , zwany kompensatorem Poggendorffa. Siłę elektromotoryczną E_x równoważy się za pomocą iloczynu $I R_N$. Gdy przez galwanometr prąd nie płynie, wówczas

$$E_x = I \cdot R_N \quad (2.5)$$

Nie zachodzi potrzeba stosowania ogniwa wzorcowego, jednak dokładność pomiaru jest mała, ograniczona dokładnością amperomierza A.

2.1.4. Kompensator Clarka.



Rys.2.5. Kompensator Clarka

Na rysunku 5 przedstawiony jest jeden z najprostszych układów kompensacyjnych, kompensator Clarka. Pomiar E_x można wykonać metodą kompensacyjno-porównawczą. Przeprowadzając kompensację (przełącznik P w położeniu E_x i prąd $I_G=0$) otrzymuje się

$$E_x = I \cdot R \quad (2.6)$$

gdzie: E_x - mierzona siła elektromotoryczna,

R_x - rezystancja potencjometru precyzyjnego w stanie równowagi (przełącznik P w położeniu E_x).

Podobnie, gdy przełącznik P jest w położeniu E_N

$$E_N = I_N R_N \quad (2.7)$$

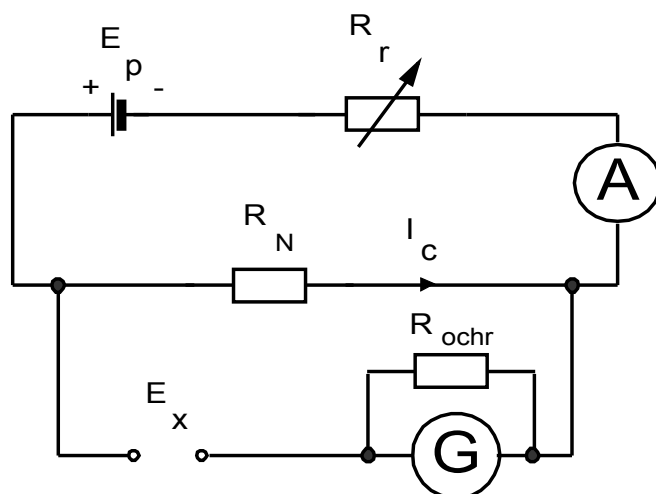
gdzie: E_N - siła elektromotoryczna ogniwa wzorcowego,

R_N - rezystancja potencjometru precyzyjnego w stanie równowagi (przełącznik P w położeniu E_N).

Jeżeli w czasie pomiaru prąd był stały ($I = I_x = I_N = \text{const}$), to z równań (2.6) i (2.7) otrzymujemy

$$E_x = E_N \frac{R_x}{R_N} \quad (2.8)$$

2.1.5. Kompensator Lineck-Rothe.



Rys.2.6. Kompensator Lindeck-Rothe

Na rysunku 2.6 przedstawiony jest układ kompensatora Lindeck-Rothe. W jego skład wchodzi źródło zasilania E_p , opornik precyzyjny – zwykle opornik wzorcowy R_N , opornik regulacyjny R_r , dokładny amperomierz A (klasy 0,1 lub 0,2), oraz galwanometr G z opornikiem ochronnym R_{ochr} . Kompensację przeprowadza się przy pomocy opornika regulacyjnego R_r zmieniając prąd I_c . Dokładność pomiaru ogranicza głównie klasa użytego amperomierza. W chwili kompensacji ($I_G=0$), zachodzi

$$E_x = I_c \cdot R_N \quad (2.9)$$

Kompensatory Lindeck-Rothe są stosowane przede wszystkim do pomiaru sił termoelektrycznych termopar i do sprawdzania miliwoltomierzy współpracujących z termoparami. Zakres pomiarowy wynosi kilkaset mV. Ze względu na prostą budowę są tanie.

2.1.6. Błąd pomiaru kompensatorami.

- Błąd systematyczny maksymalny.

Błąd ten możemy obliczyć za pomocą różniczki zupełnej

$$\Delta E_x = \left| \frac{\partial E_x}{\partial E_N} \right| \cdot \Delta E_N + \left| \frac{\partial E_x}{\partial R_x} \right| \cdot \Delta R_x + \left| \frac{\partial E_x}{\partial R_N} \right| \cdot \Delta R_N \quad (2.10)$$

- Błąd nieczułości kompensatora

Błąd ten określa się jako stosunek najmniejszej dostrzegalnej zmiany mierzonej siły elektromotorycznej do wartości tej siły elektromotorycznej, czyli

$$\delta_n = \frac{\Delta E_x}{E_x} \quad (2.11)$$

Spowodowany jest on niedokładnym odczytem wskazań galwanometru. Można go obliczyć, jak również określić doświadczalnie. Przy dobrze dobranym układzie kompensacyjnym błąd nieczułości jest kilkakrotnie mniejszy od systematycznego. Nie wpływa wtedy praktycznie na dokładność pomiaru.

- Błąd przypadkowy serii pomiarów.

Dla pomiarów o małej liczebności korzystniej jest stosować rozkład prawdopodobieństwa zmiennej losowej, zwany rozkładem Studenta. Zmienną losową w tym rozkładzie jest zmienna t o k stopniach swobody: $k = n - 1$, gdzie n jest liczbą pomiarów. Za najbardziej prawdopodobną wartość wielkości mierzonej przyjmuje się wartość średnią arytmetyczną z serii jednakowo dokładnych pomiarów

$$E_{x\text{śr}} = \frac{\sum_{i=1}^n E_{x_i}}{n} \quad (2.12)$$

Odchylenie średniokwadratowe średniej arytmetycznej wynosi

$$\bar{s} = \frac{s}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (\Delta E_{x_i})^2}{n(n-1)}} \quad (2.13)$$

Błąd pozorny wynosi

$$\Delta E_{x_i} = E_{x_i} - E_{x\text{śr}}$$

Przyjmując poziom ufności $\alpha=0,95$

gdzie
$$\alpha = 2 \int_0^t f(t, k) dt$$

$$k = n - 1$$

określamy przedział ufności

$$[E_{x\text{śr}} - t_{\alpha, k} \cdot \bar{s}, E_{x\text{śr}} + t_{\alpha, k} \bar{s}] \quad (2.14)$$

2.2. Przebieg ćwiczenia.

2.2.1. Badanie kompensatora Clarka.

- Połączyć układ pomiarowy jak na rysunku 2.5.
- Wykonać pomiar napięcia E_x . Za pomocą potencjometru P kompensujemy na zmianę

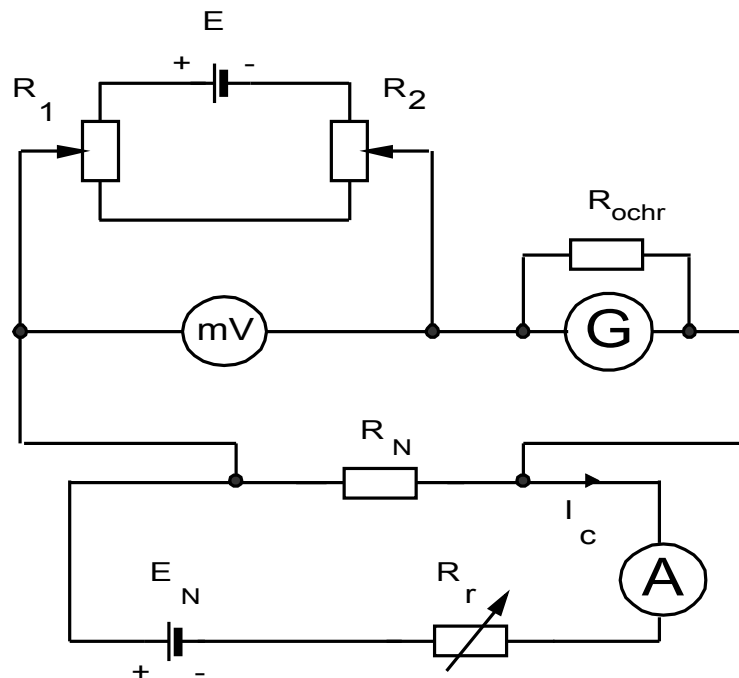
napięcie E_X oraz E_N , odczytując za każdym razem z potencjometru odpowiednie wartości R_X i R_N . Ze wzoru (2.8) obliczamy wartość E_X .

Uwaga! Należy zachować ostrożność przy pomiarach z użyciem galwanometru. Załączenie napięcia powinno mieć miejsce przy małej czułości galwanometru. Przed uczuleniem galwanometru należy ustawić wstępną równowagę układu za pomocą oporu regulacyjnego R_r .

- W celu wyznaczenia błędu przypadkowego należy wykonać serię pomiarów (powtarzać pomiar kilkakrotnie np. 5 razy).

2.2.2. Sprawdzenie miliwoltomierza kompensatorem Lindeck-Rothe.

- Połączyć układ pomiarowy według rysunku 2.7.

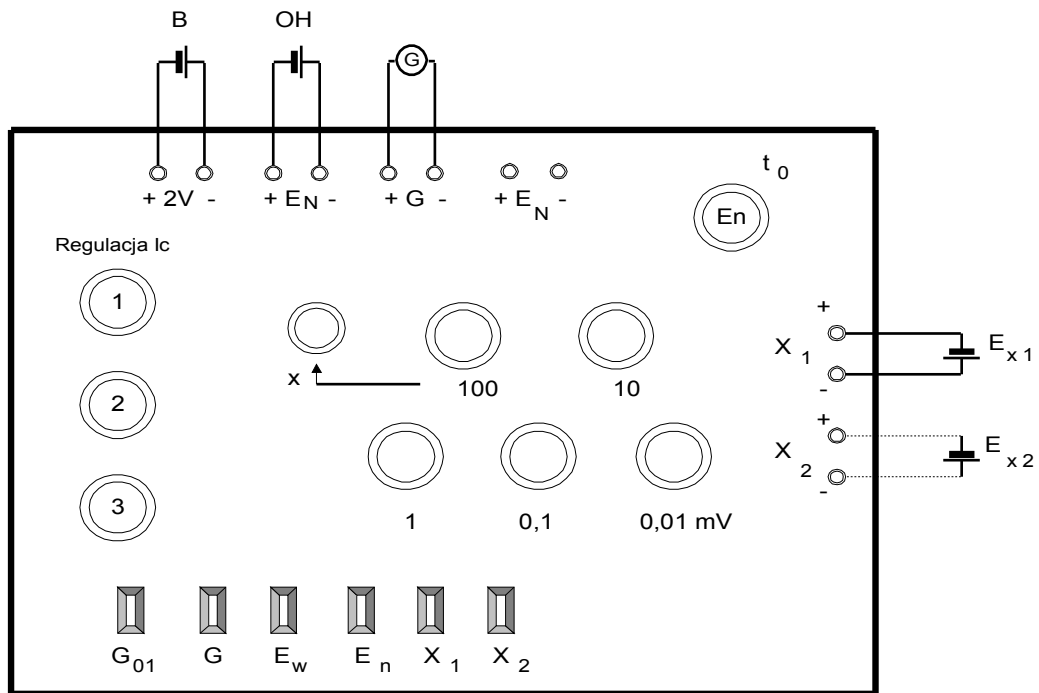


Rys.2.7. Układ kompensatora Lindeck-Rothe do sprawdzania miliwoltomierza

- Sprawdzić wskazania miliwoltomierza. Wychylenie miliwoltomierza ustawiamy za pomocą potencjometrów R_1 i R_2 . Równowagę układu uzyskujemy przez zmianę rezystancji R_r . Miliwoltomierz sprawdza się co 10 działek przy napięciu rosnącym aż do α_{max} , a następnie przy napięciu malejącym od α_{max} do 0. Dla każdego nastawienia wartości α_x na miliwoltomierzu, dokonuje się kompensacji i oblicza się poprawną wartość napięcia. Na podstawie pomiarów i obliczeń należy sprawdzić klasę badanego miliwoltomierza.

2.2.3. Pomiar siły elektromotorycznej kompensatorem fabrycznym KM-145

Kompensator fabryczny KM-145 pozwala na bezpośredni pomiar siły elektromotorycznej w zakresie do 1,1111 V. Schemat podłączenia kompensatora przedstawia rysunek 2.8.



Rys.2.8. Schemat połączeń kompensatora fabrycznego KM-145

Przebieg pomiaru:

- Ustawić prąd pomocniczy w następujący sposób:

- a) za pomocą pokrętki E_n ustawić wartość SEM ogniwa normalnego odpowiadającego temperaturze otoczenia 20^0 C (obracać gałką pokrętki równocześnie przytrzymując talerzyk pod pokrętkiem),
- b) zwolnić talerzyk i ustawić pokrętko w położenie odpowiadające temperaturze otoczenia,
- c) po naciśnięciu przycisku E_N za pomocą pokręteł 1, 2, 3 sprowadzić galwanometr do zera

- Przeprowadzić pomiar zasadniczy:

- a) nacisnąć przycisk przełącznika X_1 (lub X_2 w zależności od podłączenia mierzonej SEM) i sprowadzić galwanometr do zera za pomocą przełączników kompensatora głównego oznaczonych $\times 100$; $\times 10$; $\times 0,1$; $\times 0,01$,
- b) sprawdzić prąd kompensatora przez naciśnięcie do oporu przycisku E_N , galwanometr nie powinien się wychylić,
- c) odczytać wartość E_{x1} , jest ona równa odczytowi na przełącznikach kompensatora głównego, pomnożonemu przez wartość ustawioną na przełączniku zakresów.

2.3. Zakres sprawozdania

- 2.3.1. Dla pomiarów kompensatorem Clarka wyznaczyć błędy przypadkowy i systematyczny. Wyjaśnić jakie czynniki wpływają na dokładność pomiarów.
- 2.3.2. Przy pomiarach kompensatorem Lindeck-Rothe sprawdzić klasę badanego miliwoltomierza napięcia stałego, traktując wartości napięcia zmierzone kompensatorem jako wzorcowe
- 2.3.3. Omówić wady i zalety pomiarów kompensatorem fabrycznym KM-145.

LITERATURA

- [1] Chwaleba A., Poniński M., Siedlecki A. Metrologia elektryczna.
- [2] Komorowski W. Laboratorium miernictwa elektrycznego.