

Ćwiczenie Nr 3

BADANIE MIERNIKÓW MAGNETOELEKTRYCZNYCH

Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest poznanie budowy oraz podstawowych właściwości wielozakresowych amperomierzy i woltomierzy magnetoelektrycznych, sposobów normalizacji ich błędów oraz zasad ich sprawdzania dla celów uwierzytelnienia

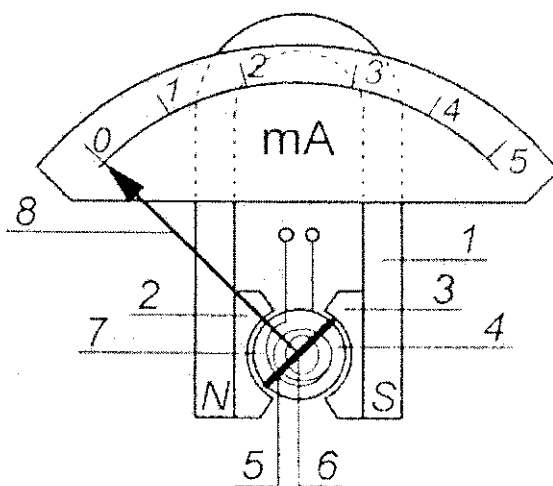
(Opracował: prof. Jan R. Jasik)

1. WPROWADZENIE

1.1. Układy elektryczne mierników magnetoelektrycznych

Magnetoelektryczne (ME) amperomierze i woltomierze są podstawowymi miernikami prądu i napięcia stałego. Wykorzystuje się w nich zasadę wzajemnego oddziaływania dwóch pól magnetycznych: pola magnesu trwałego i pola pochodzącego od prądu przepływającego przez cewkę ruchomą umieszczoną w tym polu.

Konstrukcję miernika ME pokazuje schematycznie rys.1.1 Organ ruchomy miernika składa się z cewki 5 (o liczbie zwojów z , średnicy d i długości l) umieszczonej na ułożyskowanej osi 6 oraz wskazówki 1. Obwód magnetyczny miernika, (składający się z magnesu trwałego 1 i z wykonanych z miękkiej stali nabiegunków 2, 3 oraz rdzenia 4) wytwarza, w odpowiednio ukształtowanej szczeliny, indukcję B o rozkładzie równomiernym. Cewka 5 nawinięta jest cienkim przewodem miedzianym na aluminiowej ramce, która stanowi tłumik elektromagnetyczny. W czasie ruchu cewki w szczeliny, w zwartym zwoju jaki stanowi ramka, indukują się prądy wytwarzające moment tłumiący przeciwdziałający ruchowi.



Rys.1.1 Konstrukcja stroju miernika magnetoelektrycznego.

Moment zwrotny uzyskiwany jest dzięki parze sprężynek zwrotnych 7, spełniających równocześnie rolę przewodów doprowadzających prąd i do cewki. Kąt α wychylenia ruchomej cewki, a tym samym i wskazówki miernika, opisuje wzór:

$$\alpha = \frac{Bzdl}{k} i = ci, \quad (1.1)$$

gdzie: k – stała sprężynek, c – stała.

Im większa jest wartość stałej c , tym mechanizm jest lepszy (posiada większą czułość) – do jego wychylenia potrzebna jest mniejsza wartość prądu i , a tym samym mniejsza moc.

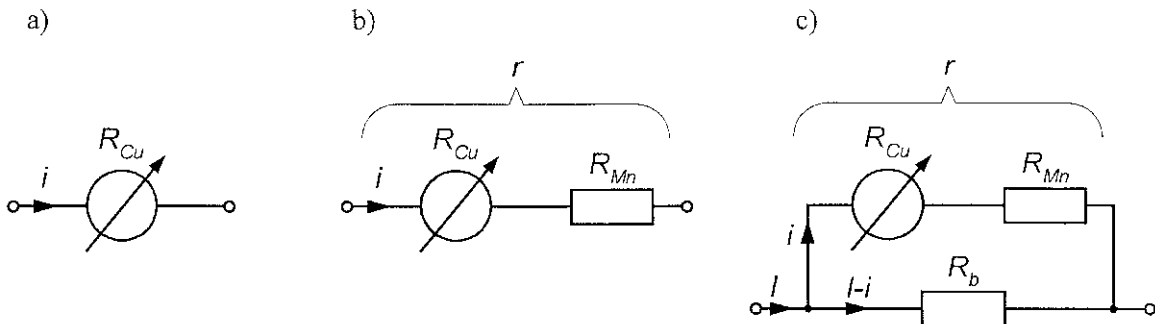
Najskuteczniejszy sposób zwiększania czułości polega na stosowaniu magnesów zapewniających możliwie dużą wartość indukcji w szczeliny. Mniej skutecznym rozwiązaniem jest zwiększanie liczby zwojów cewki (lub jej wymiarów), ponieważ wiąże się to z pogorszeniem parametrów cewki (większy ciężar i większa rezystancja R_{Cu}). Możliwa jest konstrukcja mechanizmu, w którym pełne odchylenie wskazówki uzyskuje się przy prądzie kilku mikroamperów i mocy pobieranej kilku mikrowatów.

Swoje rozpowszechnienie mierniki ME zawdzięczają licznym zaletom, do których należą:

- liniowa zależność momentu napędowego M_n od prądu i płynącego przez urządzenie i wynikająca stąd równomierna podziałka, dzięki czemu cały zakres wskazań należy do zakresu pomiarowego [1],
- zależność kierunku odchylenia organu ruchomego od kierunku przepływającego prądu,
- duża dokładność - przyrządy ME wytwarzane są w klasach dokładności od 0,5 do 0,1,
- duża czułość - umożliwiającą pomiary prądów rzędu pojedynczych mikroamperów i napięć rzędu mikrowoltów,
- duża odporność na zakłócenia od pól postronnych dzięki dużej indukcji magnetycznej własnej, którą uzyskuje się w wąskiej szczelinie między rdzeniem i nabiegunkami,
- mały pobór mocy urządzenia pomiarowego (rzędu mikrowatów).

Ta ostatnia zaleta pozwala na stosowanie w miernikach ME złożonych układów, zawierających rezystory o rezystancji niezależnej od temperatury (np. rezystory manganinowe R_{Mn}) umożliwiającym poszerzenie zakresów oraz kompensację wpływu temperatury na wskazania miernika [1].

Na rys.1.2 są przedstawione typowe układy mierników ME. W układzie mikroamperomierza bezpośredniego (rys.1.2a), gdy prąd jest wymuszony, źródłem błędów może być temperatura – zmianie może ulegać stała sprężyny k (ok. +0,4% na 10^0C). i indukcja magnesu B (ok. – 0,4% na 10^0C). Tak się szczęśliwie składa, że zmiany te mają przeciwne znaki. dzięki czemu możliwe jest skonstruowanie mikroamperomierza o praktycznie pomijalnym błędzie temperaturowym.



Rys. 1.2 Układy mierników magnetoelektrycznych:
a) miliamperomierz, b) miliwoltomierz lub woltomierz, c) amperomierz

Nieco inna jest sytuacja, gdy zastosujemy mechanizm ME do pomiarów napięcia. Wówczas zmiana temperatury powoduje zmianę rezystancji R_{Cu} cewki i prąd w cewce ulega także zmianie (zmiana rezystancji miedzi wynosi ok. 0,4%/°C), więc miliwoltomierz według rys.1.2a wykazywałby błąd temperaturowy ok.4%/10°C. W miliwoltomierzu szeregowo z cewką (rys.1.2b) włączany jest rezystor manganinowy R_{Mn} o małym współczynniku temperaturowym $\alpha_{Mn} \approx 0$. Błąd temperaturowy γ_t takiego układu określa wzór [1, 2]:

$$\gamma_t \% = \frac{4\%}{1 + \frac{R_{Mn}}{R_{Cu}}} \quad (1.2)$$

Według zależności (1.2) łatwo obliczyć [1], że najmniejszy stosunek $\frac{R_{Mn}}{R_{Cu}}$ dla mierników klasy 2,5 wynosi 0,5, dla klasy 0,5 wynosi 7, zaś dla klasy 0,2 wynosi 19. Oznacza to jednak zawsze pogorszenie parametrów miliwoltomierza. Jeśli bowiem mechanizm pomiarowy ma, na przykład, rezystancję $r = 10\Omega$ i prąd znamionowy $i_{zn} = 1mA$ to zamiast miliwoltomierza

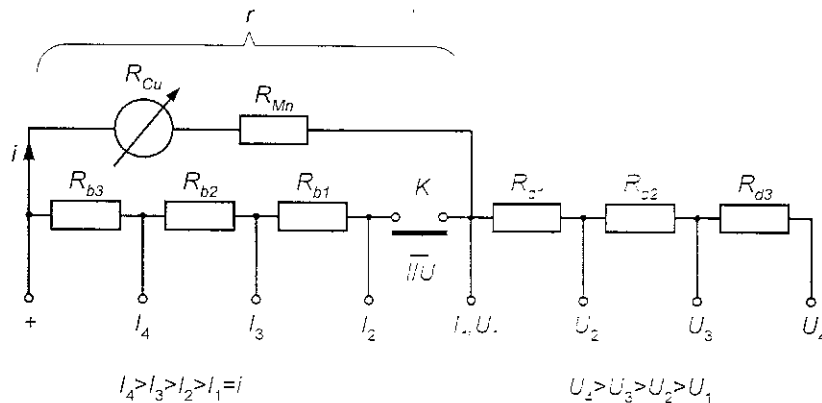
o zakresie 10 mV, najmniejszy możliwy zakres – zależnie od klasy dokładności - wyniesie odpowiednio 15 mV, 80 mV oraz 200 mV.

Amperomierz (rys.1.2c) w zasadzie może być traktowany jako miliwoltomierz mierzący spadek napięcia na boczniku R_b . Bocznik jest wykonany z manganinu. Dlatego w prawidłowo zaprojektowanym amperomierzu wpływ zmian temperatury w przybliżeniu możemy rozważać podobnie jakby to był miliwoltomierz [2]. Wprawdzie ze zmianą rezystancji miliwoltomierza zmienia się rozplływ prądów między bocznikiem a miliwoltomierzem, ale na ogół prąd ustroju jest pomijalnie mały w porównaniu z prądem bocznika.

W najdokładniejszych miernikach ME (klasy 0,1 i 0,2) wpływ temperatury jest równoważony przez odpowiednie szeregowo-równoległe lub mostkowe kombinacje rezystorów manganinowych lub półprzewodnikowych, zaproponowane przez Swinburne'a, Cambella i innych [1].

1.1.1 Poszerzanie zakresów mierników ME

Układy do poszerzania zakresów amperomierzy i woltomierzy ME (rys.1.3) są zespołami boczników ($R_{b1} \div R_{b3}$) i rezystorów dodatkowych ($R_{d1} \div R_{d3}$), umieszczanych wewnątrz obudowy miernika lub – przy większym poborze mocy – na zewnątrz.



Rys.1.3 Uproszczony schemat wielozakresowego woltamperomierza magnetoelektrycznego; K – przełącznik wyboru funkcji pomiarowej

Przy obliczaniu rezystancji rezystorów dodatkowych R_d i boczników R_b obowiązują następujące wzory:

$$R_b = \frac{r}{m-1} \quad (1.3)$$

$$R_d = r(m-1) \quad (1.4)$$

gdzie: m - mnożnik zwiększenia zakresu, zaś $r = R_{Cu} + R_{Mn}$ – rezystancja przyrządu na podstawowym zakresie.

Stosując wzór (1.3) na rezystancję bocznika do zakresu prądowego I_3 , z rys.1.3 otrzymujemy:

$$(R_{b3} + R_{b2}) = \frac{R_{Cu} + R_{Mn} + R_{b1}}{m-1} \quad (1.5)$$

gdzie: $m = I_2/I_1$. Analogicznie rezystancję rezystora dodatkowego (posobnika) na zakresie U_3 obliczymy z wzoru:

$$(R_{d1} + R_{d2}) = (R_{Cu} + R_{Mn})(m-1), \quad (1.6)$$

gdzie: $m = U_3/U_1$.

Rezystory dodatkowe wewnętrzne i boczniaki wewnętrzne, wykonuje się z drutów manganinowych. Są one umieszczane wewnątrz obudowy amperomierza lub woltomierza i skalowane razem z miernikiem poprzez odpowiednie spilowywanie drutu.

Boczniki zewnętrzne są wykonywane z taśm lub prętów manganinowych, dolutowanych do mosiężnych klocków. Boczniki zewnętrzne mają dwa zaciski prądowe i dwa zaciski napięciowe, znajdujące się parami, na każdym z klocków. Do zacisków prądowych przyłącza się przewody dostarczające mierzony prąd. Obwód ustroju pomiarowego włączony zostaje między zaciski napięciowe, za pomocą odpowiednich przewodów. Zastępowanie tych przewodów przewodami o innym oporze powoduje błędy pomiaru. Na boczniku zewnętrznym podaje się zwykle prąd znamionowy amperomierza przy użyciu danego bocznika.

Rezystory dodatkowe (posobniki) zewnętrzne są nawijane manganinowymi przewodami izolowanymi emalią lub jedwabiem, zwykle na karkasach z porcelany lub masy plastycznej i umieszczane w specjalnej obudowie z wyprowadzonymi zaciskami. Przepisy rozróżniają zewnętrzne rezystory dodatkowe i boczniaki *wymienne i niewymienne*. Rezystory dodatkowe i boczniaki niewymienne oznaczane są numerem fabrycznym miernika, do którego należą. Błędy graniczne (klasa) odnoszą się do mierników łącznie z bocznikami i rezystorami dodatkowymi niewymiennymi. Boczniki i rezystory dodatkowe wymienne dzielą się pod względem dokładności na pięć klas 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1.

Boczniki wymienne wykonywane są na ustalone napięcie, najczęściej 60 mV. Napięcie wymiennego rezystora dodatkowego zależy od jego przeznaczenia.

1.2. Dokładność pomiarów przy użyciu wymiennych boczników i rezystorów szeregowych

Boczniki oraz rezystory dodatkowe wymienne, poza zwiększeniem poboru mocy, wnoszą stały błąd multiplikacyjny, zależny od dokładności doboru ich rezystancji. Błąd ten, ogólnie biorąc, zwiększa granice błędu miernika, ale w szczególnych warunkach może go częściowo lub całkowicie skompensować. Wartość wnoszonego błędu multiplikacyjnego zależy od klasy bocznika względnie rezystora dodatkowego i powinna być uwzględniana przy obliczaniu błędu granicznego, jeżeli boczniak lub rezystor dodatkowy jest wymienny.

1.2.1. Błędy wywołane przez wymienne boczniaki zewnętrzne

Prąd w boczniku (rys.1.2c) jest znacznie większy niż prąd w ustroju. Niewielkie zmiany prądu w ustroju przy niezmiennym prądzie mierzonym praktycznie nie wpływają ani na prąd ani na napięcie bocznika. Jest to przypadek wymuszonego napięcia. Miernik współpracującym z bocznikiem na duży prąd znamionowy jest miernikiem napięcia – woltomierzem, a ściśle biorąc miliwoltomierzem. Dla układu z rys. 1.2c można napisać:

$$U = ir = (I - i)R_b. \quad (1.7)$$

Po przekształceniach wzoru (1.7) otrzymujemy:

$$U = I \frac{rR_b}{R_b + r}. \quad (1.8)$$

Błąd γ_U pomiaru wymuszonego napięcia obliczymy logarytmując stronami wzór (1.8)

$$\ln U = \ln I + \ln r + \ln R - \ln(R + r), \quad (1.9)$$

po zróżniczkowaniu którego otrzymamy

$$\gamma_U = \frac{dU}{U} = 0 + \gamma_r + \gamma_R - \frac{r\gamma_r + R_b\gamma_{R_b}}{r + R_b}, \quad (1.10)$$

gdzie: $\gamma_r = \frac{dr}{r}$ - jest względnym przyrostem (błędem) oporu miernika, zaś

$\gamma_{R_b} = \frac{dR_b}{R_b}$ - oznacza względny przyrost oporu (błąd) bocznika. Po sprowadzeniu do

wspólnego mianownika wzór (1.10) przyjmuje dla $r \gg R_b$ postać:

$$\gamma_U = \frac{R_b \gamma_r + r \gamma_{R_b}}{r + R_b} = \frac{\gamma_{R_b} + \frac{R_b}{r} \gamma_r}{1 + \frac{R_b}{r}} \approx \left(\gamma_{R_b} + \frac{R_b}{r} \gamma_r \right) \left(1 - \frac{R_b}{r} \right) \approx \gamma_{R_b} \quad (1.11)$$

wskazującą, że o błędzie amperomierza z zewnętrznym bocznikiem decyduje dokładność użytego bocznika.

1.2.2. Błędy wywołane przez wymienne rezystory dodatkowe

Użycie wymiennego opornika szeregowego powoduje dodatkowe błędy pomiaru. Błędy te spowodowane są zarówno niedotrzymaniem wartości rezystancji opornika dodatkowego jak i rezystancji przeznaczonych do współpracy z nim mierników. Rozpatrzmy to zagadnienie posługując się rys. 2, dla którego możemy napisać, że

$$U_V = U \frac{r}{r + R_d} \quad (1.12)$$

Logarytmując stronami wzór (6) otrzymujemy:

$$\ln U_V = \ln U + \ln r - \ln(r + R_d) \quad (1.13)$$

Zmianę wskazań miernika, a więc błąd pomiaru γ_{U_V} wywołany niedotrzymaniem rezystancji

miernika $\gamma_r = \frac{dr}{r}$ i rezystora dodatkowego $\gamma_{R_d} = \frac{dR_d}{R_d}$ otrzymujemy po zróżniczkowaniu

wzoru (1.13)

$$\gamma_{U_V} = \frac{dU_V}{U_V} = 0 + \gamma_r - \frac{r \gamma_r + R_d \gamma_{R_d}}{r + R_d} \quad (1.14)$$

Sprowadzając do wspólnego mianownika i dzieląc przez R_d licznik i mianownik prawej strony wzoru (1.14) ostatecznie otrzymujemy

$$\gamma_{U_V} = \frac{\gamma_r - \gamma_{R_d}}{1 + \frac{r}{R_d}} \quad (1.15)$$

Tak więc w woltomierzu, z poszerzonym zakresem, tak samo ważnym jest błąd miernika jak i błąd rezystora dodatkowego, dlatego największy możliwy błąd pomiaru należy szacować na podstawie wzoru:

$$\gamma_{U_V \max} = \frac{|\gamma_r| + |\gamma_{R_d}|}{1 + \frac{r}{R_d}} \quad (1.16)$$

Wnioski z powyższych wywodów były prawdopodobnie znane autorom starej normy PN E-06501, w której znaleźć można zapis, że przy doborze bocznika lub rezystora dodatkowego wymiennego należy dobrać te elementy o klasę wyżej niż klasa użytego miernika.

1.3. Zasada sprawdzania mierników analogowych

1.3.1 Podstawowe definicje

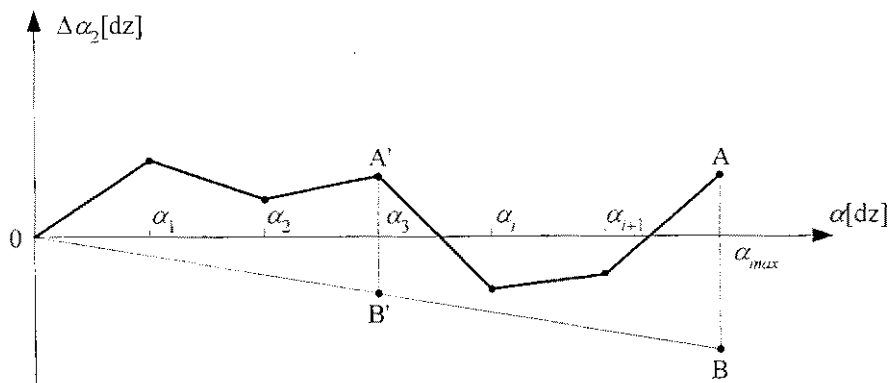
Sprawdzanie dokładności miernika polega na porównaniu jego wskazań W_x ze wskazaniami W_w miernika lub urządzenia wzorcowego odpowiednio wyższej klasy i obliczeniu błędów. Błąd bezwzględny miernika Δ jest różnicą tych wskazań

$$\Delta = W_x - W_w. \quad (1.17)$$

Przy korygowaniu błędów miernika jest stosowana poprawka $p = -\Delta$ równa błędowi miernika ze znakiem przeciwnym. W celu uzyskania wartości rzeczywistej W_r , poprawkę dodaje się do wartości wskazanej

$$W_r = W_x + p. \quad (1.18)$$

Poprawki dla miernika są podawane w postaci tabeli lub wykresów $p = f(\alpha)$. Wykres poprawek (błędów) jest linią łamaną, której odcinki łączą poszczególne punkty (najczęściej są to ocyfrowane kreski podziałki), otrzymane w wyniku sprawdzenia miernika.



Rys. 1.4 Wykresne wyznaczanie błędów (poprawek) miernika wielozakresowego o równomiernej podziałce

Względnym błędem miernika

$$\gamma = \frac{\Delta}{W_{max}} \quad (1.19)$$

nazywamy stosunek błędu bezwzględnego do tzw. wielkości charakterystycznej, którą najczęściej (w miernikach elektromechanicznych stosowana jest normalizacja addytywna) jest górna granica zakresu pomiarowego W_{max} . Warunkiem zaliczenia miernika do danej klasy jest by, wyrażone w procentach względne błędy miernika, we wszystkich sprawdzanych punktach podziałki, nie przekraczały wartości liczbowej tej klasy. Na przykład, dla miernika klasy 0,5 względny błąd miernika nie może przekraczać 0,5%.

Sprawdzenie dokładności powinno odbywać się w warunkach znamionowych, do których zalicza się:

- znamionową temperaturę z tolerancją $\pm 1^\circ\text{C}$,
 - znamionowe ustawienie,
 - brak pól magnetycznych postronnych z wyjątkiem pola ziemskiego,
 - znamionową częstotliwość z tolerancją $\pm 2\%$,
 - brak tętnień w napięciu (prądzie) stałym,
 - inne parametry szczegółowo określone w normach branżowych lub Polskich Normach.
- Niedotrzymanie warunków znamionowych jest źródłem błędów dodatkowych miernika.

Sprawdzanie błędów miernika w warunkach znamionowych jest podstawową próbą tzw. badania niepełnego, do którego należą również: oględziny, próba wytrzymałości elektrycznej izolacji, sprawdzenie nastawki zerowej, sprawdzanie wpływu ustawienia. Badania pełne obejmują 28 prób w tym sprawdzanie tzw. błędów dodatkowych, których źródłem są zewnętrzne czynniki wpływające, o poziomach określonych w przepisach [1].

Na przykład przyczyną powstawania, charakterystycznego dla mierników elektromechanicznych, tzw. błędów ustawienia, jest niedokładne wyważenie oraz odkształcenia części metalowych ustroju wskutek starzenia czy też wstrząsów powodujących niewielkie odchylenie środka ciężkości od osi obrotu. Działanie siły ciężkości wywołuje wówczas dodatkowy moment siły powodujący zmianę odchylenia wskazówki. Tak więc, błąd dodatkowy Δ_d , stanowi zmianę bezwzględnego błędu miernika, gdy jest on wykorzystywany w warunkach innych niż znamionowe

$$\Delta_d = \Delta_\Sigma - \Delta, \quad (1.20)$$

gdzie: $\Delta_\Sigma = W_x - W_w^*$ - sumaryczny błąd miernika stosowanego w warunkach odbiegających od znamionowych, W_w^* - wskazanie miernika wzorcowego w warunkach obecności błędu dodatkowego miernika badanego.

Aby miernik mógł być zaliczony do danej klasy wartość jego względnego błędu dodatkowego

$$\gamma_d = \frac{\Delta_d}{W_{\max}} 100\% \quad (1.21)$$

nie może przekraczać wartości liczbowej tej klasy.

1.3.2 Wymagania ogólne

Miernik wzorcowy, użyty podczas sprawdzania, powinien posiadać własne świadectwo sprawdzenia, a jego błędy wynikające z klasy powinny być co najmniej 3 razy mniejsze od dopuszczalnego błędu miernika sprawdzanego. Jeżeli miernik wzorcowy jest tak dokładny, że jego błędy nie przekraczają 1/5 dopuszczalnego błędu miernika sprawdzanego, to za wartość rzeczywistą przyjmuje się wskazania miernika wzorcowego bez uwzględnienia poprawek. W przeciwnym razie należy uwzględniać poprawki miernika wzorcowego.

Źródło zasilania używane przy sprawdzaniu mierników powinno mieć taką stałość napięcia (prądu), by jego zmiany wyrażone w %%, w czasie niezbędnym do dokonania pomiaru, nie przekraczały 1/5 błędu wynikającego z klasy dokładności sprawdzanego miernika.

Płynność regulacji napięcia (prądu) powinna być taka, aby ewentualne skoki nastawianej wartości nie przekraczały 1/5 wartości błędu dopuszczalnego miernika badanego.

Przed sprawdzaniem miernik należy nagrzać, obciążając w ciągu 30 minut jego tory napięciowe napięciem znamionowym, zaś tory prądowe, prądem równym 80 % prądu znamionowego. Po nagrzeniu należy nastawić wskazówkę przyrządu na kreskę zerową podziałki.

1.3.3. Postępowanie przy sprawdzaniu mierników

Podczas sprawdzania dokładności miernika należy wyznaczyć – warunkach znamionowych -jego błędy dla wszystkich ocyfrowanych kresek podziałki w zakresie pomiarowym. Błąd dla każdej ze sprawdzanych kresek należy wyznaczyć dwukrotnie: raz przy wzrastającym odchyleniu, drugi raz przy malejącym. W miernikach wielozakresowych należy wyznaczyć błędy dla każdego zakresu oddzielnie. Natomiast w przypadku mierników wielozakresowych ME, o wspólnej podziałce, można sprawdzić szczegółowo jeden zakres, zaś pozostałe zakresy tylko w jednym końcowym punkcie zakresu pomiarowego; błędy dla pozostałych punktów podziałki wyznacza się rachunkowo lub wykreślić.

Przy obliczaniu rachunkowym obowiązuje wzór:

$$\Delta\alpha_2 = \Delta\alpha_1 + \frac{\alpha}{\alpha_{\max}} (\Delta\alpha_{\max 2} - \Delta\alpha_{\max 1}) \quad (1.22)$$

gdzie: α - dowolne odchylenie wskazówki (w działkach),

$\Delta\alpha_1$ - błąd przy odchyleniu α dla zakresu, na którym sprawdzono wszystkie punkty podziałki (w działkach),

$\Delta\alpha_2$ - błąd przy tym samym odchyleniu α dla zakresu, który sprawdzono tylko w końcowym punkcie zakresu pomiarowego (w działkach),

α_{\max} - odchylenie wskazówki odpowiadającej końcowej wartości zakresu pomiarowego (w działkach),

$\Delta\alpha_{\max 1}$ - błąd przy odchyleniu α_{\max} dla zakresu, na którym sprawdzono wszystkie punkty podziałki (w działkach),

$\Delta\alpha_{\max 2}$ - błąd przy odchyleniu α_{\max} dla zakresu, który sprawdzono tylko w końcowym punkcie zakresu pomiarowego (w działkach).

Sposób wykreślny (rys.1.4) wyznaczania błędów dla pozostałych punktów podziałki (poza punktem końcowym) polega na wyrysowaniu krzywej błędów $\Delta\alpha = f(\alpha)$ dla zakresu sprawdzonego szczegółowo. Na tym samym wykresie rysuje się proste odniesienia dla pozostałych zakresów miernika. W tym celu, od punktu przedstawiającego błąd dla wartości maksymalnej zakresu pomiarowego (pkt A), odkłada się błędy dla pozostałych zakresów, lecz z przeciwnym znakiem (pkt B). Prosta poprowadzona przez punkt B oraz środek układu współrzędnych jest prostą odniesienia dla danego zakresu i błędy dla danego zakresu liczy się od tej prostej do krzywej błędów (np. odcinek B A).

Błędy dodatkowe wyznacza się dla tych samych odcyfrowanych kresek podziałki, dla których były wyznaczane błędy podstawowe. Łatwo wykazać, że w takim przypadku błąd dodatkowy obliczymy jako

$$\Delta_d = W_w - W_w^* \quad (1.23)$$

tzn. jako zmianę wskazań miernika wzorcowego, przy niezmienionym wskazaniu miernika sprawdzanego, poddanego oddziaływaniu wielkości wpływającej.

2. OPIS STANOWISKA LABORATORYJNEGO

W charakterze miernika badanego w ćwiczeniu jest wykorzystywany tzw. miernik specjalny LM-1, kl. 0,5, produkowany przez zakłady „Era”, zawierający w sobie dwa niezależne przyrządy bazujące na jednym mechanizmie ME. Pierwszy z nich posiada zakres 60 mV i rezystancję wewnętrzną 20 Ω , - przyrząd podłączany jest do źródła napięcia mierzonych przewodami o rezystancji $2R_p = 35$ m Ω . Uzupełnieniem miliwoltomierza jest zewnętrzny, trzyzakresowy bocznik niewymienny kl. 0,2, umożliwiający realizację miliamperomierza o zakresach 7,5 mA, 15 mA, i 30 mA. Drugi z przyrządów to woltomierz o zakresie 3 V i rezystancji wewnętrznej 1500 Ω . Miernik ten posiada układ Swinburne'a [1] do kompensacji wpływu temperatury.

Jako przyrząd wzorcowy na stanowisku laboratoryjnym jest wykorzystywany 5- i 6- cyfrowy multimetr Agilent 34405A. Ponadto, ćwiczący mają do dyspozycji rezystory wzorcowe R_0 kl. 0,01 o wartościach 10 Ω , 100 Ω oraz 1000 Ω a także dwa rezystory R_0 -rezerwy z najniższą dekadą 0,1 Ω , trzyzakresowy bocznik zewnętrzny niewymienny $R_0 - R_1$ kl. 0,2, boczniki zewnętrzne wymienne R_b kl. 0,2 o zakresach 150 A i 300 A i napięciach 0,1 mV, zasilacz regulowany oraz rezystor suwakowy R_s i przewody łączące.

Wykorzystując otrzymane wyniki sprawdzenia narysować krzywą poprawek sprawdzanego miliwoltomierza. Spośród obliczonych błędów względnych wybrać γ_{max} i na tej podstawie ustalić klasę sprawdzanego miernika.

3.2.2 Umieścić sprawdzany miernik na równi pochyłej ustawiając jego wskazania na wartości podane w wierszu 1 tab. 2 Wiersze 2, 3 i 4 tab. 2 uzupełnić odpowiednimi danymi z tab. 1. Wiersze 5, 6, i 7 tab. uzupełnić wykonując obliczenia wynikające z wzorów (1.20) (1.21) i (1.23).

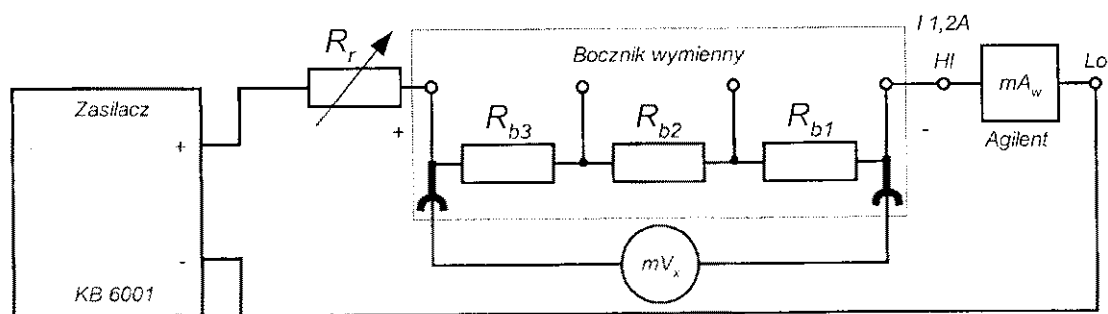
Tabela 2

α	dz	10	40	70
U_x	mV			
U_w	mV			
Δ	mV			
Δ_Σ	mV			
U_w^*	mV			
Δ_d	mV			
γ_d	%			

Spośród obliczonych błędów względnych wybrać wartość maksymalną γ_{dmax} i ustalić czy nie przekracza ona wartości liczbowej równej klasie sprawdzanego miernika.

3.3 Realizacja i sprawdzanie miliamperomierza ME

Połączyć układ pomiarowy zgodnie z rys.3.2 ustalając wcześniej z prowadzącym ćwiczenie zakres sprawdzanego miliamperomierza. Nastawić rezystor R_r na maksimum. Ustawić multimetr Agilent w tryb pomiaru prądu na zakres odpowiedni do wybranego zakresu sprawdzanego miliamperomierza.



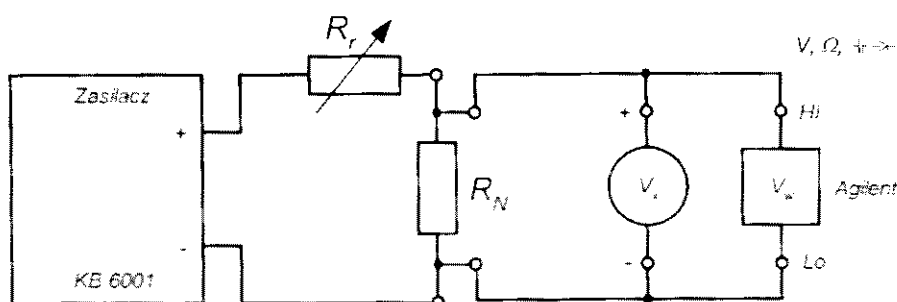
Rys. 3.2. Schemat układu pomiarowego do sprawdzania miliamperomierza uzyskanego poprzez rozszerzenie zakresu miliwoltomierza za pomocą niewymiennego bocznika zewnętrznego

- 3.3.1** Regulując R_r ustawić wskazanie sprawdzanego miliamperomierza na wartość odpowiadającą jego zakresowi i wyznaczyć i zanotować jego błąd bezwzględny w tym punkcie.
- 3.3.2** Metodą graficzną (rys.1.4) i metodą analityczną (wzór 1.22) wyznaczyć poprawki i błędy dla wskazań miliamperomierza w pozostałych ocyfrowanych punktach jego podziałki. Ocenić wpływ bocznika niewymiennego na dokładność miliamperomierza i określić jego klasę

3.3.3 Korzystając z danych umieszczonych na obudowie zewnętrznej użytego bocznika niewymiennego obliczyć wartości tworzących go rezystorów R_{b1} , R_{b2} , R_{b3} umożliwiających uzyskanie właściwych mu zakresów miliamperomierza.

3.4 Sprawdzenie woltomierza ME

Połączyć układ pomiarowy zgodnie z rys.3.3 do sprawdzania miernika LM-1 na zakresie 3 V. Dobrać rezystor R_N i nastawę rezystora R_r tak by płynność napięcia mierzonego nie przekraczała 0,1 dz. W całym zakresie sprawdzanego przyrządu przyjmując, że maksymalna wartość napięcia zasilacza wynosi 15 V. Wybrać zakres miernika wzorcowego 10 V DC.



Rys. 3.3. Schemat układu pomiarowego do sprawdzania woltomierza

3.4.1 Zmieniając napięcie rezystorem R_r wzorcować badany woltomierz ustawiając jego wskazania U_x na wartości podane w tab.3; jednocześnie odczytywać i notować wskazania U_w multimetru Agilent.). Uzupelnić tabelę 1 wyliczając błędy Δ i γ .

Tabela 3

α	dz.	10	20	30	40	50	60	70	75
U_x	V								
U_w	V								
Δ	V								
γ	%								

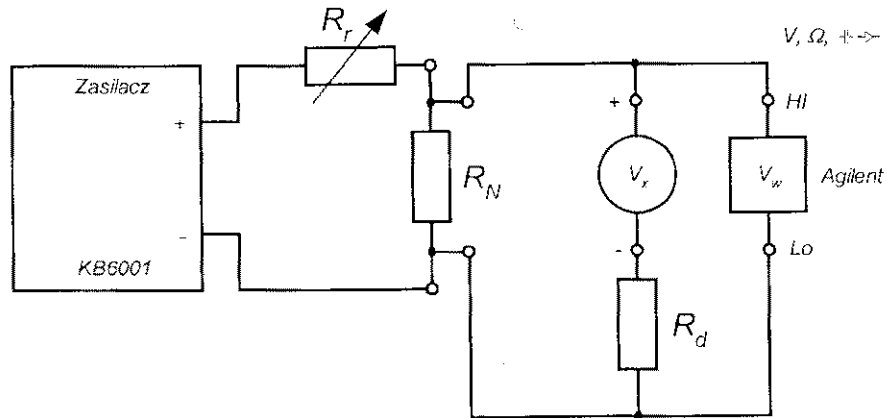
Wykorzystując otrzymane wyniki sprawdzenia narysować krzywą poprawek sprawdzanego woltomierza. Spośród obliczonych błędów względnych wybrać γ_{max} i na tej podstawie ustalić klasę sprawdzanego miernika.

3.5 Zmiana zakresu i sprawdzanie woltomierza z rozszerzonym zakresem

Połączyć układ pomiarowy zgodnie z rys.3.4. W charakterze rezystora dodatkowego R_d włączyć rezystor 6 –dekadowy z rozdzielczością najniższej dekady 0,1 Ω . Nastawić na R_d wartość rezystancji, która zapewni rozszerzenie zakresu badanego woltomierza z 3 V do wartości uzgodnionej z prowadzącym ćwiczenia. Na podstawie danych z płyty czołowej rezystora dekadowego określić i zanotować bezwzględny i względny błąd nastawionej rezystancji. Upewnić się czy zakres miernika wzorcowego jest ustawiony właściwie.

3.5.1 Regulując R_r ustawić wskazanie sprawdzanego woltomierza na wartość odpowiadającą jego zakresowi. Wyznaczyć i zanotować jego błąd bezwzględny w tym punkcie.

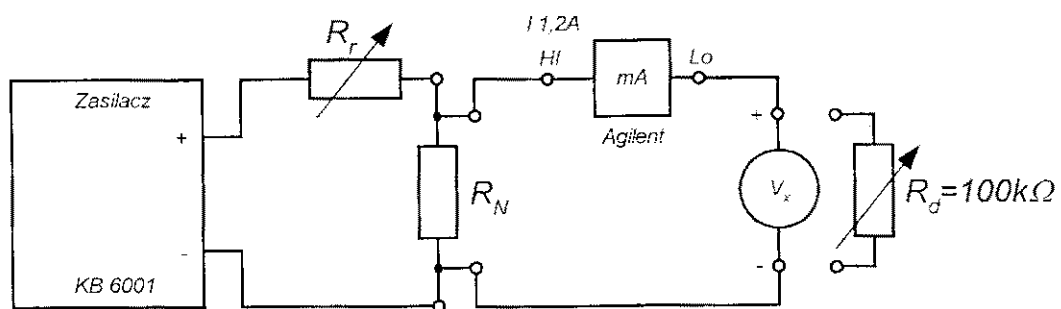
3.5.2 Metodą graficzną (rys.1.4) i metodą analityczną (wzór 1.22) wyznaczyć błędy (poprawki) dla wskazań miliamperomierza w pozostałych odcyfrowanych punktach jego podziałki. Ocenić wpływ dokładności rezystora dodatkowego wymiennego na dokładność woltomierza o rozszerzonym zakresie i określić jego klasę.



Rys.3.4 Schemat układu pomiarowego do sprawdzania woltomierza z rozszerzonym zakresem

3.6 Pomiary rezystancji wewnętrznej woltomierza

Połączyć układ pomiarowy zgodnie ze schematem rys.3.4. W charakterze woltomierza, którego rezystancja będzie mierzona użyć woltomierz badany w p.3.5 o zakresie 3 V. W charakterze miliamperomierza użyć multimetr Agilent ustawiony w tryb pomiaru prądu z automatycznym wyborem zakresu. Rezystor R_r ustawić na wartość maksymalną.



Rys. 3.5 Schemat układu pomiarowego do pomiaru rezystancji woltomierza z rozszerzonym zakresem

3.6.1 Rezystancję woltomierza mierzyć metodą podstawienia postępując w sposób następujący:

- w pierwszym etapie rezystorem R_r należy ustawić wskazanie woltomierza na wartość zakresową $U_z = 3 \text{ V}$; zanotować wartość prądu wskazaną przez miliamperomierz $I_z = \dots$. Porównać zmierzoną wartość prądu zakresowego woltomierza z wartością obliczoną na podstawie danych zamieszczonych na jego obudowie.
- w drugim etapie, po wyłączeniu zasilacza i niezmiętej nastawie rezystora R_r , odłączyć woltomierz z układu i podłączyć w jego miejsce rezystor dekadowy R_d po uprzednim ustawieniu jego pokręteł na wartość maksymalną.
- trzecim etapie włączyć zasilacz i regulować rezystor dekadowy tak, by otrzymać tę samą wartość prądu (to samo wskazanie miliamperomierza), jaka była z włączonym

woltomierzem; zanotować otrzymaną po tej regulacji wartość rezystancji rezystora, która jest w tej sytuacji równa rezystancji wewnętrznej woltomierza $R_d = R_V = \dots\dots\dots$; porównać otrzymany wynik z wartością odczytaną z obudowy miernika i oszacować dokładność pomiaru.

4. WYKONANIE SPRAWOZDANIA

W sprawozdaniu należy zamieścić:

- schematy układów pomiarowych,
- charakterystykę metrologiczną użytej w poszczególnych układach aparatury,
- wzory służące do wykonania niezbędnych obliczeń,
- tabele z wynikami pomiarów oraz wynikami obliczeń uzupełnione przykładami ilustrującymi sposób dokonywania tych obliczeń,
- wykresy błędów (poprawek) dla poszczególnych sprawdzanych przyrządów i związałą ich interpretację,
- uwagi dotyczące wykonanych eksperymentów.

Literatura

- [1] Lebson S. Podstawy miernictwa elektrycznego, WNT, Warszawa 1972 r.
 [2] Tumański S. Technika pomiarowa, WNT, Warszawa 2007 r.

UWAGA!: Warunkiem dopuszczenia do ćwiczenia będzie przedstawienie przez grupę ćwiczeniową rozwiązania następujących zadań:

1. Miliwoltomierz o prądzie zakresowym $i_z=3$ mA i napięciu zakresowym $U_z=60$ mV włączony jest w obwód mierzonego prądu równolegle z bocznikiem wymiennym prądzie znamionowym $I=50$ A i napięciu znamionowym 60 mV. Rzeczywista wartość rezystancji miliwoltomierza jest o 1% większa niż wartość znamionowa, a rzeczywista wartość rezystancji bocznika jest o 1% od wartości znamionowej mniejsza. Obliczyć błąd pomiaru wywołany nieprawidłowym wywzorcowaniem rezystancji miernika i bocznika.
2. Dla zwiększenia zakresu woltomierza magnetoelektrycznego o rezystancji znamionowej 10000 Ω użyto wymiennego rezystora dodatkowego 40000 Ω wykonanego w klasie 0,5. Rezystancja znamionowa woltomierza wykonana jest z błędem nie większym niż $\pm 1\%$. Obliczyć największy możliwy błąd pomiaru.
3. Zaprojektować uniwersalny miernik o schemacie pokazanym na rys. 1.3 przy założeniu, że dysponujemy ustrojem magnetoelektrycznym o rezystancji $R_{Cu}=8$ Ω i prądzie zakresowym $i_z=2$ mA. Miernik powinien posiadać zakresy prądowe $I_1=10$ mA, $I_2=100$ mA, $I_3=1$ A, $I_4=10$ A oraz zakresy napięciowe $U_1=20$ mV, $U_2=200$ mV, $U_3=2$ V, $U_4=20$ V. Zamieścić pełne obliczenia wartości rezystancji poszczególnych rezystorów w mierniku.