

# Mierniki wskazówkowe (analogowe)

## Uwagi ogólne:

Mimo popularności i wielu zalet mierników cyfrowych mierniki wskazówkowe wciąż są w powszechnym użyciu. Ich główne zalety to:

- Praca bez zasilania nawet przez wiele lat
- Licznik elektroniczny przy braku zasilania może się zresetować
- Człowiek jest wrażliwy na ruch i położenie, cyfrę musi przetwarzać (podobny efekt jak w przypadku powrotu zegarów wskazówkowych)
- Niska cena i spora niezawodność.

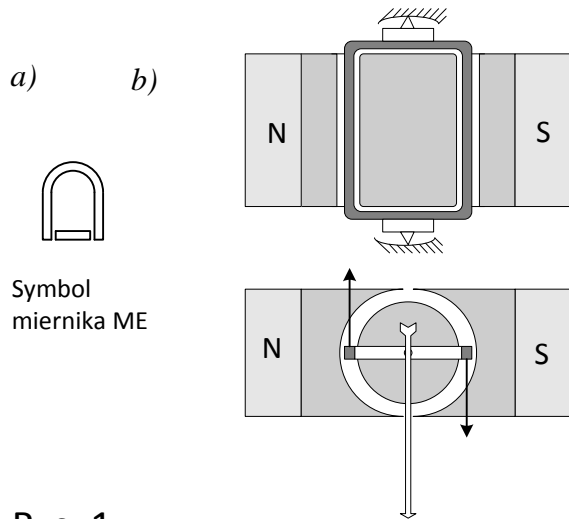
Wady mierników analogowych to:

- Znacznie gorsza dokładność w porównaniu z cyfrowym
- Brak możliwości zdalnego odczytu i przesyłania wyniku pomiaru.

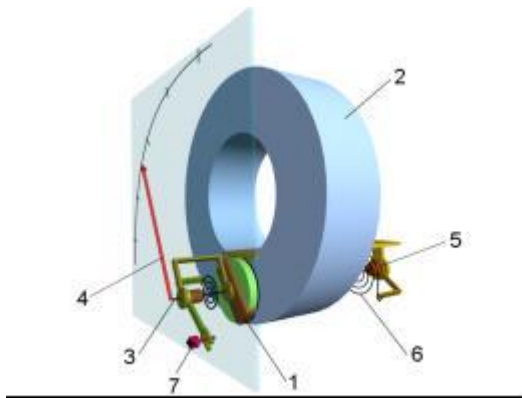
Z wielu mierników analogowych na rynku powstał w zasadzie jeden typ – magnetoelektryczny. Inne (elektromagnetyczny, elektrodynamiczny) są coraz rzadziej stosowane – miernik elektrodynamiczny tylko jako watomierz.

Licznik indukcyjny jest wycofywany z rynku

# Miernik magnetoelektryczny ME



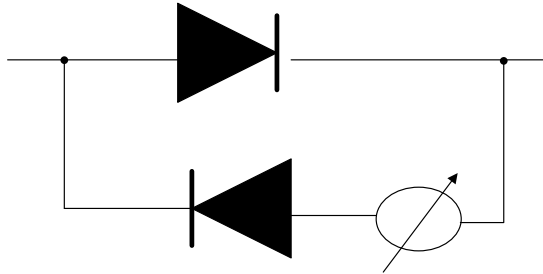
Rys. 1



Rys.2

- Zasada działania
- Na przewód z prądem umieszczony w polu magnetycznym działa siła. Podobnie na cewkę z prądem umieszczonej w polu magnesu działa siła powodująca jej obrót wraz z przymocowaną do niej wskazówką (angielska nazwa miernika – moving coil).
- Prąd do cewki dostarczany jest za pośrednictwem sprężynek (6 – rys.2). Sprężynki te dodatkowo służą do wytwarzania momentu zwrotnego – powrót do zera po wyłączeniu prądu.
- Cewka nawinięta jest na ramce aluminiowej spełniającej także rolę tłumika – indukowane w niej prądy wirowe przeciwdziałają ruchowi cewki.
- Największą zaletą miernika jest jego duża czułość - nawet poniżej mikroampera. Oznacza to możliwość budowy woltomierza o bardzo dużej rezystancji (pobierającego z układu bardzo mały prąd).
- Inną zaletą jest liniowa podziałka ponieważ odchylenie wskazówki opisane jest wzorem:

- Rys. 3 Miernik z prostownikiem



Rys. 4 Symbol miernika z prostownikiem

- Odchylenie alfa zależy od indukcji magnesu  $B$ , liczby zwojów cewki  $z$ , wymiarów cewki  $d, l$ , momentu zwrotnego sprężyn  $k$  oraz prądu  $I$

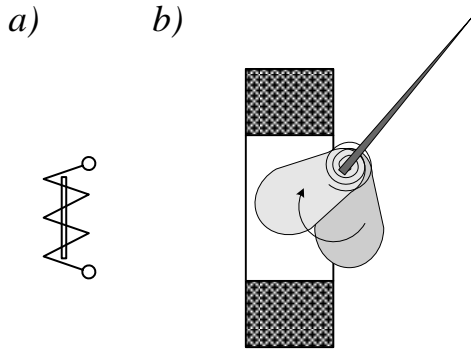
$$\alpha = \frac{Bzdl}{k} \cdot I = c \cdot I$$

Inną zaletą miernika magnetoelektrycznego jest względnie prosta konstrukcja, niska cena i niezawodność.

Istotną wadą miernika ME jest to, że reaguje on tylko na prąd stały. Dawniej obchodzono tę wadę stosując prostownik (rys. 3, 4). Niestety mierniki prostownikowe reagują na wartość średnią prądu a nas interesuje wartość skuteczna. Ten problem rozwiązywano w ten sposób że mierniki skalowano w wartościach skutecznych wiedząc że dla sinusoidy wartość skuteczna/wartość średnia = 1.11. Niestety obowiązuje to tylko dla sinusoidy i przy prądach odkształconych powstaje duży błąd - dla przebiegu trójkątnego 4% a już dla prostokątnego 11%.

# Miernik elektromagnetyczny EM

- Rys. 5. Miernik elektromagnetyczny (a –symbol miernika)



Rys. 6. Wartość skuteczna prądu przemiennego

$$U_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int u^2(t) dt}$$

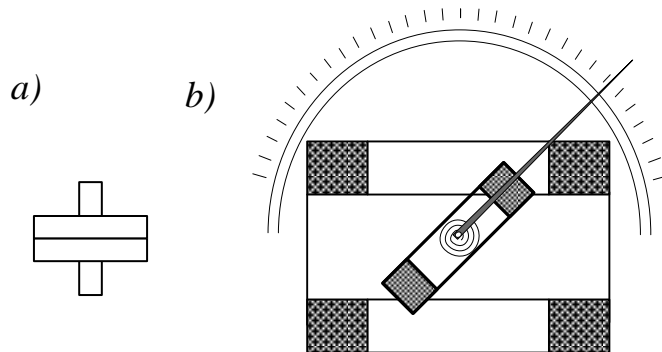
- Zasada działania: miernik działa na zasadzie elektromagnesu – ruchomy element w postaci krążka z materiały ferromagnetycznego magnesuje się polu cewki zasilanej prądem mierzonym. Namagnesowany krążek wciągany jest w pole cewki (lub jest obracany). Stąd nazwa angielska – moving iron.
- Najważniejszą zaletą tego miernika (obok prostoty bo nie wymaga doprowadzania prądu do elementu ruchomego) jest że reaguje on na kwadrat z prądu:

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

- A więc reaguje na wartość skuteczną – *rms* – *root mean square* – rys. 6. Teoretycznie powinien też mierzyć prąd stały ale nie jest do tego celu stosowany ze względu na duży błąd histerezy magnesowania się rdzenia. Wadą miernika EM jest kiepska czułość – miliampery z porównaniu z mikroamperami dla miernika ME.

# Miernik elektrodynamiczny ED

- Rys. 7. Miernik elektrodynamiczny (a – symbol miernika)



•Zasada działania – jeśli przez obie połączone szeregowo cewki (ruchomą i nieruchomą) przepływa prąd to cewka ruchoma jest wypychana z pola cewki stałej (obracana). Miernik działa więc zgodnie z definicją ampera w układzie SI – siła przyciągania między dwoma przewodami z prądem. Jest więc miernik niemal idealny, bo o dużej dokładności. Takie było kiedyś jego główne zastosowanie (mierniki wzorcowe) ale dziś przegrywa z miernikami cyfrowymi.

•Odchylenie cewki ruchomej jest iloczynem prądów w obu cewkach:

$$\alpha = cI_1I_2$$

a więc jeśli połączymy obie cewki szeregowo to to odchylenie będzie równe:

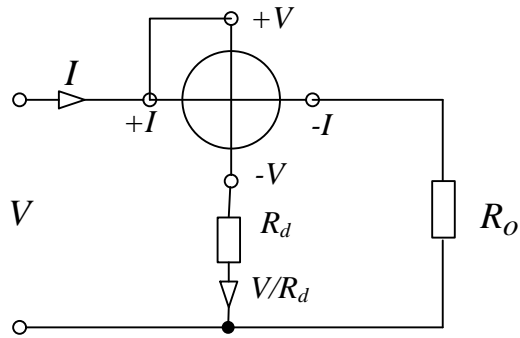
$$\alpha = cI_1I_2 = cI^2$$

Miernik mierzy więc poprawnie zarówno prąd stały jak i przemienny.

Wadą miernika ED jest kiepska czułość - ampery w porównaniu z mikroamperami miernika ME. Dlatego jako amperomierze czy woltomierze nie jest on już stosowany.

# Miernik ED jako watomierz

- Rys. 8. Sposób podłączania watomierza elektrodynamicznego



- Jeśli jedną z cewek miernika elektrodynamicznego podłączymy do napięcia a drugą do prądu to odchylenie wskazówki będzie zależało od:

$$M = c I_1 I_2 \cos \varphi$$

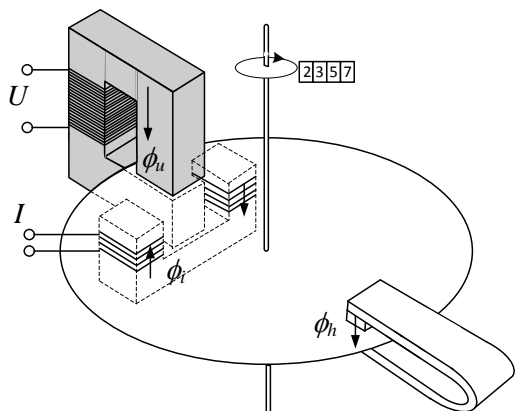
a więc będzie zależeć od mocy:

$$M = c \frac{I}{R_d} I U \cos \varphi = k \cdot P$$

Miernik elektrodynamiczny jest więc powszechnie stosowany jako watomierz . Watomierz ma dwie pary zacisków: prądowe i napięciowe – sposób podłączenia watomierza ilustruje rys.8.

# Licznik indukcyjny

- Rys. 9. Licznik indukcyjny



Rys.10. Licznik energii typu Smarmeter



- Zasada działania: tarcza aluminiowa magnesowana jest przez dwa rdzenie – jeden zasilany napięciem, drugi prądem. Strumienie magnetyczne obu rdzeni indukują w tarczy prądy wirowe (stąd aluminium). Tarcza z prądem wypychana jest więc z pola rdzeni co powoduje jej obrót.

- Prędkość (liczba obrotów w czasie) jest proporcjonalna do mocy:

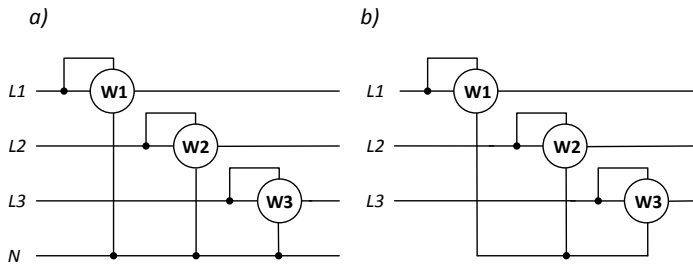
- $$\frac{n}{t} \cong KUI \cos \phi$$

- Jeśli do osi obrotu dołączone będzie liczydło t miernik będzie rejestrował energię elektryczną.,

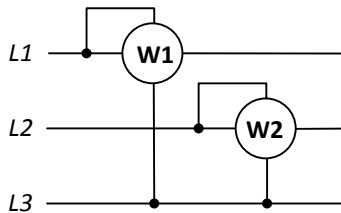
Licznik indukcyjny jest tani i prosty ale jego zasadniczą wadą jest brak możliwości przesyłania wyniku . Dlatego jest on obecnie wycofywany z użycia i zastępowany tzw. *smart meter* – watomierzem elektronicznym wyposażonym w interfejs do przesyłania danych do operatora.

# Pomiar mocy trójfazowej

- Rys. 11. Pomiar mocy trójfazowej (a – układ czteroprzewodowy, b – układ trójprzewodowy)



Rys. 12. Układ Arona



- Podłączając trzy watomierze jak na rys 11 dokonujemy pomiaru mocy trójfazowej zgodnie z wzorem:

$$p = u_1 i_1 + u_2 i_2 + u_3 i_3$$

A więc:

$$P = P_1 + P_2 + P_3$$

Obok tych dwóch podstawowych układów często stosuje się oszczędnościowy układ z dwoma watomierzami zwany układem Arona. Układ Arona stosuje się wyłącznie w sieci trójprzewodowej kiedy jest spełniony warunek

$$i_1 + i_2 + i_3 = 0 \quad \text{a więc} \quad i_3 = -(i_1 + i_2)$$

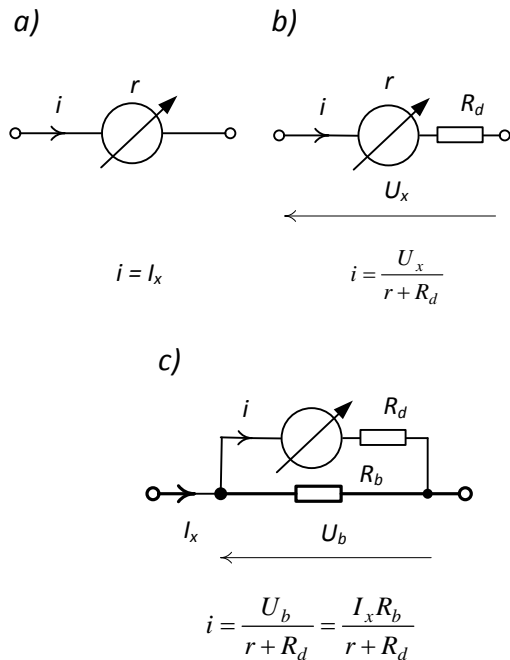
Podstawiając to do powyższego równania otrzymujemy:

$$p = (u_1 - u_3) i_1 + (u_2 - u_3) i_2 = U_{13} I_1 + U_{23} I_2$$



# Jak z przyrządu ME zrobić woltomierz, a jak amperomierz?

- Rys. 13. Miliamperomierz (a), woltomierz (b) i amperomierz (c) magnetoelektryczny
- Amperomierz jest miliwoltomierzem mierzącym spadek napięcia na oporniku zwanym bocznikiem



- Miernik magnetoelektryczny jest z definicji mikro lub miliamperomierzem. Teoretycznie taki przyrząd po podłączeniu do napięcia  $U$  powinien mierzyć też napięcie bo prąd przepływający przez miernik jest równy  $I = \frac{U}{r}$  gdzie  $r$  jest rezystancją cewki.

Niestety rezystancja cewki  $r$  wykonanej z miedzi zmienia się  $4\%/10^\circ\text{C}$ . Y wic dodać dodatkowy opornik zwany opornikiem dodatkowym  $R_d$  wówczas zmiana rezystancji z temperaturą będzie:

$$\delta_T = \frac{\frac{U}{r + R_d} - \frac{U}{r + R_d + \Delta R}}{\frac{U}{r + R_d}} \approx \frac{1}{1 + \frac{R_d}{r}} \frac{\Delta r}{r} = \frac{4\%}{1 + \frac{R_d}{r}}$$

łatwo obliczyć że jeśli  $R_d$  jest 7 razy większe niż  $r$  to zmiana całkowitej rezystancji z temperaturą będzie poniżej  $0.5\%/10^\circ\text{C}$ . Tak więc do konstrukcji miliwoltomierza lub woltomierza konieczne jest dodanie opornika dodatkowego.