

1. Sposób rozszerzania zakresu pomiarowego woltomierzy i amperomierzy wszystkich typów.

Amperomierz:

- Przy pomiarach prądu stałego, dla zwiększenia zakresu pomiarowego cewkę ustroju łączy się równolegle z bocznikiem, przez który płynie część prądu. Wówczas odchylenie organu ruchomego mikroamperomierza jest proporcjonalne do prądu płynącego przez cały układ miernika.

- Do rozszerzenia zakresu pomiarowego amperomierza przy pomiarach prądu przemiennego wykorzystuje się układ amperomierza z przekładnikiem prądowym.

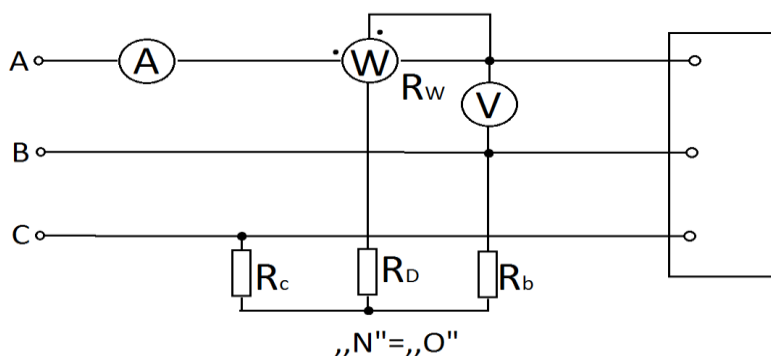
Woltomierz:

Do rozszerzania zakresu pomiarowego woltomierzy magnetoelektrycznych, elektromagnetycznych i elektrodynamicznych stosuje się dodatkowe oporniki łączone szeregowo z ustrojem miernika, nazywane posobnikami. Często posobniki zabudowane są w jednej obudowie z ustrojem woltomierza, który posiada wyprowadzony przełącznik zakresów lub kilka zacisków o oznaczonych zakresach.

Do Woltomierzy elektromagnetycznych stosuje się:

- Zmieniając wartość rezystora
- Selekcjonując cewkę przyrządu i łącząc ją równolegle lub szeregowo
- Stosując wyżej wymienione sposoby na raz

2. Metoda pomiaru mocy w układach trójprzewodowych.



Jest to układ z niedostępnym przewodem neutralnym (zerowym)

A/ wymagania układowe :

- symetria układu zasilającego
- symetria odbiornika

B/ ograniczenia metrologiczne

- stopień asymetrii rzutuje na dokładność pomiaru
- małe dokładności pomiaru – nie prowadzimy analizy metrologicznej

W układzie pomiarowym stosujemy sztuczny punkt neutralny (zerowy)

$$R_C = R_B = R_D + R_W$$

$$P = 3C_W \cdot \alpha = \sqrt{3}U_{AB}I_A \cos \varphi$$

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{\sqrt{3}U_{AB}I_A \cos \varphi}{\sqrt{3}U_{AB}I_A} = \frac{3C_W \alpha}{\sqrt{3}U_{AB}I_A} = \frac{\sqrt{3}C_W \alpha}{U_{AB}I_A}$$

UKŁAD SYMETRYCZNY 4-PRZEWODOWY

A) Wymagania Układowe:

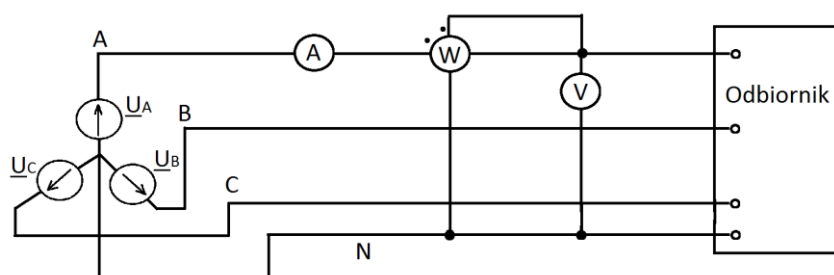
- symetria sieci zasilającej $U_A = U_B = U_C$, $\angle 120^\circ$

- symetria obciążenia $I_A = I_B = I_C$, $\angle 120^\circ$

B) Ograniczenia metrologiczne:

- stopień asymetrii rzutuje na dokładność pomiaru

- w związku z małą dokładnością pomiaru nie prowadzimy analizy metrologicznej



Moc odbiornika

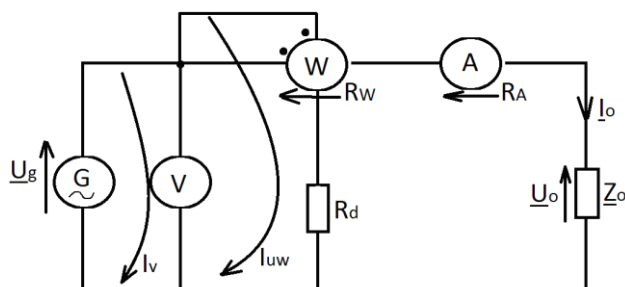
$$P_o = 3UI \cos \phi = 3c_w \alpha$$

$$\cos \phi = \frac{P_o}{S_o} = \frac{3U_A I_A \cos \phi}{3U_A I_A} = \frac{3c_w \alpha}{3U_A I_A} = \frac{c_w \alpha}{U_A I_A}$$

3. Wprowadź wzory na moc czynną generatora i odbiornika

A) generator (układ poprawnie mierzonego napięcia)

Watomierz realizuje iloczyn skalarny mnożąc napięcie występujące między AB (AB gałąź z woltomierzem) jest to napięcie U_g i prąd I_0 przepływający przez odbiornik. Zatem watomierz mierzy moc pobieraną przez odbiornik Z_0 i straty mocy w amperomierzu i cewce prądowej watomierza. Zatem watomierz mierzy za dużo. Otrzymamy wartość poprawną gdy od mocy wskazanej przez watomierz odejmiemy moce tracone przez amperomierz i woltomierz.



Pomiar mocy odbiornika:

w tym układzie watomierz mierzy za dużo, ponieważ oprócz mocy pobieranej przez odbiornik, watomierz mierzy moc pobieraną przez amperomierz i cewkę prądową watomierza

$$P_o = P_w - P_A - P_{IW}$$

$$P_o = P_w - I_o^2 R_{IW} - I_o^2 R_A$$

$$P_o = P_w - I_o^2 (R_{IW} + R_A)$$

$$P_o = P_w - P_P$$

Moc oddawana przez generator, watomierz mierzy zbyt małą moc ponieważ nie mierzy mocy generatora.

$$P_g = P_W + P_{UW} + P_V$$

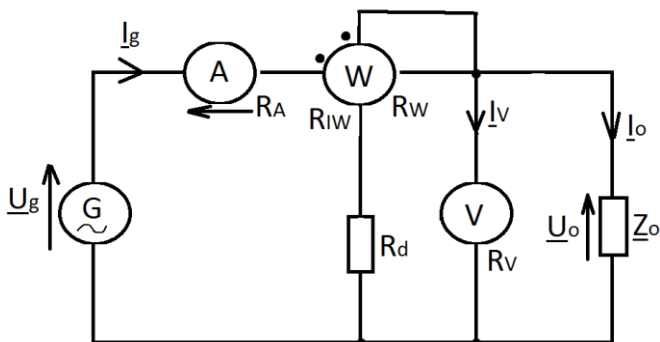
$$P_g = P_W + U_g^2 \frac{1}{R_d + R_W} + U_g^2 \frac{1}{R_V}$$

$$P_g = P_W + U_g^2 \left(\frac{1}{R_d + R_W} + \frac{1}{R_V} \right)$$

$$P_g = P_W + P_P$$

B) ODBIORNIK (układ poprawnie mierzonego napięcia)

W tym układzie watomierz mnoży napięcie między U_{cd} (CD gałąź z woltomierzem) i prąd przepływający przez cewkę prądową watomierza. Watomierz mierzy moc pobieraną przez odbiornik i straty mocy woltomierza i cewce watomierza. Zatem mierzy za dużo.



Oprócz mocy pobieranej przez odbiornik watomierz mierzy również moc woltomierza i układu napięciowego watomierza

Poprawą moc odbiornika:

otrzymujemy odejmując od wskazań watomierza moc traconą w obwodzie napięciowym

$$P_O = P_W - P_{UW} - P_V$$

$$P_O = P_W - U_O^2 \frac{1}{R_d + R_W} - U_O^2 \frac{1}{R_V}$$

$$P_O = P_W - U_O^2 \left(\frac{1}{R_d + R_W} + \frac{1}{R_V} \right)$$

$$P_O = P_W - P_P$$

Moc oddawana przez generator

$$P_g = P_W + P_{IW} + P_A$$

$$P_g = P_W + I_g^2 R_{IW} + I_g^2 R_A$$

$$P_g = P_W + I_g^2 (R_{IW} + R_A)$$

$$P_g = P_W + P_P$$

Mierzylismy w układzie poprawnie mierzonego napięcia, ponieważ na podzielnicy przyrządów pomiarowych woltomierzy są podawane rezystancje R_V i $R_W + R_d$, po drugie wartości tych rezystencji łatwo jest zmierzyć

4. Pomiar mocy trzema watomierzami.

Moc mierzymy 3 watomierzami w sieci 4-przewodowej, gdy nie mamy informacji o symetrii źródła napięcia zasilania i o symetrii odbiornika

A) Wymagania układowe:

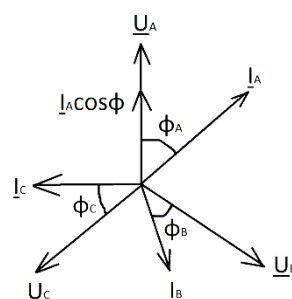
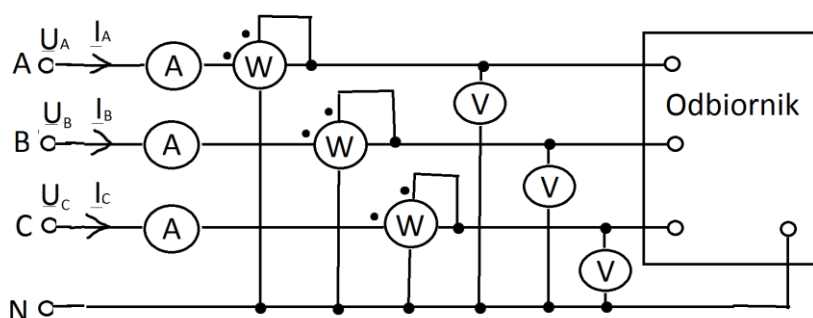
- zasilanie symetryczne lub niesymetryczne
- odbiornik symetryczny lub niesymetryczny

B) Ograniczenia metrologiczne:

- $\cos \varphi$ odbiornika określamy tylko gdy odbiornik jest symetryczny (wówczas ma to tylko sens)

Układ pomiarowy:

W układzie jest realizowana PPN, bo jeśli nie znamy rezystancji V i obwodów W , to możemy je zmierzyć (zwykłymi omomierzami). Gdybyśmy zastosowali układ PPP i nie znalazłobyśmy R , A i cewek W to można je zmierzyć tylko wyspecjalizowanymi omomierzami (na które nas nie stać ☹).



$$P_W = P_A + P_B + P_C = c_{WA} \cdot \alpha_{WA} + c_{WB} \cdot \alpha_{WB} + c_{WC} \cdot \alpha_{WC}$$

$\varphi_A \neq \varphi_B \neq \varphi_C$ zatem
nie wyznaczymy $\cos \varphi$

W dokładnych pomiarach należy uwzględnić pobór mocy przez obwody napięciowe watomierzy i woltomierzy – dla przykładu obliczyć moc pobieraną przez odbiornik w fazie A:

$$P_{OA} = P_A - P_{uW} - P_V = P_A - U_A^2 \cdot \left(\frac{1}{R_{uW}} + \frac{1}{R_V} \right) \quad P_{uW} \text{ – moc na kanale napięciowym watomierza}$$

Moc pozorna odbiornika jest równa: $S = U_A \cdot I_A + U_B \cdot I_B + U_C \cdot I_C$

$$\cos \varphi = \frac{P_O}{S_O} = \frac{P_A + P_B + P_C}{S_A + S_B + S_C}$$

Współczynnik mocy $\cos \varphi$:

Analiza metrologiczna:

Błąd pomiaru mocy czynnej:

$$\delta_g P_O = \frac{|\Delta_g P|}{P_O} \cdot 100\% = \pm \frac{(|\Delta P_A| + |\Delta P_B| + |\Delta P_C|)}{P_A + P_B + P_C} \cdot 100\% = \left| \begin{array}{l} \text{wstawiamy} \\ \text{za } \Delta P_A = \frac{kl_A \cdot P_{nA}}{100\%} \\ \Delta P_B \text{ i } \Delta P_C \text{ podobnie} \end{array} \right| =$$

$$\pm \frac{(|kl_A \cdot P_{nA}| + |kl_B \cdot P_{nB}| + |kl_C \cdot P_{nC}|)}{P_A + P_B + P_C} = \left| \begin{array}{l} \text{następnie} \\ kl_A = kl_B = kl_C = kl \\ P_{nA} = P_{nB} = P_{nC} = P_n \end{array} \right| = \pm \frac{3|P_n|}{P_A + P_B + P_C}$$

Błąd pomiaru mocy pozornej

$$\delta_g S_O = \frac{|\Delta_g S_O|}{S_O} \cdot 100\% = \pm \frac{(|\Delta S_A| + |\Delta S_B| + |\Delta S_C|)}{S_A + S_B + S_C} \cdot 100\% =$$

$$\left| \Delta S_A = \frac{\delta S_A \cdot S_A}{100\%}, \Delta S_B = \frac{\delta S_B \cdot S_B}{100\%}, \Delta S_C = \frac{\delta S_C \cdot S_C}{100\%} \right|$$

$$\delta_g S_O = \frac{(|\delta S_A \cdot S_A| + |\delta S_B \cdot S_B| + |\delta S_C \cdot S_C|)}{S_A + S_B + S_C}$$

$$S_A = U_A \cdot I_A$$

$$\delta S_A = \pm (|\delta U_A| + |\delta I_A|) = \pm \left(\left| kl_V \cdot \frac{U_{nA}}{U_A} \right| + \left| kl_A \cdot \frac{I_{nA}}{I_A} \right| \right)$$

kl_V - klasa woltomierza, kl_A - klasa amperomierza, U_{nA} - zakres woltomierza, I_{nA} - zakres amperomierza

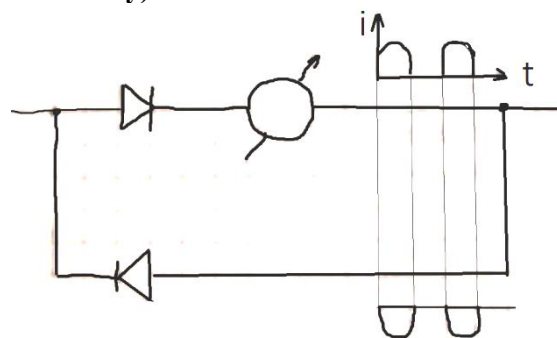
Błąd pomiaru współczynnika mocy jak w układzie jednofazowym.

5. Dlaczego miernik magnetoelektryczny mierzy wartość skuteczną.

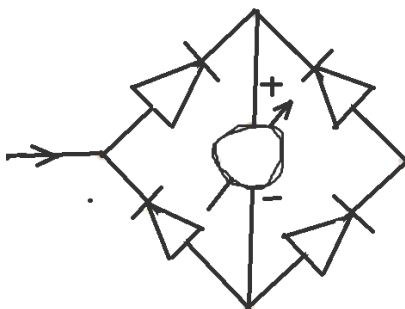
Mierniki magnetoelektryczne to przyrządy pomiarowe służące do mierzenia natężenia prądu elektrycznego stałego, w których pomiar odbywa się dzięki wzajemnemu oddziaływaniu pola magnetycznego magnesu trwałego z polem magnetycznym wytworzonym przez mierzony prąd płynący w ruchomej cewce połączonej ze wskazówką. Zalety ustroju elektromagnetycznego spowodowały również jego zastosowanie do pomiarów prądu przemiennego. Z uwagi na to, iż mierniki te nie reagują bezpośrednio na przepływ prądu przemiennego, którego wartość średnia jest równa zero, konieczne jest wyprostowanie prądu przed doprowadzeniem go do cewki miernika. W tym celu używa się prostowników (diod germanowych). W miernikach elektrycznych prostownikowych stosuje się zwykle układ mostkowy złożony z czterech diod. Ze względu na zmiany rezystancji prostowników ze zmianą temperatury zwykle łączy je w szereg z wbudowanym opornikiem.

Rozwiązanie układów prostowników

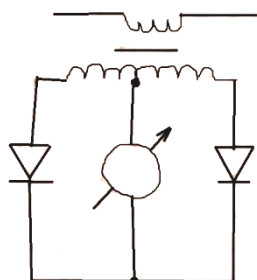
a) prostownik półokresowy (półokresowy)



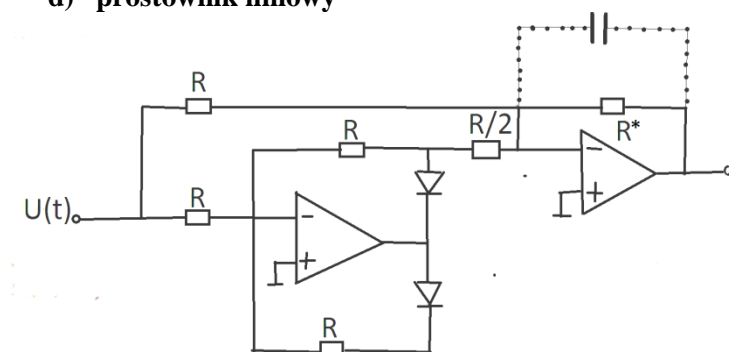
b) prostownik pełno-okresowy (dwu półokresowy)



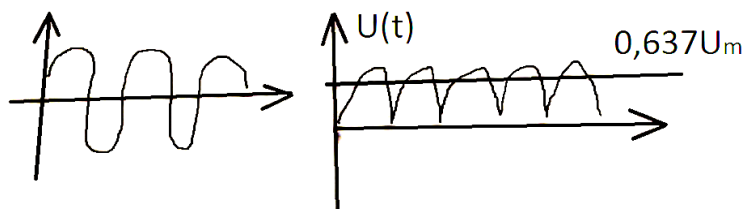
c) układ z transformatorem



d) prostownik liniowy



$$K_k = \frac{R^*}{R} = 1,1107 \quad U = \frac{1}{\sqrt{2}} U_m = 0,707 U_m \quad \bar{U} = \frac{2}{\pi} U_m = 0,637 U_m$$



Miernik magnetoelektryczny z prostownikiem do pomiaru wartości skutecznych napięcia i prądu sinusoidalnego. Ze współczynnika kształtu wynika że wartość skuteczna jest równa

$$I = k_k \cdot \bar{I} \quad U = k_k \cdot \bar{U}$$

Dla miernika z prostownikiem dwupołówkowym

$$I = k_k \cdot \bar{I} = \frac{\frac{1}{\sqrt{2}} I_m}{\frac{2}{\pi} I_m} \cdot \bar{I}$$

chcę zmierzyć wartość skuteczną

przebieg sinusoidalny jest prostokątny w prostowniku dwupołówkowym

a) ----→

b) Dla miernika z prostownikiem jednopołówkowym

$$I = k_k \cdot \bar{I} = \frac{1}{\frac{\sqrt{2}}{2}} \frac{I_m}{\pi} = 2,2214 \bar{I}$$


Błąd miernika magnetoelektrycznego z prostownikiem przy pomiarze napięć odkształconych:

Jeżeli napięcie zawiera wyższe harmoniczne to dodatkowy błąd pomiarów napięć (prądów) wynosi:

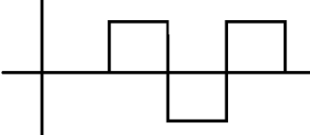
$$\delta_k U = \frac{k_k - k_{kp}}{k_{kp}} \cdot 100 = \frac{\frac{\pi}{2\sqrt{2}} - k_{kp}}{k_{kp}} \cdot 100$$

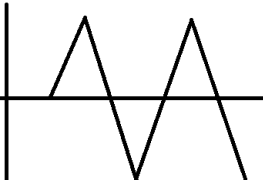
$$k_k = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} - \text{współczynnik kształtu dla przebiegu sinusoidalnego}$$

k_{kp} - poprawny współczynnik kształtu mierzonego przebiegu

Miernik wartości średnich z prostownikiem lub woltomierzem cyfrowym z podwójnym całkowaniem ( lub VC) mierzy wartość skuteczną napięcia sinusoidalnego.

Z jakim błędem (dokładnym) będzie mógł mierzyć przebiegi kwadratowy i trójkątny.

a)  $\delta_k U = \frac{k_k - k_{kp}}{k_{kp}} \cdot 100 = \frac{\frac{\pi}{2\sqrt{2}} - 1}{1} \cdot 100 = +11,1\%$

b)  $\delta_k U = \frac{k_k - k_{kp}}{k_{kp}} \cdot 100 = \frac{\frac{\pi}{2\sqrt{2}} - \frac{2}{\sqrt{3}}}{\frac{2}{\sqrt{3}}} \cdot 100 = -3,89\%$

6. Pomiar mocy biernej.

Jest to moc dostarczona do układu i nie przetworzona na inną postać mocy. Jeżeli odbiornik jest liniowy a napięcie zasilania sinusoidalne to prąd i napięcie możemy określić wzorami

$$\underline{U} = U e^{j\Psi_u} \quad \underline{I} = I e^{j\Psi_i}$$

Moc pozorna jest równa

$$\underline{S} = \underline{U} \underline{I}^* = U e^{j\Psi_u} \cdot I e^{-j\Psi_i} = UI e^{j(\Psi_u - \Psi_i)} = UI e^{j\Psi}$$

$$\Psi = \Psi_u - \Psi_i$$

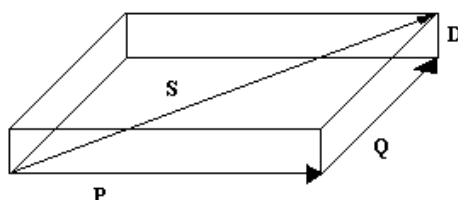
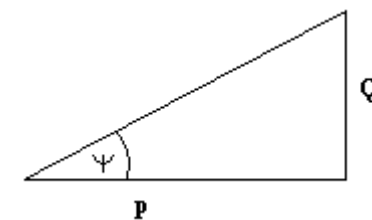
$$S = UI \cos \Psi + j UI \sin \Psi = P + jQ$$

Te wzory obowiązują tylko gdy napięcie ma przebieg sinusoida albo liniowy. Gdy jeden z warunków nie jest spełniony to wówczas możemy obliczyć moc ze wzoru Antonio Budeanno (1925)

$$Q = \sum_{k=1}^{\infty} U_k I_k \sin(k\omega t + \Psi_k)$$

Jeżeli wyznaczymy moc pozorną dla analizowanego odbiornika to moc pozorną wyznaczymy

$$S^2 = P^2 + Q^2 + D^2$$



Jest to wzór sztuczny

$$Q = \frac{1}{\omega T} \int_0^T u \frac{di}{dt} dt, \quad P = \frac{1}{T} \int_0^T u \cdot i dt$$

$$P = \sum_{k=1}^{\infty} U_k I_k \cos(k\omega t + \Psi_K)$$

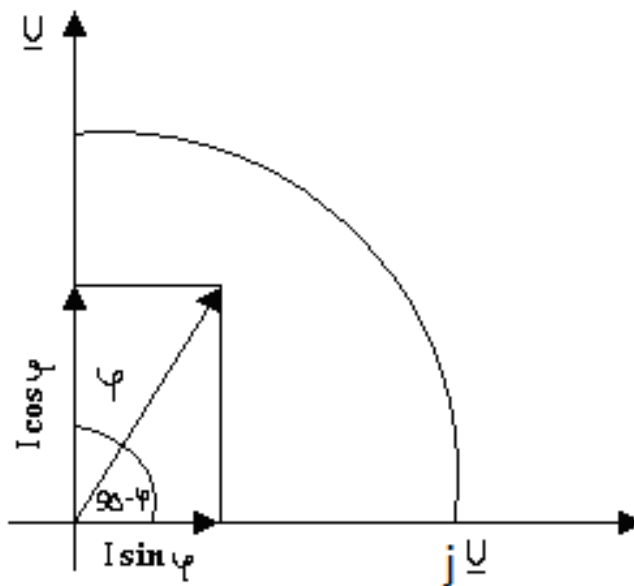
Moc czynną mierzymy za pomocą watomierzy

- realizują iloczyn skalarny

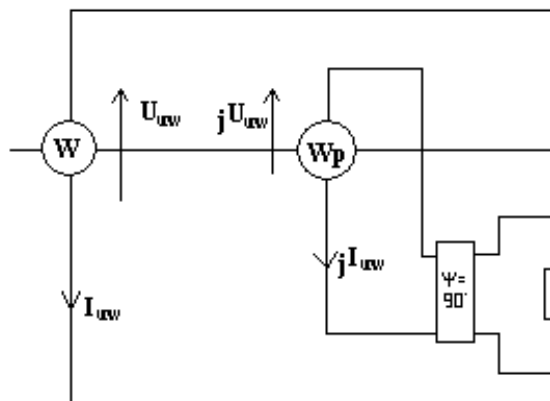
Natomiast nie ma naturalnych przyrządów? mierzących moc bierną

- iloczyn wektorowy.

Do pomiaru mocy biernej są wykorzystywane watomierze



Pomiar realizuje się w układzie

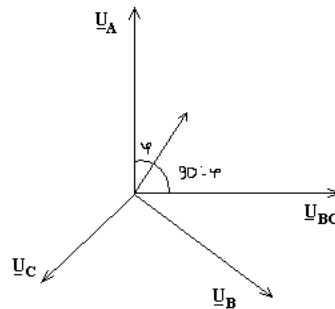
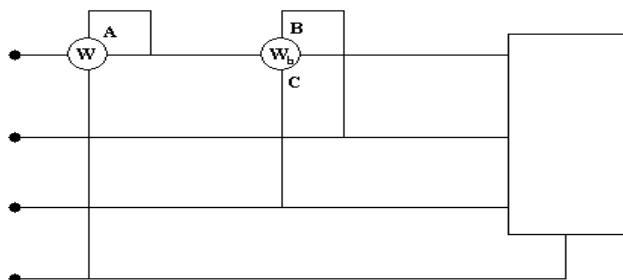


$$Q = UI \cos(90^\circ - \varphi) = UI \sin \varphi$$

Pomiar mocy biernej w obwodzie 3-fazowym

Są realizowane przy założeniu że między napięciami fazowymi występuje przesunięcie fazowe $\frac{\pi}{2}$.

Pomiar mocy bierniej za pomocą jednego watomierza.



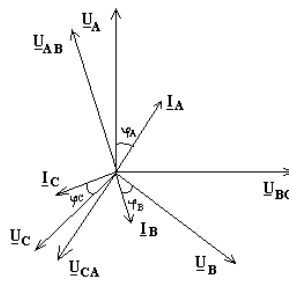
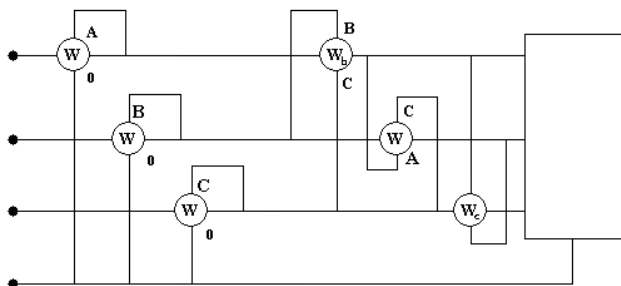
$$P_o = 3P_A$$

$$W_B = UI \cos(90^\circ - \varphi) = U_{BC} I \sin \varphi$$

$$Q = \sqrt{3} W_B \left(\frac{3WB}{\sqrt{3}} \right)$$

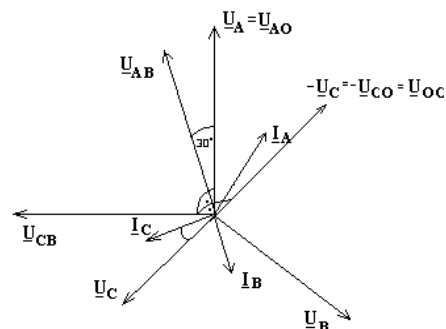
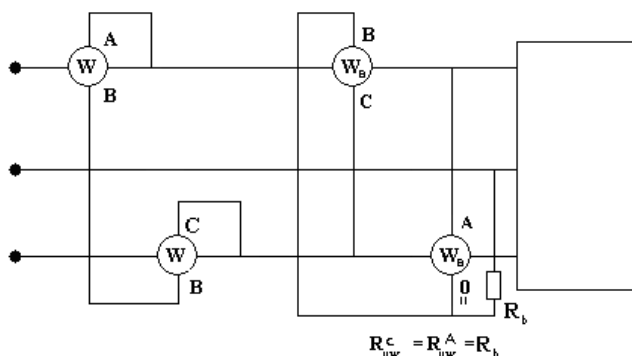
Przy pomiarze mocy czynnej cewki napięciowej? Watomierza były połączone, początek na fazę A, koniec na fazę 0. Szukamy napięcia przesuniętego względem U_{BO} o 90° . Tym napięciem przy indukcyjnym jest napięcie U_{BC} . Zatem watomierz który będzie mierzyć Q należy odpowiednio połączyć. Początek cewki napięciowej na fazę B, koniec na fazę C. Watomierz mierzy moc bierną ale o $\sqrt{3}$ razy większe niż powinien (napięcie międzyfazowe). Moc bierna pobierana przez odbiornik jest równa $\sqrt{3}W_b$.

Pomiar mocy w obwodzie 3-fazowym (4przeowodowym) o niesymetrycznym odbiorniku.



$$Q = \frac{W_{BA} + W_{BB} + W_{BC}}{\sqrt{3}}$$

Pomiar mocy bierniej w obwodzie 3-fazowym (3przeowodowym) o niesymetrycznym odbiorniku (układ Arona)



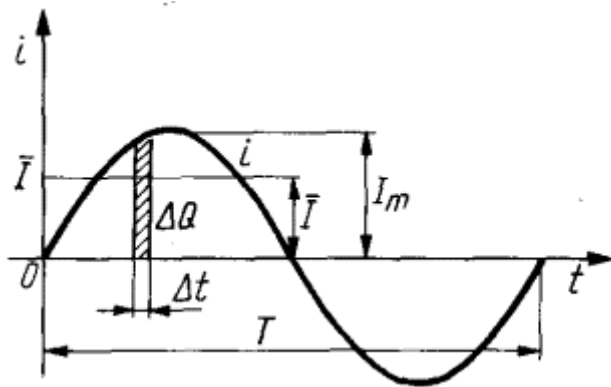
$$Q_o = \sqrt{3}(W_{OA} + W_{BC})$$

7. Wartość skuteczna i wartość średnia prądu sinusoidalnego

Wartością skuteczną prądu sinusoidalnego nazywamy taką wartość prądu stałego, który przepływając przez zmienną rezystancję R , w czasie odpowiadającym okresowi T , spowoduje wydzielanie na tej rezystancji takiej samej ilości energii cieplnej, co prąd sinusoidalny w tym samym czasie.

Niezależnie od tego, czy wartość chwilowa prądu i jest dodatnia czy też ujemna, energia jako proporcjonalna do kwadratu wartości chwilowej prądu, jest zawsze dodatnia, ale w kolejnych takich samych przedziałach czasu Δt wartość energii zmienia się. Energia całkowita wydzielona na rezystancji R w czasie jednego okresu T jest sumą energii obliczonych dla wszystkich przedziałów czasu Δt , na które został podzielony okres T .

Strona
| 10



Wartość skuteczna prądu sinusoidalnego jest równa amplitudzie prądu podzielonej przez $\sqrt{2}$.

Wartością średnią półokresową prądu sinusoidalnego o okresie T nazywamy średnią arytmetyczną tego prądu obliczoną za połowę okresu, w którym przebieg jest dodatni.

Rys. 2. Ilustracja pojęcia wartości średniej prądu sinusoidalnego

Pojęcie wartości średniej prądu sinusoidalnego (rys. 2) opiera się na równoważności ładunku. Wartość średnia półokresowa prądu zmiennego jest to taka wartość prądu

stałego, którego przepływ przez przekrój poprzeczny przewodnika w czasie $T/2$ spowoduje przesunięcie takiego ładunku elektrycznego, jaki byłby przesunięty podczas przepływu prądu zmiennego w tym samym czasie.

Wartość średnią przebiegów okresowo zmiennych można zdefiniować również dla całego okresu. Jest to tzw. **wartość średnia całookresowa**.

Jeżeli prąd zmienny ma w drugiej połowie okresu przebieg o tym samym kształcie, co w pierwszej połowie okresu, tylko znak przeciwny, to pole powierzchni ograniczonej przebiegiem krzywej w pierwszej połowie okresu jest równe polu powierzchni ograniczonej przebiegiem krzywej w drugiej połowie okresu z przeciwnym znakiem. Wobec tego wartość średnia całookresowa takich przebiegów jest równa zero.

Przebiegi, których wartość średnia całookresowa jest równa zero, nazywamy **przebiegami przemiennymi**.

Do opisu napięć stosujemy następujące zależności, które nazywamy **wzamiernymi**:

- wartość skuteczna

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [u(t)]^2 dt}$$

- wartość średnia

$$\bar{u}(t) = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt$$

- wartość średnia wyprostowana

$$\bar{U} = \frac{1}{T} \int_0^T |u(t)| dt$$

Do opisu napięć i prądów stosowane są pojęcia:

- współczynnik kształtu i szczytu

$$k_k = \frac{U}{\bar{U}} \quad k_k \geq 1 \quad \begin{cases} 1 & \text{dla } = \\ > 1 & \text{dla } \sim \end{cases}$$

$$k_{sz} = \frac{U_m}{U} \quad k_{sz} \geq 1 \quad \begin{cases} 1 & \text{dla } = \\ > 1 & \text{dla } \sim \end{cases}$$

Jeżeli przebieg napięcia zawiera wyższe harmoniczne zapisujemy je w postaci:

$$u(t) = \bar{u}(t) + \sum_{k=1}^{\infty} U_{mk} \sin(\omega t + \psi_k)$$

U_{mk} - amplituda kolejnych harmonicznych

k-kata harmoniczna

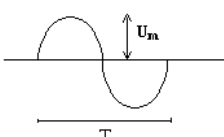
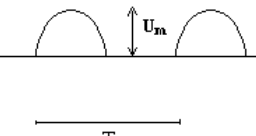
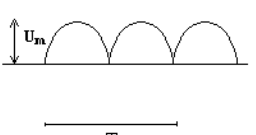
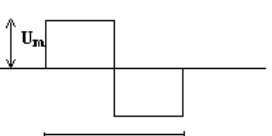
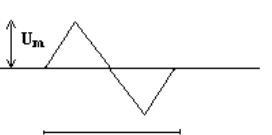
ψ_k -kata faza harmonicznej

Wartość skuteczna tego napięcia jest opisana danym wzorem:

$$U = \sqrt{\int_0^T [u(t)]^2 dt + \sum_{k=1}^{\infty} U_k^2} \quad U_k - \text{wartość skuteczna danej harmonicznej}$$

Do opisu napięcia i prądu stosowany jest jeszcze współczynnik odkształcenia

$$k_{od} = \frac{U_1}{U} \quad h_1 = \frac{\sqrt{\sum_{k=1}^{\infty} U_k^2}}{U_1} \quad h_{\%} = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} U_k^2}}{U_1} \cdot 100$$

Rodzaj przebiegu	Wykres przebiegu	Wartość średnia	Wartość średnia wyprostowana	Skuteczna U
sinusoidalny		0	$\frac{2}{\pi} U_m$ $k_k = \frac{\pi}{2\sqrt{2}}$	$\frac{1}{\sqrt{2}} U_m$ $k_s = \frac{1}{1/\sqrt{2}} = \sqrt{2}$
sinusoidalny wyprostowany jednopołówkowy		$\frac{1}{\pi} U_m$	$\frac{1}{\pi} U_m$ $k_k = \frac{\pi}{2}$	$\frac{U_m}{2}$ $k_s = \frac{1}{1/2} = 2$
sinusoidalny wyprostowany dwupołówkowy		$\frac{2}{\pi} U_m$	$\frac{2}{\pi} U_m$ $k_k = \frac{\pi}{2\sqrt{2}}$	$\frac{1}{\sqrt{2}} U_m$ $k_s = \frac{1}{1/\sqrt{2}} = \sqrt{2}$
prostokątny		0	U_m $k_k = 1$	U_m $k_s = 1$
trójkątny		0	$\frac{U_m}{2}$ $k_k = \frac{2}{\sqrt{3}}$	$\frac{1}{\sqrt{3}} U_m$ $k_s = \frac{1}{1/\sqrt{3}} = \sqrt{3}$

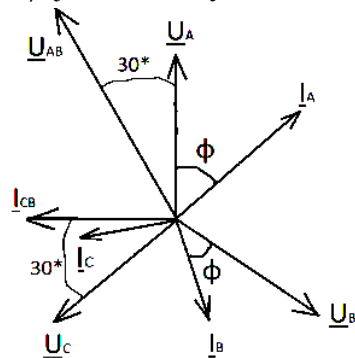
8. Układ Arona.

A) Wymagania układu

- układ pomiarowy możemy stosować tylko w sieci 3-przewodowej
- źródło zasilania i odbiornik mogą być symetryczne lub niesymetryczne

B) Ograniczenia metrologiczne

- nie stosować dla małych wartości $\cos \varphi < 0,5$ czyli $\varphi > 60^\circ$ (ze względu na duże wartości błędu pomiaru mocy)
- wyznaczenie $\cos \varphi$ ma sens tylko gdy układ jest symetryczny (odbiornik i zasilanie)
- wyznaczony wówczas $\cos \varphi$ jest tak zwanym równoważnym współczynnikiem mocy (nie ma napięć fazowych)

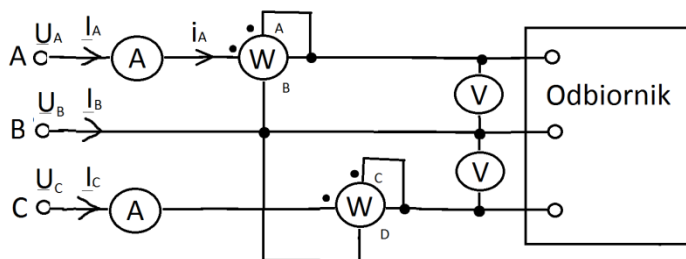


Jesli $U_A = U_B = U_C$

i $I_A = I_B = I_C$ wówczas

odbiornik ma charakter

indukcyjny



$$\begin{aligned}
 P &= u_A \cdot i_A + u_B \cdot i_B + u_C \cdot i_C \\
 u_A + u_B + u_C &= 0 \\
 i_A + i_B + i_C &= 0 \\
 i_B &= -(i_A + i_C) \\
 P &= (u_A - u_B) \cdot i_A + (u_C - u_B) \cdot i_C \\
 P &= u_{AB} \cdot i_A + u_{CB} \cdot i_C
 \end{aligned}$$

Z powyższego równania wynika sposób połączenia cewek napięciowych watomierza.

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{1}{T} \int_0^T u_{AB} \cdot i_A dt + \frac{1}{T} \int_0^T u_{CB} \cdot i_C dt = \\
 P &= U_{AB} \cdot I_A \cos(\angle U_{AB}, I_A) + U_{CB} \cdot I_C \cos(\angle U_{CB}, I_C) \\
 &= c_{wA} \cdot \alpha_A + c_{wB} \cdot \alpha_B = P_A + P_B
 \end{aligned}$$

$$P_O = P - P_{uW}^{(AB)} - P_V^{(AB)} - P_{uW}^{(CB)} - P_V^{(CB)}$$

Dla układu symetrycznego otrzymujemy:

$$P = U_{AB} \cdot I_A \cdot \cos(\angle U_{AB}, I) + U_{CB} \cdot I_C \cdot \cos(\angle U_{CB}, I) = U_{AB} \cdot I_A \cdot \cos(30^\circ + \varphi) + U_{CB} \cdot I_C \cdot \cos(30^\circ - \varphi)$$

$$U_A = U_B = U_C \quad \text{oraz} \quad I_A = I_B = I_C$$

$$P = U \cdot I \cdot [\cos(30^\circ + \varphi) + \cos(30^\circ - \varphi)] \quad \cos(30^\circ + \varphi) + \cos(30^\circ - \varphi) = 2 \cdot \cos \frac{\alpha + \beta}{2} \cdot \cos \frac{\alpha - \beta}{2}$$

$$P = U \cdot I \cdot 2 \cdot \cos 30^\circ \cdot \cos \varphi = \sqrt{2} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

$$P = c_{WA} \cdot \alpha_A + c_{WC} \cdot \alpha_C$$

Równoważny współczynnik mocy – współczynnik mocy wyznaczamy by można było go porównać z współczynnikiem w układzie 4-przewodowym. W układzie tym fizycznie nie występuje współczynnik mocy, ponieważ nie ma napięć fazowych.

Jeżeli chcemy poprawnie zmierzyć moc to musimy uwzględnić moc traconą w obwodach napięciowych watomierzy i woltomierzy:

$$P_p = U_{AB}^2 \left(\frac{1}{R_{uW}} + \frac{1}{R_V} \right) + U_{CB}^2 \left(\frac{1}{R_{uW}} + \frac{1}{R_V} \right)$$

Jeżeli układ jest symetryczny to:

$$P_p = 2 \cdot U^2 \left(\frac{1}{R_{uW}} + \frac{1}{R_V} \right)$$

Zatem wynik pomiaru mocy jest równy:

$$P_O = P - P_p \pm \Delta P$$

9. Wyprowadzić wzór na odchylenie wskazówki miernika elektromagnetycznego i wskaż sposób na zwiększenie zakresu miernika. Jaką mierzy wartość?

MOMENT NAPĘDOWY

$$M_N = \frac{dA}{d\alpha} = \frac{1}{2} I^2 \frac{dL}{d\alpha}$$

Moment napędowy jest wywołany przez siłę związaną z prądem i indukcją pola magnetycznego zwojów. Siła ta działa na obydwa boki cewki, powstaje więc moment napędowy ustroju pomiarowego $M = F \cdot a$. Przy czym "a" oznacza szerokość cewki.

Moment napędowy jest proporcjonalny do przyrostu energii magnetycznej

miernika przy obrocie organu ruchomego o kąt α . Miernik elektromagnetyczny mierzy wartość skuteczną ponieważ prąd I występuje w kwadracie

$$M_Z = k_Z \cdot \alpha$$

W stanie ustalonym $M_Z = k_Z \cdot \alpha$

$$\alpha = \frac{1}{2k_Z} \cdot I^2 \frac{dL}{d\alpha} \quad \text{ze wzoru tego wynika, że jeżeli:}$$

1. $\frac{dL}{d\alpha} = \text{const}$ - miernik ma podziałkę kwadratową

2. $\frac{dL}{d\alpha} = \frac{1}{I}$ - to miernik ma podziałkę liniową

Amperomierz elektromagnetyczny: Parametry 1mA - 350A kl 0,2-2,5

Rozszerzenie zakresów prądowych uzyskuje się przez zmienną liczbę amperozwojów cewki

$$\alpha = \frac{1}{2k_z} I^2 \frac{dL}{d\alpha} \text{ - korzystamy z zależności, że indukcyjność } L \text{ jest równa } L = L^* \cdot z^2$$

$$L^* = \frac{\text{indukcyjność}}{(1\text{zwoj})^2} \quad z\text{-liczba zwojów}$$

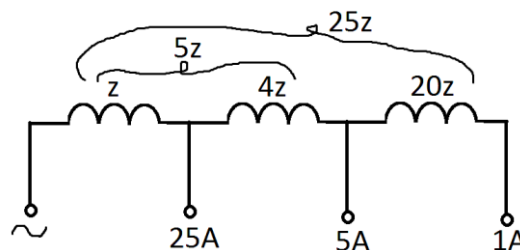
$$dL = z^2 dL^*$$

Wstawiając do równania wzory:

$$\alpha = \frac{1}{2k_z} I^2 \frac{z^2 dL^*}{dL} = \frac{1}{2k_z} (I_z)^2 \frac{dL^*}{dL}$$

Odchylenie przyrządu jest proporcjonalne do kwadratu amperozwoi (przepływu)

Wynika stąd, że mierniki elektromagnetyczne mają konstrukcje:

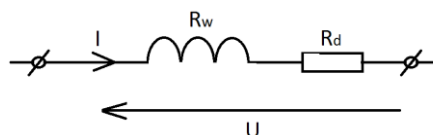


UWAGA: Do rozszerzania obszaru granicznego prądu nie stosujemy boczników.

Woltomierze elektromagnetyczne – są budowane na napięcia od 15V- 600V

kl=0,2-2,5

Konstrukcja miernika



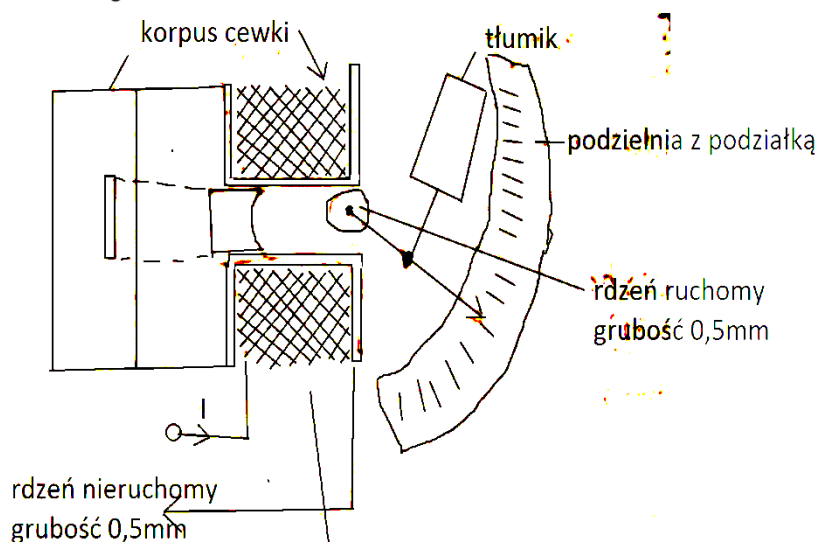
W układzie woltomierza stosowany jest bardzo czuły

$$I = \frac{U}{R_w + R_d}$$

$$\alpha = \frac{1}{2k_z} I^2 \frac{dL}{d\alpha}$$

$$\alpha = \frac{1}{2k_z (R_w + R_d)^2} U^2 \frac{dL}{d\alpha} = c U^2 \frac{dL}{d\alpha}$$

Zmienne zakresów przyrządów uzyskujemy:



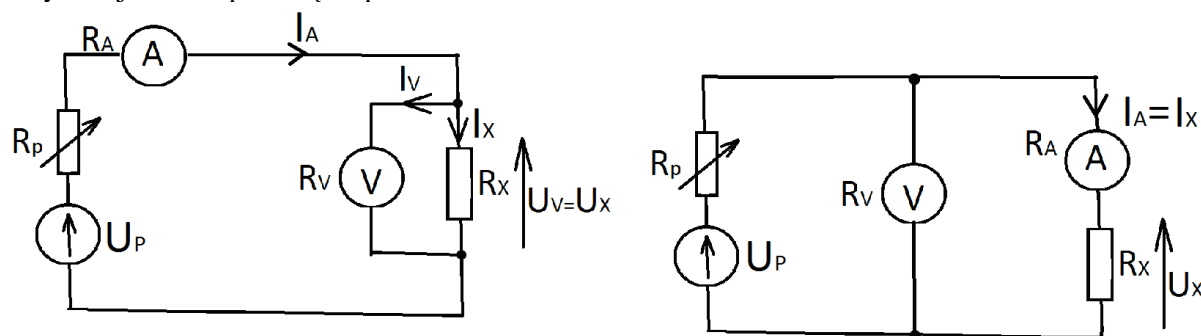
1. dobierając odpowiednią wartość rezystora R_d

2. stosując sekcjonowaną cewkę

3. łącząc te środki

10. Układ poprawnego mierzenia napięcia i prądu.

Zastosowanie mierników magnetoelektrycznych w pomiarach pośrednich. Typowym przykładem jest pomiar rezystancji R_x za pomocą amperomierza i woltomierza.



R_p – rezystor pomocniczy

W obu przypadkach w związku ze skończoną wartością rezystancji mierników jeden z mierników nie mierzy poprawnie wartości w obwodzie. Jeżeli R_x wyznaczamy ze wzoru (czyli korzystamy z U_V i I_A) to popełniamy błąd zwany błędem metody (związany z poborem mocy).

Metoda techniczna (pośrednia), zwana też metodą woltomierza i amperomierza, może służyć do pomiaru rezystancji. Pomiar ten realizujemy w 2 układach

W obu przypadkach w związku ze skończoną wartością rezystancji mierników jeden z mierników nie mierzy

poprawnie ($R_A \neq 0$, $R_V < \infty$). Jeżeli wyznaczamy ze wskazań amperomierza i woltomierza $R_{MX} = \frac{U_V}{I_A}$ to popełniamy błąd systematyczny zwany błędem metody

Poprawne wartości mierzonych rezystancji określają wzory

$R_{xp} = \frac{U_V}{I_X} = \frac{U_V}{I_A - I_V}$	$R_{XM} = \frac{U_V}{I_A}$	$R_{xp} = \frac{U_V}{I_X} = \frac{U_V}{I_A - I_V}$
Jeżeli uwzględnić powyższe zależności to popełniamy błąd metody		

$$\begin{aligned}\delta R_{XM} &= \frac{R_{XM} - R_{Xp}}{R_{Xp}} = \frac{\frac{U_V}{I_A} - \frac{U_V}{I_A - I_V}}{\frac{U_V}{I_A - I_V}} = \\ &= \frac{I_A - I_V}{I_A} - 1 = -\frac{I_V}{I_A} \\ \delta R_{XM} &= -\frac{I_V}{I_A} = -\frac{\frac{U_V}{R_V}}{\frac{U_V}{I_V + I_X}} = -\frac{1}{\frac{R_V}{I_V + I_X}} = \\ &= -\frac{1}{\frac{R_V}{\frac{U_V}{I_V + I_X}}} = -\frac{1}{\frac{R_V}{I_V + I_X}} = -\frac{R_{Xp}}{R_V + R_{Xp}}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\delta R_{XM} &= \frac{R_{XM} - R_{Xp}}{R_{Xp}} = \frac{\frac{U_V}{I_A} - \frac{U_V - U_A}{I_A}}{\frac{U_V - U_A}{I_A}} = \\ \delta R_{XM} &= \frac{U_A}{U_V - U_A} = \frac{\frac{I_A}{I_A}}{\frac{U_V - U_A}{I_A}} = \frac{R_A}{I_A} \\ \delta R_{XM} &= \frac{R_A}{R_{Xp}}\end{aligned}$$

Pomiary należy przeprowadzić w układzie, w którym wartości błędów pomijalnie małe lub jeśli jest to niemożliwe, to są najmniejsze. Ale wówczas musimy uwzględnić poprawkę (błąd metody z przeciwnym znakiem).

$$|\delta R_{XM}^U| = |\delta R_{XM}^I|$$

$$\frac{R_{Xp}}{R_V + R_{Xp}} = \frac{R_A}{R_{Xp}}$$

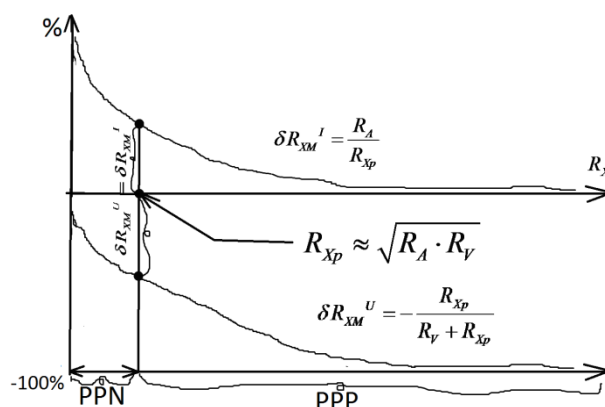
$$R_{Xp}^2 - R_A R_{Xp} - R_A R_V = 0$$

$$R_{Xp} = \frac{R_A}{2} + \sqrt{\frac{R_A^2}{4} + R_A R_V}, \quad R_V \ll R_A$$

$$R_{Xp} \approx \sqrt{R_A R_V}$$

$$0 < R_{Xp} \leq \sqrt{R_A R_V} \Rightarrow U$$

$$R_{Xp} \geq \sqrt{R_A R_V} \Rightarrow I$$

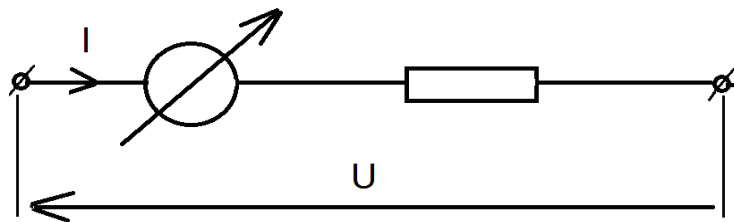


11. Zasada rozszerzenia zakresu pomiarowego woltomierzy i amperomierzy magnetoelektrycznych.

POMIAR NAPIĘCIA: pomiary te są realizowane w układach

$$R_m = R_{Mn} + R_{CU}$$

$$I_m = \frac{U}{R_m + R_d}$$



$$I_m = \frac{U}{R_m + R_d}$$

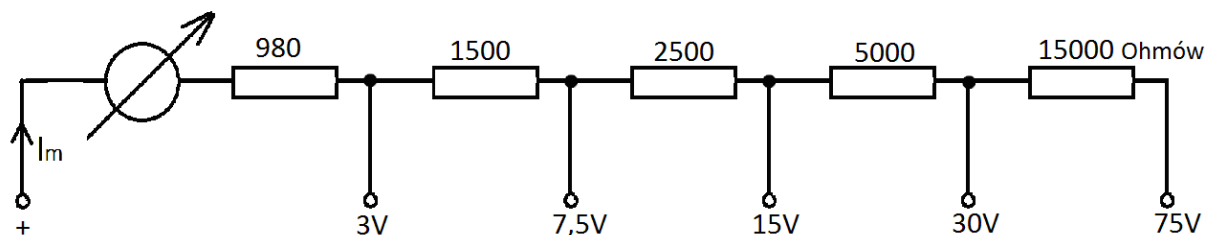
$$U = I_m \cdot (R_m + R_d) = I_m \cdot U_u$$

$$U_u = R_m + R_d$$

$$U = I_m (R_m + R_d) = I_m U_u \quad \text{--- dzielnik napięcia}$$

$$U_u = R_m + R_d$$

Wielozakresowy miernik napięcia:



$$I_{m_n} = 3mA$$

$$R_{m_n} = 20\Omega$$

$$\alpha_n = 150dz$$

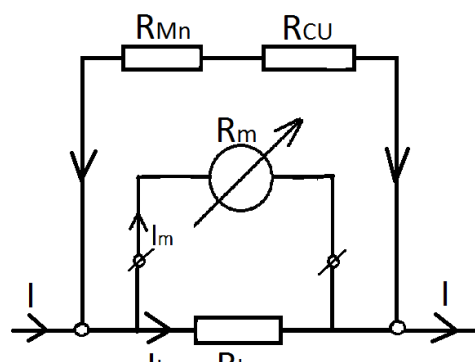
$$\frac{R_v}{U_v} = \frac{1000\Omega}{3V} = 333 \frac{\Omega}{V}$$

STAŁA PRZYRZĄDU MIERNIKA

Dla A $C_A = \frac{I_n}{\alpha_n}$; $I_A = C_A \cdot \alpha_A = \frac{I_n}{\alpha_n} \cdot \alpha_A$

Dla V $C_V = \frac{U_n}{\alpha_n}$; $U_V = C_V \cdot \alpha_V = \frac{U_n}{\alpha_n} \cdot \alpha_V$

POMIAR PRĄDU: Miernik ma delikatne sprężynki i cienki drut zwojów cewki i stąd nie mierzymy większych prądów niż kilka miliamperów (mA). Zastosowanie odpowiednio wywzorcowanego rezystora zwanego bocznikiem umożliwia mierzenie prądu o dużej wartości



R_{Mn} - rezystor wykonany z Manganinu

$$R_m = R_{Mn} + R_{Cu}$$

$$I = I_m + I_b$$

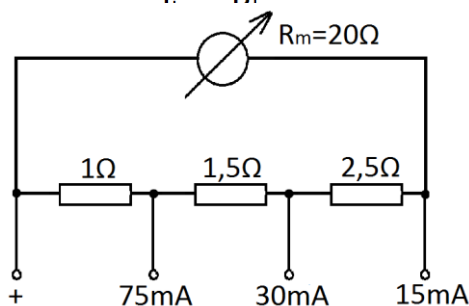
$$I_b \cdot R_b = I_m \cdot R_m$$

$$I = I_m \left(1 + \frac{R_m}{R_b}\right) = I_m U_I$$

$$U_I = 1 + \frac{R_m}{R_b}$$

$$I = \frac{U}{R}$$

Stała bocznika



Budowane są mierniki z bocznikiem wielozakresowym

$$R_m = 20\Omega$$

$$I_{m_n} = 30mA$$

$$\alpha_n = 150dz$$

Błąd pomiaru, gdy do A jest dołączony bocznik

$$\delta I = \delta I_A + \delta I_b = kl_A \cdot \frac{\alpha_n}{\alpha} + kl_B$$

Gdy w bocznik wbudowany jest A ,wówczas parametry bocznika uwzględniane są w klasie A

Aby zwiększyć zakres woltomierza należy dodać do niego szeregowo dołączony rezystor (posobnik)

POMIAR PRĄDU: Miernik ma delikatne sprężynki i cienki drut zwojów cewki i stąd nie mierzymy większych prądów niż kilka miliamperów (mA)

Aby zwiększyć zakres amperomierza należy dodać do niego równolegle rezystor zwany bocznikiem stworzony z manganianu, z materiałów oporowych o dużej rezystancji. Zastosowanie bocznika umożliwia przepływ b. dużych prądów

12. Klasyfikacja błędów

Błędy pomiarów dzielimy na:

- systematyczne
- przypadkowe

Błędy systematyczne:

podczas wykonywania pomiarów w tych samych warunkach, pozostają stałe zarówno co do wartości bezwzględnej, jak i co do znaku lub błędy zmieniające swoje wartości według określonego prawa wraz ze zmianą warunków pomiarów (Model deterministyczny). Gdy znamy wartości i znak składowej błędu to błąd minimalizujemy za pomocą poprawek.

Ze względu na przyczyny powodujące błędy systematyczne dzielimy na:

1. Podstawowe: występują gdy narzędzia są stosowane w warunkach określonych przez normy
W warunkach znamionowych
2. Dodatkowe: występują gdy narzędzia są stosowane w warunkach różnych od znamionowych (np: błąd temperatury, częstotliwości). Wywołany obcymi polami magnetycznymi i elektrycznymi.
3. Metody: Są spowodowane energią pobieraną przez zastosowanie narzędzi pomiarowych

Błędy przypadkowe:

zmieniają się w sposób nieprzewidywalny, jak co do wartości i znaku, podczas wykonywania dużej liczby pomiarów tej samej wartości pewnej wielkości w warunkach praktycznie niezmiennych (model losowy)

Przyczynami tych błędów są

1. niedokładność zmysłu obserwatora
2. rozrzut wskazań przyrządów pomiarowych, powodowany niestałością ich parametrów
3. krótkotrwałe zmiany wielkości wpływowych.

OMYŁKI:

Występują w wynikach pomiarów znacznie odbiegających od innych wyników tej samej serii: przyczynami omyłek są:

1. nieprzewidywalny odczyt
2. błędny zapis wyniku pomiaru
3. zastosowanie niewłaściwego przyrządu
4. awari przyrządu.

Bezwzględny i względny błąd pomiaru:

Bezwzględny błąd pomiaru:

$$\Delta x = x - v$$

x - wartość zmierzona

v - wartość rzeczywista

Wartość rzeczywista jest nieznana w związku z tym zastępujemy względnie dokładnym przybliżeniem, wartością poprawną x_p

$$\Delta x = x - x_p$$

Błąd Δx z przeciwnym znakiem to poprawka.

Jeżeli poprawkę dodajemy do wartości mierzonej to otrzymamy wynik pomiaru.

$$x_p = x - \Delta x$$

Błąd względny

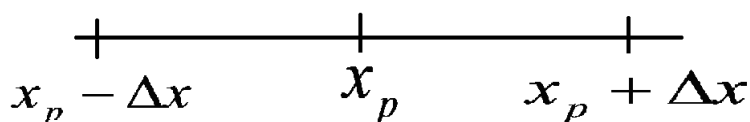
$$\delta x = \frac{\Delta x}{v} = \frac{x - v}{v}$$

Błąd względny umożliwia porównanie

właściwości metrologiczne o różnych zakresach.

$$\delta x = \frac{\Delta x}{\Delta p} = \frac{x - x_p}{x_p}$$

Błąd graniczny(?): jest równy połowie szerokości przedziału jaki można ustalić wokół wartości oczekiwanej, w której mieści się wartość poprawna:



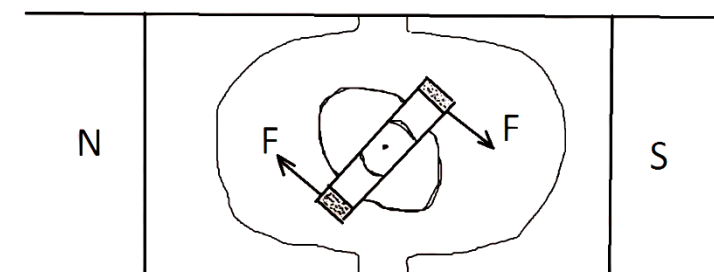
$$\Delta_g x \geq |\pm \Delta x|$$

$$\delta_g x = \frac{\Delta_g x}{x_p} \cdot 100\%$$

13. Podaj układy, udokumentuj wzorami, że miernikiem magnetoelektrycznym można mierzyć wartość średnią, chwilową i skuteczną.

Mierniki magnetoelektryczne są to mierniki, w których odchylenie organu ruchowego jest wywołane działaniem pola magnetycznego magnesu trwałego na cewkę, przez którą płynie prąd. Ruchomy może być magnes trwały albo cewka z prądem

Schemat konstrukcji o ruchomej cewce



Cewka może obracać się wokół swojej osi. Jeżeli przez uzwojenie płynie prąd stały, to na każdy jej pole działa siła F

$$F = BILz$$

Siły działające na obydwa boki cewki wytwarzają moment napędowy.

$$M_n = 2F \frac{d}{2} = BLzd = k_n I; \quad k_n = BLzd \text{ (stała momentu napędowego)}$$

Sprężyny lub taśmy, przez które jest doprowadzany prąd do cewki wytwarzają moment zwrotny zależny od kąta α odchylenia

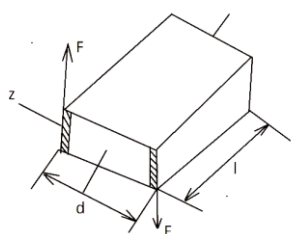
$$M_n = k_z \cdot \alpha \quad k_z \text{ - stała momentu zwrotnego}$$

Położenie ustalone organu ruchomego, występujące przy równości momentów jest określone zależnością:

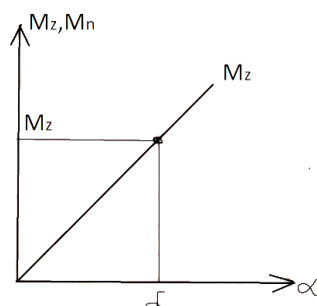
$$M_n = M_z$$

Czyli $\alpha = \frac{k_n}{k_z} I$ (wchylenie α organu ruchomego jest wprost proporcjonalne do prądu I, czyli miernik mierzy wartość średnią)

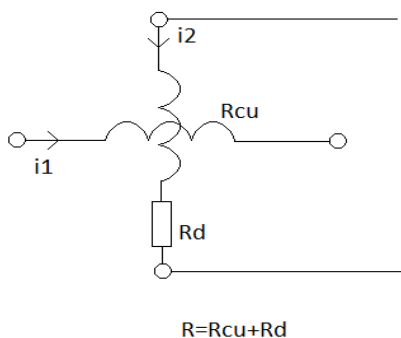
14.



niernik elektrodynam



zynną.



U, u1

Miernik ten umożliwia mnożenie prądu. Prąd odbiornika płynie przez cewkę nieruchomą, natomiast napięcie odbiornika przekazywane jest na cewkę ruchomą do której dołączony jest rezystor R_d .

$$\text{Wartość chwilowa momentu napędowego: } m_n = i_1 \cdot i_2 \cdot \frac{dM_{12}}{d\alpha}$$

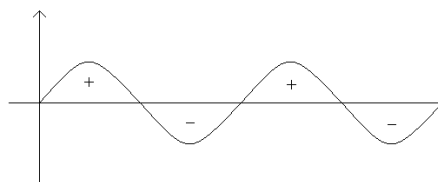
Przyjmujemy, iż prądy i_1 oraz i_2 mają przebiegi sinusoidalne;

$$i_1 = I_m \sin[\omega t + \varphi(U, I)]$$

$$i_2 = \frac{U}{R} = \frac{1}{R} \cdot U_m \sin \omega t$$

;Wówczas:

$$\begin{aligned} \bar{M}_n &= \frac{1}{T} \int_0^T m_n dt = \frac{1}{T} \int_0^T i_1 i_2 \frac{dM_{12}}{d\alpha} dt = \frac{1}{T} \int_0^T \frac{U_m}{R} \sin \omega t I_m \sin[\omega t + \varphi(U, I)] \frac{dM_{12}}{d\alpha} dt \\ &= \frac{1}{T} \frac{U_m I_m}{R} \frac{dM_{12}}{d\alpha} \int_0^T \sin \omega t \sin[\omega t + \varphi(U, I)] dt = \frac{1}{T} \frac{2UI}{R} \frac{dM_{12}}{d\alpha} \int_0^T \frac{1}{2} [\cos \varphi(U, I) - \cos[2\omega t + \varphi(U, I)]] dt \\ &= \frac{1}{TR} UI \frac{dM_{12}}{d\alpha} \left(\underbrace{\int_0^T \cos \varphi(U, I) dt}_{T \cos \varphi(U, I)} + \underbrace{\int_0^T \cos[2\omega t + \varphi(U, I)] dt}_{\text{przebieg}=0} \right) \\ \bar{M}_n &= \frac{1}{R} \frac{dM_{12}}{d\alpha} UI \cos \varphi(U, I) \end{aligned}$$



, zatem:

$$\cos \varphi(U, I) = \cos \varphi; \quad \bar{M}_n = M_z$$

$$\alpha = \frac{1}{k_z} \frac{1}{R} \frac{dM_{12}}{d\alpha} UI \cos \varphi$$

$$P = kR \frac{d\alpha}{dM_{12}} \cdot \alpha \text{ co wynika, że: } P = c_w \cdot \alpha_w$$

$$c_w = kR \frac{d\alpha}{dM_{12}} - \text{stała woltomierza konstruktora}$$

$$c_w = \frac{U_n I_n}{\alpha_n} - \text{stała dla studenta}$$

PRZYRZĄD FERRODYNAMICZNY:

Ma podobną konstrukcję jak mierniki elektrodynamiczne, przy czym przestrzeń pomiędzy cewkami jest wypełniona materiałem ferromagnetycznym. Pobierają znacznie mniejszą moc, mają gorsze parametry aniżeli przyrządy elektrodynamiczne.

WOLTOMIERZ ELEKTROSTATYCZNY:

Z def. mierzy napięcie. Składa się z elektrod ruchomych i nieruchomych. Pod wpływem sił pola elektrycznego, elektrody przyciągają się. Siła przyciągania zależy od wartości przyłożonego napięcia.

$$\text{- energia elektryczna: } A_E = \frac{1}{2} U^2 C$$

$$\text{- energia mechaniczna: } A_M = M_n \cdot \alpha$$

$$\text{- } \alpha = \frac{1}{2k_z} U^2 \frac{dC}{d\alpha}$$

Mierniki te pobierają bardzo małą moc rzędu mV; mVA od 10^{-4} V – elektrometry, do 10^6 V – woltomierze WN. Umożliwiają pomiary napięć stałych i sygnałów wielkiej częstotliwości.

15. Wpływ temperatury na pomiary (definicja z notatek i z książki)

wskazania miernika magnetoelektrycznego:

$$M_n = B l z d I = K n I \quad M_z = k_z \alpha$$

wzrost temperatury otoczenia o +10K wpływa następująco na poszczególne wielkości:

- strumień
- indukcja, stała k_n - 0,2%/+10K
- sprężystość sprężynek, stała k_z -0,4%/+10K
- rezystancja uzwojenia cewki (Cu) +0,4%/ +10K

Korzystając ze wzoru:

$$\alpha = \frac{k_n}{k_z} I$$

zakładamy, że nasz miernik jest dołączony do źródła o napięciu $U = \text{const}$, a rezystancja cewki wynosi R_{cu}

$$\alpha = \frac{k_n}{k_z} \frac{U}{R_{cu}}$$

$$\alpha(1 + \delta\alpha) = \frac{k_n(1 + \delta k_n)}{k_z(1 + \delta k_z)} \cdot \frac{U}{R_{cu}(1 + \delta R_{cu})}$$

dziele stronami

$$1 + \delta\alpha = \frac{1 + \delta k_n}{1 + \delta k_z} \cdot \frac{U}{1 + \delta R_{cu}}$$

jeżeli

$$\delta\alpha, \delta R_{cu} \ll 1 \quad \text{to}$$

$$1 + \delta\alpha \approx (1 + \delta k_n)(1 - \delta k_z)(1 - \delta R_{cu}) \quad \text{stąd}$$

costam pomijamy

$$\delta\alpha \approx \delta k_n - \delta k_z - \delta R_{cu} / \Delta T$$

$$\frac{\delta\alpha}{\Delta T} \approx \frac{\delta k_n - \delta k_z - \delta R_{cu}}{\Delta T}$$

$$\frac{\delta\alpha}{\Delta T} \approx \frac{\delta k_n - \delta k_z - \delta R_{cu}}{\Delta T}$$

$$\frac{\delta\alpha}{\Delta T} \approx \frac{-0,2 - (-0,4) - (+4,0)}{10}$$

$$\frac{\delta\alpha}{\Delta T} \approx -\frac{3,8\%}{10K}$$

Zatem wskazania miernika maleją o 3,8% wraz ze wzrostem temp o 10K.

Maleniu wartości wskazań zapobiega się przez dołączenie rezystora wykonanego z manganinu.

$$\frac{\delta\alpha}{\Delta T} \approx \frac{\delta k_n - \delta k_z}{\Delta T}$$

$$\frac{\delta\alpha}{\Delta T} \approx \frac{-0,2 - (-0,4)}{10} = +\frac{0,2\%}{10K}$$

Wpływ temperatury na wskaźniki magnetoelektryczne

- przyrost temperatury o 10K powoduje zmiany następujących wielkości:

- zmniejszenie indukcji B(strumienia), stałej k_n -0,2%/10K

- zmniejszenie sprężystości sprężynek, stałej k_z -0,4%/10K

- zwiększenie rezystancji przewodu Cu +4,0%/10K

a) wpływ na amperomierz

$$\text{względne zmiany są równe } \delta\alpha = \delta k_n - \delta k_z + \delta I$$

zakładamy że prąd ma wartość stałą $I = \text{const}$ $\Delta I = 0$, $\delta I = 0$

$$\delta\alpha = \delta k_n - \delta k_z$$

$$\frac{\delta\alpha}{\Delta T} = \frac{\delta k_n - \delta k_z}{\Delta T} = \frac{-0,2 + 0,4}{10} = 0,2\% / 10K$$

miernik mierzy za dużo

b) wpływ na woltomierz

$$\text{korzystając ze wzoru } \alpha = \frac{k_n}{k_z} I \gg \alpha = \frac{k_n}{k_z} \frac{U}{R_{cu}}$$

$$\delta\alpha = \delta k_n - \delta k_z + \delta U - \delta R_{cu}$$

$$\delta\alpha = \delta k_n - \delta k_z - \delta R_{cu}$$

$$\frac{\delta\alpha}{\Delta T} \approx \frac{\delta k_n - \delta k_z - \delta R_{cu}}{\Delta T}$$

$$\frac{\delta\alpha}{\Delta T} \approx \frac{-0,2 - (-0,4) - (+4,0)}{10}$$

$$\frac{\delta\alpha}{\Delta T} \approx -\frac{3,8\%}{10K}$$

mierzy za mało, bardzo duży błąd dodatkowy ponieważ źle dobrano opór dodatkowy

opór dodatkowy należy dobrać z konstantanu manganinu itp. który ma względne zmiany rezystancji wywołane zmianą

$$\text{temperatury } \frac{\Delta j_{\text{akaslitera}}}{R \Delta T} = 10^{-6} = 10^{-4}\% / K \gg 10^{-3}\% / 10K$$

Mierniki elektrodynamiczne:

- temperatura wpływa na moment zwroty miernika

Mierniki magnetoelektryczne z prostownikami:

- zmieniają swoje właściwości w funkcji temperatury

➤ DEFINICJE Z KSIĄŻKI

Amperomierze magnetoelektryczne:

Najczęściej występującym błędem dodatkowym w amperomierzach bezpośrednich jest błąd temperaturowy. Przy zmianie temperatury otoczenia np. przy wzroście o 10°C:

- zwiększa się rezystancja uzwojenia cewki miedzianej o ok. 4%;
- zwiększa się rezystancja sprężyn wykonanych z fosforobrazu o 2%;
- zmniejsza się moment zwracający sprężyn o ok. 0,4%, a więc przy niezmienionej wartości prądu zwiększa się odchylenie organu ruchomego miernika o ok. 0,4% (błąd dodatni);
- zmniejsza się indukcja magnetyczna magnesu trwałego o 0,1% do 0,3%, a więc o tyle procent zmniejsza się odchylenie organu ruchomego (błąd ujemny);

Zmiana rezystancji ustroju nie powoduje powstanie błędu dodatkowego, gdyż prąd w merniku jest wymuszony. Wzrasta jedynie nieznacznie spadek napięcia na mierniku, co nie ma praktycznie żadnego znaczenia. Błędy temperaturowe pochodzące ze zmian momentu wracającego sprężyn i indukcji magnetycznej magnesu częściowo się kompensują, a błąd wypadkowy nie przekracza $(+0,1 \div +0,2)\%/10^\circ\text{C}$. Tak więc amperomierze bezpośrednie mogą być budowane we wszystkich klasach dokładności.

Woltomierze magnetoelektryczne:

Błąd temperaturowy woltomierza oblicza się w podobny sposób jak błąd amperomierza z bocznikiem. Błąd wynikający ze zmiany rezystancji cewki ruchomej jest korygowany za pomocą manganinowego opornika szeregowego.

Amperomierze elektromagnetyczne:

Przy zmianie temperatury otoczenia zmieniają się: rezystancja uzwojenia cewki i stała zwracania sprężyn lub taśm zawieszenia. Jak już wiadomo (p. 6.2.2), zmiana rezystancji cewki nie powoduje błędu dodatkowego. Błąd temperaturowy, wynikający ze zmiany stałej zwracania, jest mniejszy niż analogiczny błąd w amperomierzach magnetoelektrycznych, gdyż moment napędowy miernika elektromagnetycznego zależy od prądu w drugiej potęgze

$$\left(M = \frac{1}{2} \frac{dL}{d\alpha} I^2 \right)$$

i do zrównoważenia zmiany wskazania wystarcza mniejsza zmiana prądu

Woltomierze elektromagnetyczne:

Błąd temperaturowy woltomierza jest wywołany nie tylko zależnością stałej zwracania ustroju od temperatury, lecz także zależnością rezystancji cewki od temperatury. Ze wzrostem temperatury otoczenia powstający błąd ze zmniejszania się stałej zwracania jest dodatni, a błąd wynikający ze wzrostu rezystancji cewki nawiniętej przewodem miedzianym — ujemny. Korekcji błędu wypadkowego dokonuje się przez odpowiedni dobór stosunku rezystancji cewki do rezystancji opornika dodatkowego w sposób podobny jak w woltomierzach magnetoelektrycznych (p. 6.2.3).

Amperomierze i Woltomierze z przetwornikiem termoelektrycznym

Na błąd wskazań amperomierzy istotny wpływ ma zmiana temperatury otoczenia. Zmienia ona temperaturę wolnych końców termooogniwa (a więc i wartość napięcia termoelektrycznego), rezystancję grzejnika, termoelektrod i samego ustroju magnetoelektrycznego.

1.	Sposób rozszerzania zakresu pomiarowego woltomierzy i amperomierzy wszystkich typów.	1
2.	Metoda pomiaru mocy w układach trójprzewodowych.	1
3.	Wyprowadź wzory na moc czynną generatora i odbiornika	2
4.	Pomiar mocy trzema watomierzami.....	4
5.	Dlaczego miernik magnetoelektryczny mierzy wartość skuteczną	5
6.	Pomiar mocy biernej.	7
7.	Wartość skuteczna i wartość średnia prądu sinusoidalnego.....	10
8.	Układ Arona.....	12
9.	Wyprowadzić wzór na odchylenie wskazówki miernika elektromagnetycznego i wskaż sposób na zwiększenie zakresu miernika. Jaką mierzy wartość?	13
10.	Układ poprawnego mierzenia napięcia i prądu.	15
11.	Zasada rozszerzenia zakresu pomiarowego woltomierzy i amperomierzy magnetoelektrycznych.	16
12.	Klasyfikacja błędów.....	18
13.	Podaj układy, udokumentuj wzorami, że miernikiem magnetoelektrycznym można mierzyć wartość średnią, chwilową i skuteczną.	19
14.	Wykazać, że miernik elektrodynamiczny mierzy moc czynną.	20
15.	Wpływ temperatury na pomiary (definicja z notatek i z książki)	21