



Lekcja 12. Rodzaje mierników elektrycznych. Pomiar napięć i prądów

Do pomiaru prądu, napięcia, rezystancji i mocy służą odpowiednie mierniki, a więc amperomierze, woltomierze, omomierze i watomierze. Podstawowymi elementami przyrządów pomiarowych są:

- **urządzenia odczytowe**, umożliwiające odczytywanie wielkości zmierzonej;
- **ustrój pomiarowy**, w którym wielkości mierzone są przetworzone na sygnały przekazywane do urządzenia odczytowego;
- **obudowa**, która łączy w jedną całość ustrój pomiarowy i urządzenie odczytowe, chroni te części od szkodliwego działania czynników środowiskowych oraz chroni środowisko i ludzi przed niepożądanymi skutkami, jakie mogą wystąpić podczas pracy przyrządu pomiarowego.

Do najczęściej stosowanych należą urządzenia odczytowe analogowe (wskazówkowe) i cyfrowe.

W urządzeniach odczytowych analogowych informacja o wartości mierzonej jest podawana przez wskazówkę (materialną lub świetlną), która odchyła się o odpowiednią liczbę działek względem podziałki.

W urządzeniach odczytowych cyfrowych informacja o wielkości mierzonej jest przedstawiana w postaci uporządkowanego zbioru cyfr, wskazujących bezpośrednio wartość liczbową wielkości mierzonej.

Ustroje pomiarowe mogą być przetwornikami elektromechanicznymi lub elektronicznymi.

W urządzeniach pomiarowych elektromechanicznych wykorzystuje się zjawiska elektromagnetyczne. Składają się one: z części nieruchomej i części ruchomej, zwanej **organem ruchomym miernika**. Organ ruchomy, połączony ze wskazówką, wykonuje z reguły ruch obrotowy pod wpływem **momentu napędowego M** , jaki powstaje np. w wyniku oddziaływania pola magnetycznego na prąd w cewce organu ruchomego.

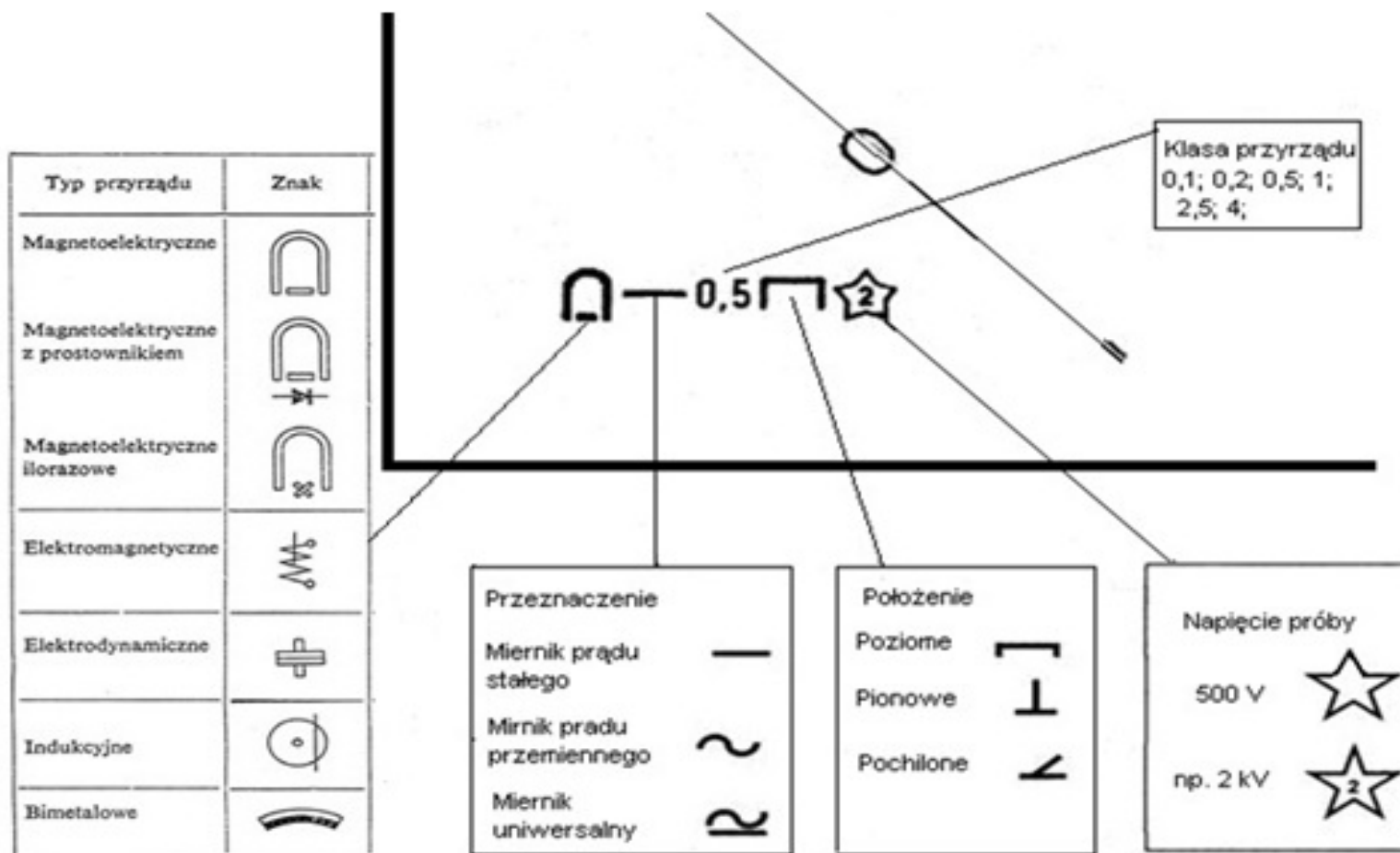
Na wspólnej osi z organem ruchomym jest osadzona sprężyna spiralna, która przeciwdziała ruchowi organu ruchomego.



W urządzeniach pomiarowych elektronicznych wartość wielkości mierzonej jest przetwarzana na sygnał dyskretny (impulsy). Ponieważ najczęściej wielkość mierzona jest sygnałem ciągłym (analogowym), przetwarzanie takiego sygnału na sygnał dyskretny odbywa się przez pobieranie próbek wielkości mierzonej w jednakowych odstępach czasu i porównywanie tych próbek z podzieloną na określone przedziały wielkością odniesienia. W wyniku takiego porównania na wyjściu urządzenia pomiarowego połączonego z elektronicznym urządzeniem odczytowym otrzymuje się napięcie o wartości zmieniającej się skokowo. Zasada ta realizowana jest zazwyczaj przez złożone układy elektryczne.

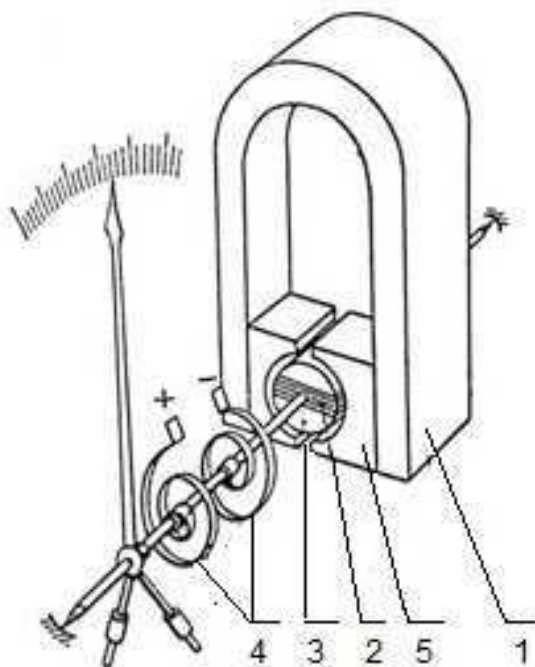
Obudowy przyrządów pomiarowych są wykonywane zwykle z materiałów izolacyjnych. Na obudowie znajdują się zaciski, służące do przyłączania przewodów obwodu pomiarowego, i łączniki, np. do zmiany zakresu pomiarowego przyrządu. Jest też ona elementem, za pomocą którego przyrząd jest łączony z konstrukcją wsporczą lub na niej ustawiany.

- Symbole umieszczone na przyrządzie



Mierniki magnetoelektryczne

Budowane: z ruchomą cewką i nieruchomym magnesem, lub nieruchomą cewką i ruchomym magnesem.



Budowa miernika magnetoelektrycznego

Oznaczenia: 1. magnes trwały, 2. cewka pomiarowa na ramce aluminiowej,
3. aluminiowa ramka i rdzeń, 4. sprężynki zwrotne, 5. Nabiegunnik

Kierunek wychylenia wskazówki zależy od kierunku przepływu prądu, zatem podczas pomiarów takim przyrządem ważna jest biegunowość. Gdy natężenie prądu podlega szybkim zmianom wychylenie wskazówki jest proporcjonalne do wartości średniej prądu. Przy przepływie prądu przemiennego, momenty działające na cewczkę znosiłyby się w obu półokresach i w konsekwencji wskazówka pokazywałaby zero.

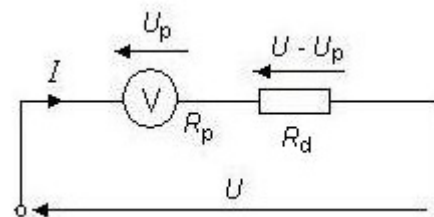
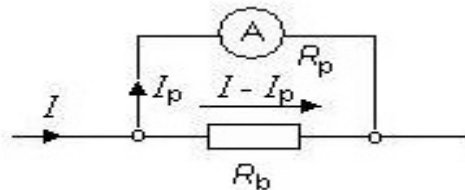
Mierniki magnetoelektryczne służą zatem do pomiaru **prądów stałych albo pulsujących jednokierunkowych**. Dodanie prostownika umożliwia pomiar napięć i prądów przemiennych.

Mierniki magnetoelektryczne są stosowane jako:

- galwanometry
- woltomierze
- amperomierze

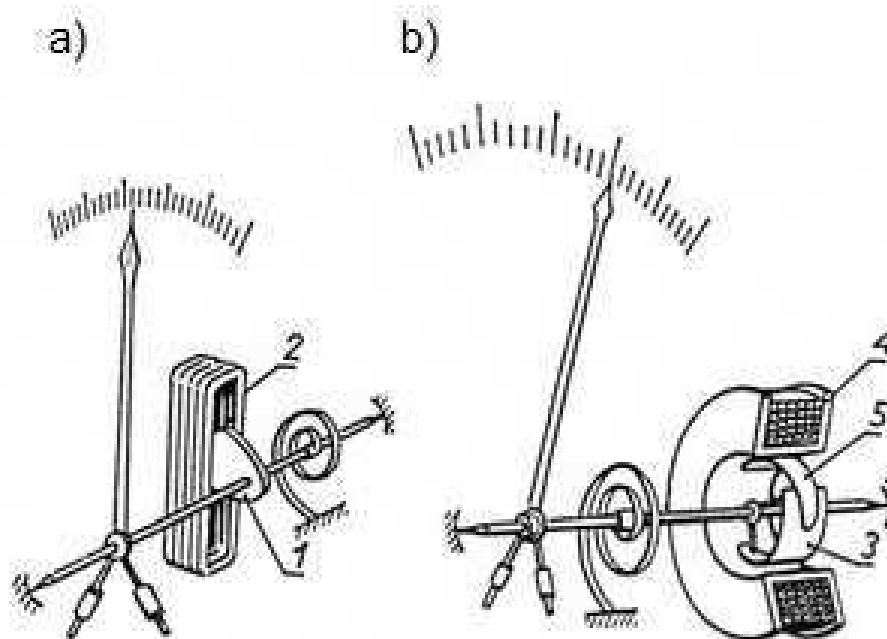
Cewki mierników magnetoelektrycznych nawinięte drutem o bardzo małym przekroju ograniczają użycie mierników tego typu do pomiaru niewielkich prądów (rzędu kilkudziesięciu miliamperów), natomiast ze względu na małą rezystancję cewki – zakres napięć jest niewielki.

W celu rozszerzenia zakresów pomiarowych stosuje się rezystory włączane równolegle do amperomierzy (boczniki) albo szeregowo do woltomierzy (posobniki).



Mierniki elektromagnetyczne

Budowane są jako: jednordzeniowe i dwurdzeniowe.



Budowa miernika elektromagnetycznego

Oznaczenia: a) jednordzeniowy, b) dwurdzeniowy, 1. aluminiowa ramka i rdzeń wykonany z materiału miękkiego magnetycznego, 2. cewka płaska, 3. blaszka ruchoma, 4. cewka cylindryczna, 5. blaszka nieruchoma



W miernikach jednordzeniowych rdzeń z miękkiego materiału ferromagnetycznego jest wciągany w głąb cewki elektromagnesu, a połączona z nim wskazówka wychyla się tym bardziej, im większe jest natężenia prądu płynącego przez cewkę.

W częściej używanych miernikach dwurdzeniowych wewnątrz cewki o kształcie cylindrycznym umieszczone są dwie blaszki: jedna nieruchoma przymocowana do cewki, druga ruchoma połączona z organem ruchomym.

W polu magnetycznym wytworzonym przez prąd płynący w zwojach cewki blaszki magnesują się jednoimiennie i odpychają się niezależnie od kierunku prądu, zarówno przy prądzie stałym jak i przemiennym. Mierniki elektromagnetyczne służą do pomiaru **prądów stałych i przemiennych** i są stosowane jako woltomierze i amperomierze.



Właściwości mierników elektromagnetycznych:

Woltomierze i amperomierze elektromagnetyczne różnią się od siebie uzwojeniem cewki:

- **cewka woltomierza** jest wykonana z drutu nawojowego o bardzo małym przekroju i ma dużą liczbę zwojów (duża rezystancję wewnętrzną), przez którą przepływa mały prąd,

- **cewka amperomierza** ma małą rezystancję wewnętrzną dzięki małej liczbie zwojów wykonanych z drutu nawojowego o dużym przekroju.

Mierniki elektromagnetyczne włączane bezpośrednio do mierzonego obwodu mają zakres napięciowy od kilku woltów do około 600 V, a mierzone prądy mogą mieć wartość od 50 mA do ok. 300 A.

- **Zakres pomiarowy woltomierzy** zmienia się przez zastosowanie dodatkowych rezystorów

- **Zakres pomiarowy amperomierzy** zmienia się przez zastosowanie cewek z odczepami o różnej liczbie zwojów.

Do pomiaru wysokich napięć albo bardzo dużych natężeń prądów stosuje się transformatory pomiarowe o odpowiednio dobranych przekładniach, nazywane:

- przekładnikami napięciowymi
- przekładnikami prądowymi.



Mierniki elektrodynamiczne.

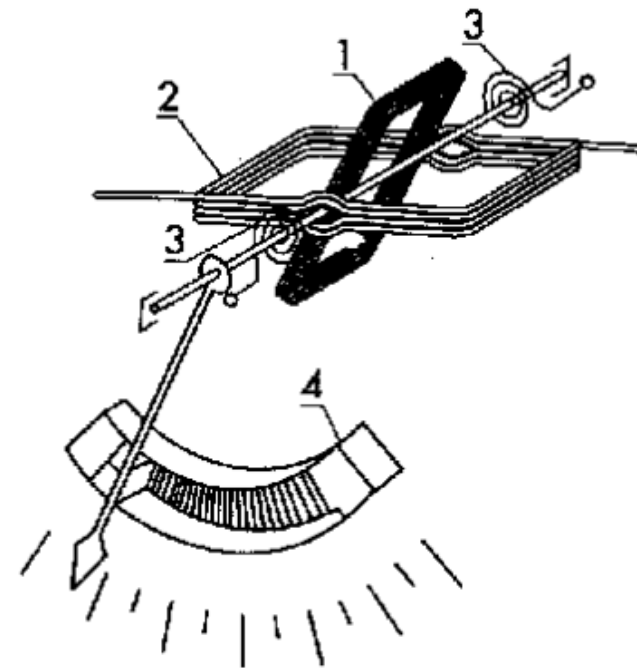
Mierniki elektrodynamiczne pracują na zasadzie wzajemnego oddziaływania strumieni magnetycznych wytwarzanych przez dwie cewki (ruchoma i stała) wskutek przepływu przez nie mierzonego prądu. Cewka ruchoma dąży do ustawienia się w takie położenie, żeby wytworzony przez nią strumień magnetyczny dodawał się do strumienia magnetycznego cewki stałej.

Mierniki elektrodynamiczne działają przy prądzie stałym i zmiennym.

Mierniki elektrodynamiczne dzieli się na mierniki elektrodynamiczne bezrdzeniowe oraz mierniki ferrodynamiczne.

W mierniku elektrodynamicznym bezrdzeniowym cewka nieruchoma (2) jest podzielona na dwie symetryczne części. Wewnątrz niej jest umieszczona cewka obrotowa (1), umocowana na osi. Czopki tej osi obracają się w łożyskach. Prąd doprowadzony jest do cewki obrotowej za pomocą dwóch sprężynek (3), które służą również do uzyskania momentu zwrotnego. Na osi umocowana jest wskazówka. Do tłumienia wahań nieustalonych organu ruchomego służy tłumik pneumatyczny skrzydełkowy (4).

Zasadnicza różnica między działaniem miernika magnetoelektrycznego a działaniem miernika elektrodynamicznego polega na tym, że strumień magnetyczny cewki stałej w miernikach elektrodynamicznych, jest zależny od natężenia prądu, pod działaniem prądu zmiennego ulega zmianie co do wartości i zwrotu, natomiast strumień magnetyczny magnesu w miernikach magnetoelektrycznych jest niezmienny.

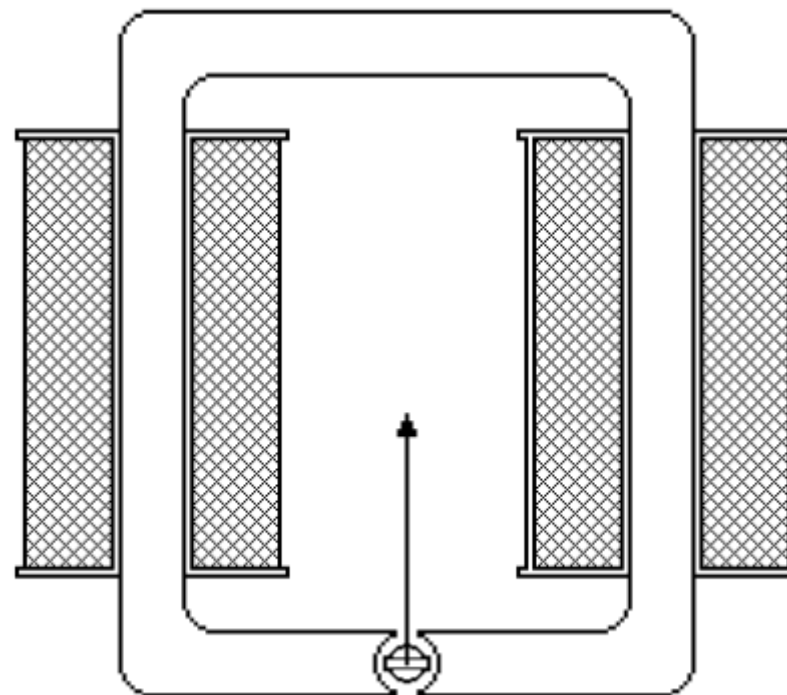


Ferrodynamiczne

W mierniku ferrodynamicznym w celu zwiększenia momentu napędowego umieszcza się cewki na rdzeniu ze stali miękkiej.

Pod względem budowy mierniki ferrodynamiczne bardzo przypominają mierniki magnetoelektryczne z tym zastrzeżeniem, że zamiast magnesu trwałego zastosowany jest elektromagnes złożony z rdzenia i cewek. Rdzeń elektromagnesu wykonany jest z izolowanych blaszek stali miękkiej. Na skutek zastosowania blaszek zmniejsza się straty energetyczne spowodowane prądami wirowymi.

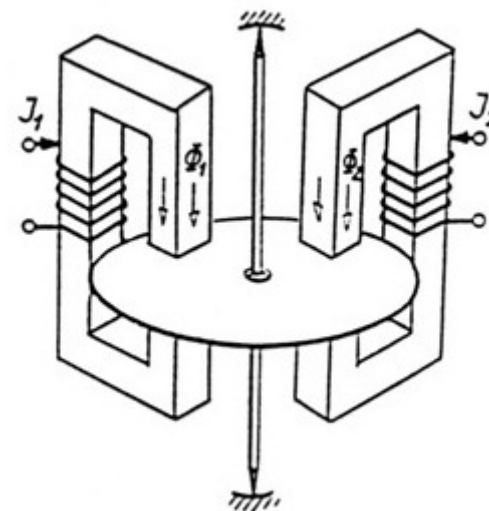
Cewka obrotowa umieszczona jest w szczelinie między rdzeniem a rdzeniem walcowym wykonanym również z izolowanych blaszek. Moment napędowy miernika ferrodynamicznego jest wielokrotnie większy od momentu napędowego miernika elektrodynamicznego bezrdzeniowego. Zastosowanie rdzenia magnetycznego jest jednak przyczyną powstawania dodatkowych uchybów pomiarowych, wskutek tego mierniki ferrodynamiczne są mało dokładne.



Mierniki indukcyjne

Prądy I_1 i I_2 płynące w cewkach elektromagnesów wytwarzają strumienie magnetyczne pulsujące, które indukują prądy wirowe w tarczy umieszczonej w szczelinie powietrznej elektromagnesów. Na prądy płynące w tarczy umieszczonej w polu magnetycznym elektromagnesów działają siły, które powodują jej obrót. Dla zwiększenia momentu napędowego stosuje się mierniki dwustrumieniowe.

Mierniki indukcyjne są obecnie używane wyłącznie jako liczniki energii elektrycznej w obwodach prądu przemiennego.



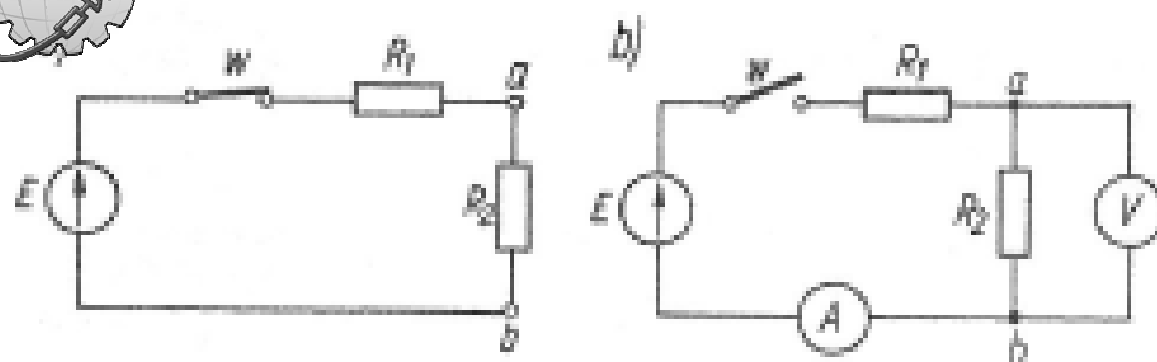
Budowa miernika indukcyjnego

Prądy I_1 i I_2 płynące w cewkach elektromagnesów

Pomiar napięcia i prądu

Chcąc zmierzyć napięcie pomiędzy dwoma dowolnymi punktami obwodu elektrycznego łączymy przewodami zaciski woltomierza z tymi punktami.

Na rys. 15.10*a* przedstawiono schemat obwodu elektrycznego z wybranymi dwoma zaciskami *a*, *b*, między którymi chcemy zmierzyć napięcie. Na rys. 15.10*b* przedstawiono schemat tego samego obwodu z włączonym woltomierzem. Włączanie woltomierza powinno się odbywać ze względów bezpieczeństwa w stanie beznapięciowym, a więc przy otwartym wyłączniku *w*. Dopiero po włączeniu woltomierza można zamknąć wyłącznik.



Rys. 15.10

Pomiar napięcia między punktami *a*, *b* obwodu elektrycznego: a) schemat obwodu; b) przyłączenie woltomierza i amperomierza przy otwartym wyłączniku

Aby włączenie woltomierza nie wpłynęło wyraźnie na istniejący rozptyw prądu w obwodzie, rezystancja woltomierza powinna być jak największa, czyli pobór prądu jak najmniejszy. Pod tym względem najkorzystniejsze są woltomierze magnetoelektryczne, w których do odchylenia wskazówki do końca podziałki wystarcza na ogół prąd I_v o wartości 1 mA, a nawet mniejszej. Tak np. w mierniku UM5 produkcji krajowej wskazówka osiąga koniec podziałki przy prądzie $I_v = 50 \mu\text{A}$.

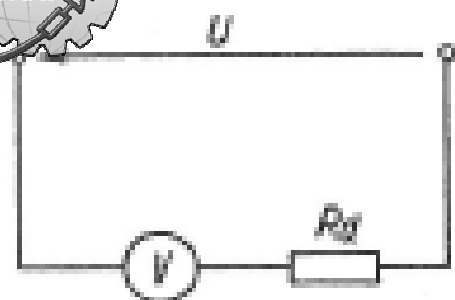
Poszerzanie zakresu pomiarowego woltomierzy

Odchylenie wskazówki woltomierza zależy bezpośrednio od prądu I_v płynącego przez woltomierz, a tylko pośrednio od napięcia U_v , które jest równe iloczynowi rezystancji R_v woltomierza i prądu I_v płynącego przez woltomierz

$$R_v I_v = U_v \quad (15.8)$$

Jeżeli w szereg z woltomierzem włączymy rezystor dodatkowy R_d (rys. 15.11), to przy tym samym prądzie I_v napięcie mierzone na końcach gałęzi szeregowej

$$(R_d + R_v) I_v = U \quad (15.9)$$



Rys. 15.11

Poszerzanie zakresu pomiarowego woltomierza

Chcąc mierzyć napięcie $U = nU_v$, tzn. n razy większe niż napięcie woltomierza, musimy odpowiednio dobrać rezystor R_d . Z podzielenia stronami równania (15.9) przez równanie (15.8) otrzymujemy

$$\frac{R_d + R_v}{R_v} = \frac{U}{U_v} = n$$

Woltomierze przenośne wykonuje się zwykle na dwa lub więcej zakresów pomiarowych, a rezystory dodatkowe wbudowuje się w obudowę miernika.

Na obudowie woltomierzy przeznaczonych tylko do pomiaru napięcia stałego (magnetoelektrycznych) umieszcza się jeden zacisk opatrzony znakiem + i po jednym zacisku dla każdego zakresu pomiarowego z podaniem obok niego liczby, np. 150 i 300 V.

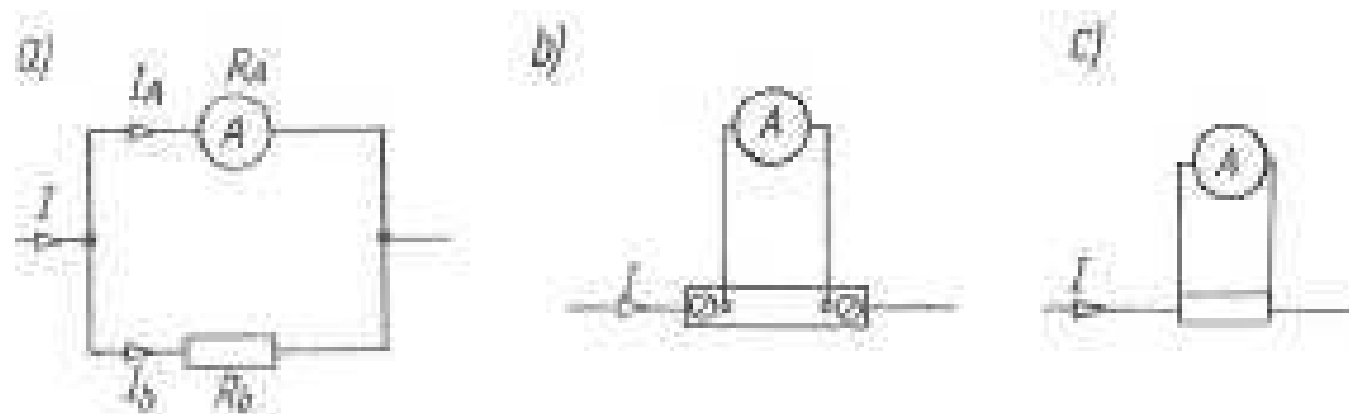
Woltomierz kilkuzakresowy należy włączyć lub nastawić na największy zakres, a dopiero gdy odchylenie wskazówki jest za małe, przestawić na niższy zakres. Ma to na celu uniknięcie uszkodzenia woltomierza.

Pomiar prądu. Poszerzanie zakresu pomiarowego amperomierzy

Do pomiaru prądu służą amperomierze. Włącza się je w obwód w szereg z odbiornikiem lub innym elementem, w którym ma być zmierzony prąd (rys. 15.10b). Włączanie amperomierza powinno odbywać się

w stanie beznapięciowym, a więc przy otwartym wyłączniku w. Aby włączenie amperomierza nie wpłynęło wyraźnie na wartość mierzonego prądu, rezystancja R_A amperomierza powinna być jak najmniejsza, ściślej mówiąc, spadek napięcia na amperomierzu powinien być jak najmniejszy. Obliczamy go mnożąc rezystancję R_A przez zakres pomiarowy I_A amperomierza.

Zakres pomiarowy amperomierza magnetoelektrycznego można zwiększyć włączając równoległe do amperomierza bocznik, tj. rezystor o odpowiednio małej rezystancji R_b (rys. 15.12).



Rys. 15.12
Poszerzenie zakresu pomiarowego amperomierza: a) schemat rozptywu prądu; b) sposób włączania bocznika i amperomierza; c) symbol graficzny amperomierza z bocznikiem

Przypuśćmy, że chcemy zwiększyć zakres n -krotnie, czyli chcemy mierzyć prąd $I = nI_A$. Zgodnie z I prawem Kirchoffa prąd w boczniku

$$I_b = I - I_A = nI_A - I_A = (n - 1)I_A \quad (15.11)$$

Bocznik i amperomierz są połączone równolegle, więc płynące przez nie prądy są odwrotnie proporcjonalne do ich rezystancji. Jeżeli zatem prąd w boczniku ma być $(n - 1)$ razy większy od prądu w amperomierzu, to rezystancja bocznika powinna być $(n - 1)$ razy mniejsza od rezystancji amperomierza.

$$R_b = \frac{R_A}{n - 1} \quad (15.12)$$

Dzięki bocznikowi można wykonać cewkę organu ruchomego na mały prąd, rzędu miliamperów, co jest konieczne ze względu na wymaganą lekkość cewki i zmieszczenie jej w szczelinie obwodu magnetycznego.



Amperomierze tablicowe i przenośne techniczne mają z reguły boczniki wbudowane, a na obudowie mają oznaczony zacisk + i dwa do trzech zacisków z zaznaczeniem obok nich zakresów prądowych, np. 1 A, 2 A.

Boczniki oddzielne stosuje się do mierników laboratoryjnych klasy 0,2 i 0,1. Każdy boczniak ma dwa większe zaciski do włączenia ich w mierzony obwód, oraz dwa mniejsze zaciski do połączenia ich z samym miernikiem za pomocą specjalnych przewodów dostarczonych razem z amperomierzem.

Do amperomierzy elektromagnetycznych nie stosuje się boczniaków. Dwa zakresy uzyskuje się w nich za pomocą cewki dwudzielnej w układzie szeregowym lub równoległym.