



Prawo autorskie

Niniejsze materiały podlegają ochronie zgodnie z **Ustawą o prawie autorskim i prawach pokrewnych** (Dz.U. 1994 nr 24 poz. 83 z późniejszymi zmianami).

Materiał te udostępniam **do celów dydaktycznych** jako materiały pomocnicze do wykładu z przedmiotu Metrologia prowadzonego dla studentów Wydziału Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Lubelskiej. Mogą z nich również korzystać inne osoby zainteresowane metrologią. Do tego celu materiały te można **bez ograniczeń przeglądać, drukować i kopiować wyłącznie w całości**.

Wykorzystywanie tych materiałów bez zgody autora w inny sposób i do innych celów niż te, do których zostały udostępnione, **jest zabronione**.

W szczególności **niedopuszczalne jest**: usuwanie nazwiska autora, edytowanie treści, kopiowanie fragmentów i wykorzystywanie w całości lub w części do własnych publikacji.

Eligiusz Pawłowski

Uwagi dydaktyczne

Niniejsza prezentacja stanowi **tylko i wyłącznie materiały pomocnicze** do wykładu z przedmiotu Metrologia prowadzonego dla studentów Wydziału Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Lubelskiej. Udostępnienie studentom tej prezentacji nie zwalnia ich z konieczności sporządzania **własnych notatek z wykładów** ani też nie zastępuje **samodzielnego studiowania** obowiązujących podręczników.

Tym samym zawartość niniejszej prezentacji w szczególności **nie może być** traktowana jako zakres materiału obowiązujący na egzaminie.

Na egzaminie obowiązujący jest **zakres materiału faktycznie wyłożony podczas wykładu** oraz zawarty w odpowiadających mu fragmentach **podręczników** podanych w wykazie literatury do wykładu.

Eligiusz Pawłowski

Tematyka wykładu

Przyrządy pomiarowe wskazujące - mierniki

Mierniki analogowe o działaniu bezpośrednim

Właściwości mierników elektromechanicznych

Ustrój magnetoelektryczny i jego właściwości

Przyrządy pomiarowe – literatura dodatkowa

1. PN-EN 60051-1:2000 . Elektryczne przyrządy pomiarowe wskazujące analogowe o działaniu bezpośrednim i ich przybory - Definicje i wymagania wspólne dla wszystkich arkuszy normy (zastąpiła normę PN-92/E-06501/01, podobnie pozostałe arkusze)
2. PN-EN 60051-2:2000 . Elektryczne przyrządy pomiarowe wskazujące analogowe o działaniu bezpośrednim i ich przybory - Wymagania specjalne dotyczące amperomierzy i woltomierzy
3. Międzynarodowy słownik metrologii. Pojęcia podstawowe i ogólne oraz terminy z nimi związane, Przewodnik PKN-ISO/IEC Guide 99, PKN, Warszawa 2010.
4. Międzynarodowy słownik podstawowych i ogólnych terminów metrologii, GUM, Warszawa 1996.

Elektryczne przyrządy pomiarowe ... , PN-EN 60051

PN-EN 60051-1:2000. Elektryczne przyrządy pomiarowe wskazujące analogowe o działaniu bezpośrednim i ich przybory - Definicje i wymagania wspólne dla wszystkich arkuszy normy

Elektryczne

przyrządy pomiarowe

wskazujące

analogowe

o działaniu bezpośrednim

i ich przybory.

Wyjaśnimy
kolejno te
pojęcia

```
graph TD; A[Wyjaśnimy kolejno te pojęcia] --> B[Elektryczne]; A --> C[przyrządy pomiarowe]; A --> D[wskazujące]; A --> E[analogowe]; A --> F[o działaniu bezpośrednim]; A --> G[i ich przybory.];
```

Źródło: PKN,
<http://www.pkn.pl/>

Podstawowe definicje PN-EN 60051

Przyrząd pomiarowy – urządzenie przeznaczone do wykonywania pomiarów, samodzielnie lub w połączeniu z jednym lub wieloma urządzeniami dodatkowymi. Wyróżniamy: mierniki, wzorce miar i przetworniki pomiarowe.

Przyrząd pomiarowy elektryczny jest to przyrząd pomiarowy przeznaczony do pomiarów **wielkości elektrycznej** (np.: woltomierz, amperomierz) lub **wielkości nieelektrycznej** metodami elektrycznymi (np.: termometr elektryczny).

Przyrząd pomiarowy wskazujący, miernik – przyrząd pomiarowy wskazujący w każdej chwili wartość wielkości mierzonej. Wskazanie to może być analogowe lub cyfrowe.

Podstawowe definicje PN-EN 60051

Przyrząd pomiarowy analogowy – przyrząd pomiarowy, którego wskazania lub sygnał wyjściowy są funkcją ciągłą wartości wielkości mierzonej.

Uwagi:

1. W przyrządach pomiarowych **cyfrowych** wskazania przyjmują wartości dyskretne, które **nie są ciągłą funkcją** wartości wielkości mierzonej.
2. W przyrządach pomiarowych **analogowych** użytkownik zaokrąglił wynik pomiaru podczas jego odczytywania i w praktyce, mimo że wskazania miernika są analogowe, **wyniki pomiarów również przyjmują wartości dyskretne.**

Podstawowe definicje [4]

Przyrząd pomiarowy cyfrowy – przyrząd pomiarowy, którego wskazanie lub sygnał wyjściowy ma postać cyfrową.

Uwaga: definicja odnosi się **tylko** do sposobu **prezentacji** wyniku pomiaru lub postaci sygnału wyjściowego, nie określa zasady działania przyrządu.

Przykład: indukcyjny licznik energii elektrycznej prezentuje **wynik pomiaru w postaci cyfrowej**, ale z punktu widzenia zasady działania **jest układem analogowym**.

Podstawowe definicje PN-EN 60051

Przyrząd pomiarowy o działaniu bezpośrednim – przyrząd pomiarowy, w którym energia potrzebna do odchylenia organu ruchomego jest pobierana bezpośrednio z obwodu, w którym występuje wielkość mierzona.

Elektryczne przyrządy pomiarowe o działaniu bezpośrednim są nazywane przyrządami **elektromechanicznymi**, które przetwarzają energię **elektryczną** pobraną z obwodu mierzonego na energię **mechaniczną** niezbędną do odchylenia organu ruchomego.

Przyrządy pomiarowe o działaniu **pośrednim** potrzebują do działania dodatkowego źródła energii, są to przyrządy pomiarowe **elektroniczne**, w których wielkość mierzona tylko steruje przepływem energii pomocniczej.

Podstawowe definicje PN-EN 60051

Przybór przyrządu pomiarowego – element, grupa elementów lub urządzenie przyłączane do toru pomiarowego przyrządu pomiarowego, w celu nadania mu określonych właściwości metrologicznych.

Przyborami są np.: **boczniki** do zmiany zakresów prądowych amperomierzy, rezystory szeregowe (**posobniki**) do zmiany zakresów napięciowych woltomierzy, **przekładniki** prądowe i napięciowe, wzorcowane **przewody** łączeniowe.

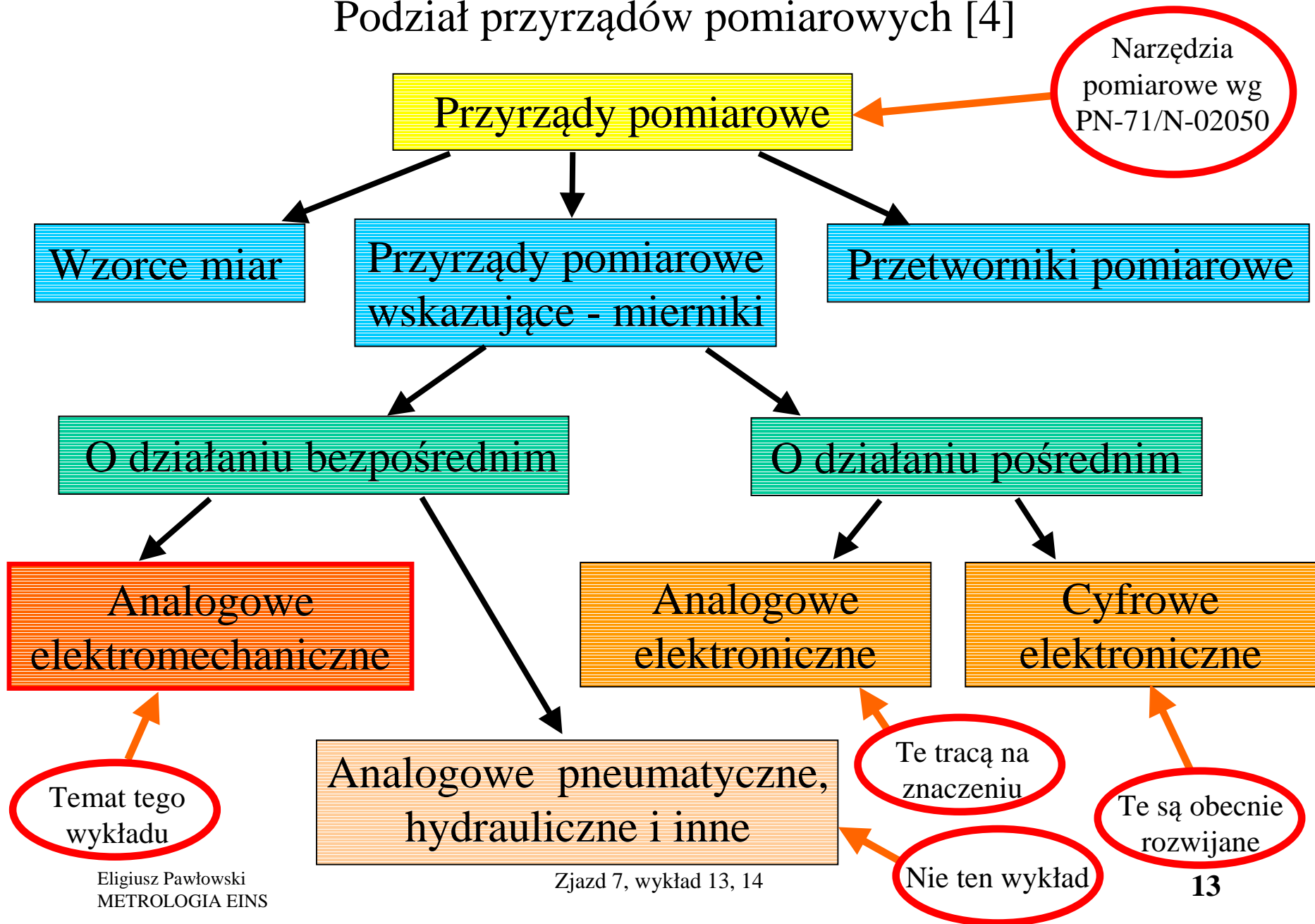
Przybory mogą być: **zamienne** (do każdego przyrządu pomiarowego), o **ograniczonej zamienności** (do określonego rodzaju przyrządów pomiarowych) lub **niezamienne** (do konkretnego przyrządu pomiarowego).

Podsumowanie PN-EN 60051

PN-EN 60051-1:2000. Elektryczne przyrządy pomiarowe wskazujące analogowe o działaniu bezpośrednim i ich przybory – norma ta dotyczy więc:

- urządzeń przeznaczonych do wykonywania pomiarów wielkości elektrycznych lub wielkości nieelektrycznych metodami elektrycznymi,
- które w każdej chwili wskazują wartość wielkości mierzonej,
- których wskazania są funkcją ciągłą wartości wielkości mierzonej,
- które energię potrzebną do odchylenia organu ruchomego pobierają bezpośrednio z obwodu mierzonego.

Podział przyrządów pomiarowych [4]



Mierniki elektromechaniczne- zalety i wady

Zalety:

- Stosunkowo niska cena
- Brak zasilania
- Prosta konstrukcja
- Niezawodność
- Odporność na przeciążenia
- Wygodny odczyt wartości zmieniających się w czasie
- Możliwy pomiar prawdziwej wartości skutecznej (true RMS) i mocy czynnej

Wady:

- Niska dokładności
- Obciążanie obwodu mierzonego
- Wrażliwość na wstrząsy
- Zużywanie się części ruchomych, starzenie się
- brak współpracy z komputerem
- ryzyko błędu paralaksy
- duży wpływ temperatury

Części konstrukcyjne mierników elektromechanicznych
Tor pomiarowy miernika jest częścią obwodu elektrycznego znajdującego się wewnątrz przyrządu, do której przyłożone jest napięcie lub prąd będące przyczyną powstania wskazania.

Ustrój pomiarowy miernika jest tą częścią przyrządu, na którą działa wielkość mierzona powodując odchylenie organu ruchomego.

Organ ruchomy jest częścią ruchomą ustroju pomiarowego zawierającą w szczególności wskazówkę.

Wskazówka wraz z **podziałką** tworzą **urządzenie wskazujące**.

Podziałka jest zbiorem **wskazów** wraz z **ocyfrowaniem**, naniesionych na **podzielnik**.

Podzielnik jest powierzchnią, na którą naniesiona jest skala oraz inne oznaczenia i symbole.

Wpływ miernika na układ pomiarowy

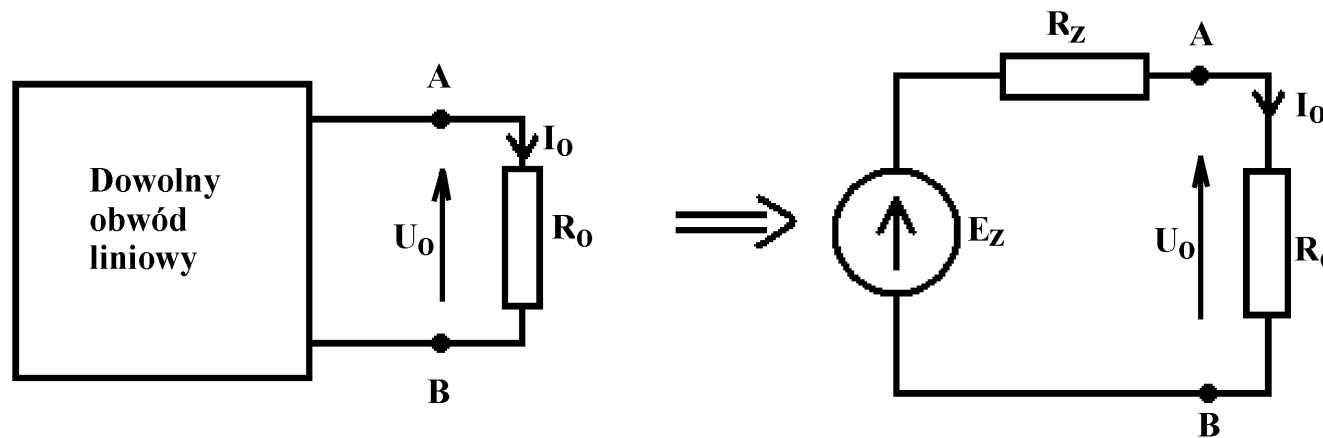
Każdy miernik posiada pewną rezystancję wewnętrzną R_W , a więc po dołączeniu go do układu pomiarowego **wpłyne** on na **rozpływ prądów i spadki napięć**.

Dodatkowo występują w mierniku **rezystancje izolacji** oraz **pojemności pasożytnicze** pomiędzy torem pomiarowym miernika a jego obudową, co powoduje przepływ szkodliwych prądów, szczególnie w obwodach wysokonapięciowych i wysokoczęstotliwościowych.

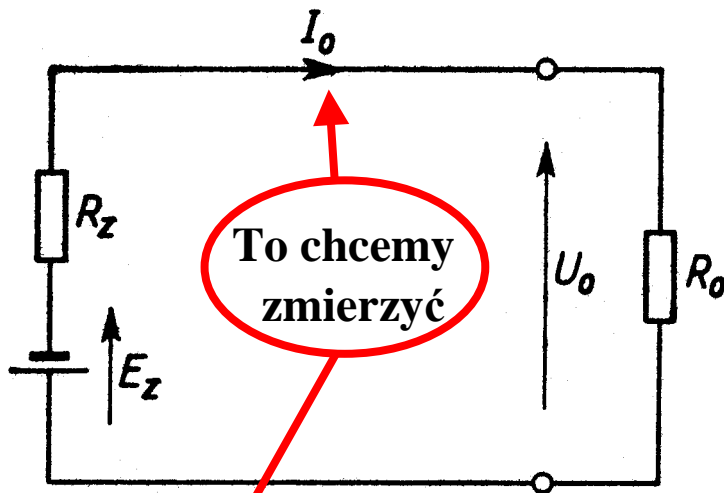
Analizując powyższe zagadnienia wygodnie jest skorzystać z twierdzenia **Tevenina** o zastępczym źródle napięciowym.

Przypomnienie - Twierdzenie Thevenina

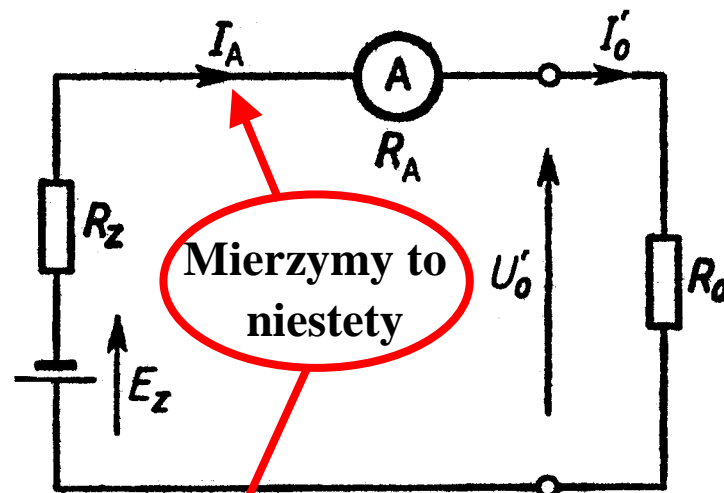
Dowolny aktywny obwód liniowy **można zastąpić** od strony wybranych zacisków **A-B** obwodem równoważnym, złożonym z szeregowo połączonego zastępczego idealnego źródła napięcia E_Z , równego napięciu pomiędzy zaciskami **A-B** w stanie jałowym oraz jednej rezystancji zastępczej R_Z równej rezystancji obwodu pasywnego widzianego od strony zacisków **A-B** (po zwarceniu wszystkich źródeł napięciowych i prądowych).



Wpływ rezystancji amperomierza – błąd metody



$$I_O = \frac{E_Z}{R_Z + R_O}$$



$$I_A = I'_O = \frac{E_Z}{R_Z + R_O + R_A}$$

$$\delta I_O = \frac{I_A - I_O}{I_O} = -\frac{1}{1 + \frac{R_Z + R_O}{R_A}} \approx -\frac{R_A}{R_Z + R_O}$$

Ten błąd jest zawsze ujemny !!!

Wniosek: rezystancja amperomierza R_A powinna być jak **najmniejsza!**

Sposoby podawania rezystancji amperomierza

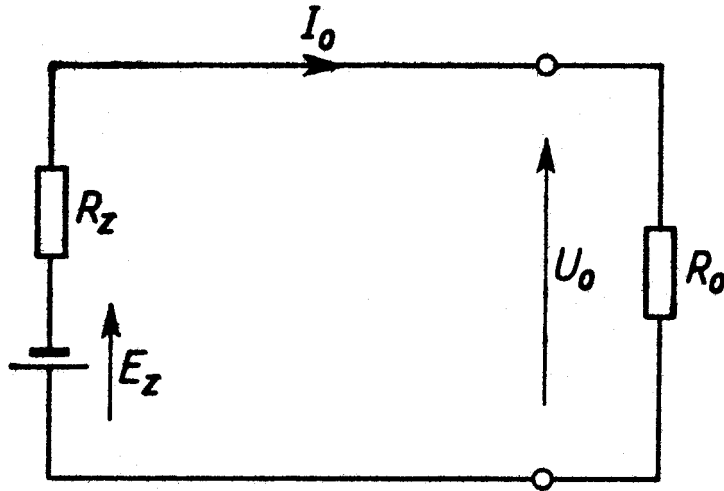
Producenci podają parametry amperomierzy w postaci:

1. Rezystancji wewnętrznej R_A , która jest różna dla różnych zakresów prądowych I_n , lub
2. Znamionowego spadku napięcia U_n na amperomierzu, który jest stały na różnych zakresach I_n

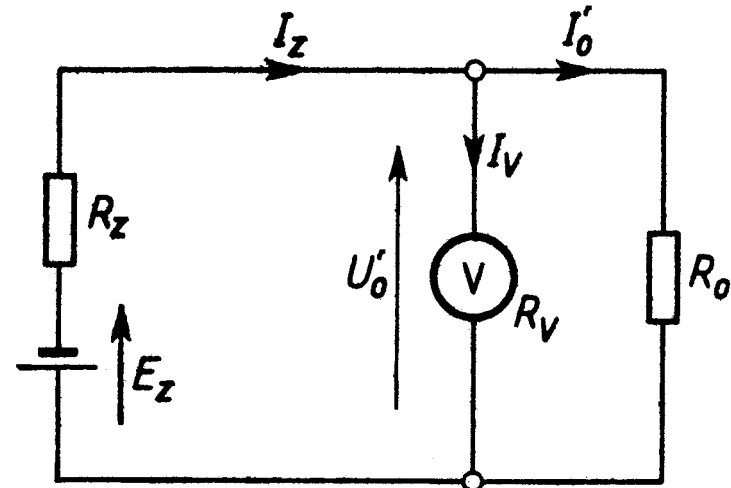
$$U_n = I_n R_A$$

Dla amperomierzy ME typową wartością znamionowego spadku napięcia U_n jest 60 mV.

Wpływ rezystancji woltomierza – błąd metody



$$U_0 = E_Z \frac{R_O}{R_O + R_Z}$$



$$U'_0 = E_Z \frac{R_O \parallel R_V}{R_Z + (R_O \parallel R_V)}$$

$$\delta U_0 = \frac{U'_0 - U_0}{U_0} = - \frac{1}{1 + \frac{R_V}{(R_Z \parallel R_O)}} = - \frac{(R_Z \parallel R_O)}{R_V}$$

Ten błąd również jest zawsze ujemny !!!

Wniosek: rezystancja woltomierza R_V powinna być jak **największa!**

Sposoby podawania rezystancji woltomierza

Producenci podają parametry woltomierzy w postaci:

1. Rezystancji wewnętrznej R_V , która jest różna dla różnych zakresów napięciowych U_n , lub
2. Znamionowego prądu I_n woltomierza, który jest stały na różnych zakresach U_n :

$$I_n = \frac{U_n}{R_V} \quad , \text{ lub}$$

3. Odwrotności znamionowego prądu I_n woltomierza, który jest stały na różnych zakresach U_n :

$$\frac{1}{I_n} = \frac{R_V}{U_n} \left[\frac{\Omega}{V} \right]$$

Typowe wartości rezystancji woltomierza

Dla woltomierzy ME laboratoryjnych typową wartością jest **1000 Ω/V** , czyli znamionowy prąd woltomierza

$$I_n = 1\text{mA}.$$

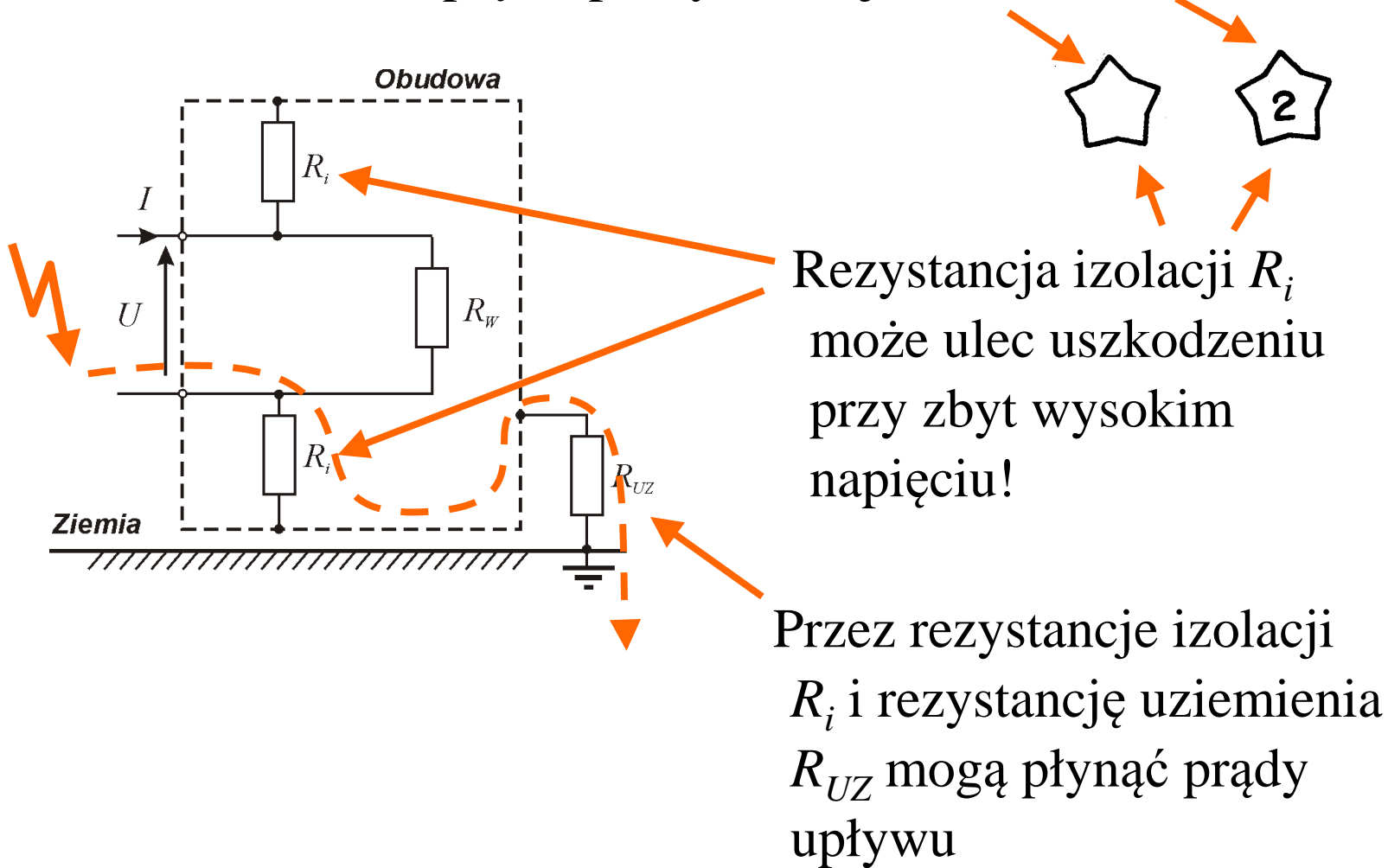
Dla woltomierzy ME uniwersalnych wielozakresowych (tzw. uemki) typową wartością jest **20 $k\Omega/V$** , czyli znamionowy prąd woltomierza

$$I_n = 50\mu\text{A}.$$

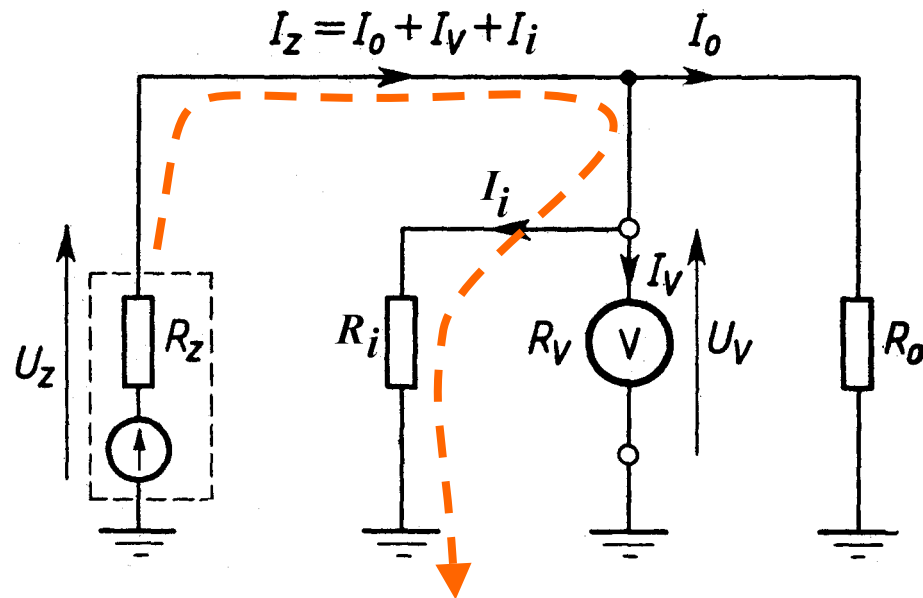
Dla współczesnych woltomierzy elektronicznych cyfrowych typową wartością rezystancji R_V jest **10M Ω** dla napięć stałych niezależnie od zakresu i **1M Ω** dla napięć przemiennych.

Wpływ izolacji miernika na pomiary przy wysokich napięciach

Oznaczenie napięcia próby izolacji: 500V , 2kV

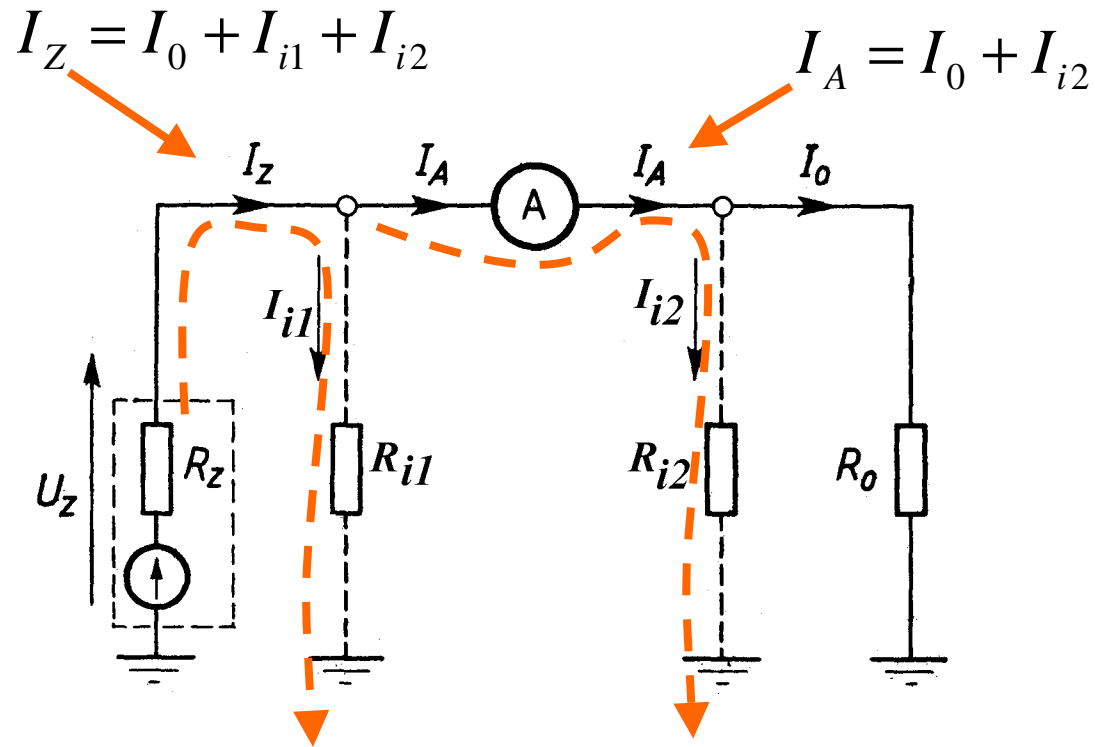


Wpływ izolacji woltomierza przy wysokich napięciach



Dołączenie woltomierza zwiększa prąd obciążenia źródła I_Z i obniża napięcie na odbiorniku U_O . Dodatkowo rezystancja izolacji R_i bocznikuje woltomierz i zwiększa błąd pomiaru napięcia. Zwiększone obciążenie źródła może zakłócić pracę układu.

Wpływ izolacji amperomierza przy wysokich napięciach



Dołączenie amperomierza zwiększa mierzony prąd I_A i prąd obciążenia źródła I_Z oraz obniża napięcie na odbiorniku U_O

Zero mechaniczne i elektryczne, wskaz zerowy

Zero mechaniczne – położenie równowagi, do którego dąży wskazówka, gdy ustrój pomiarowy **nie jest zasilany** napięciem lub prądem. Położenie to może się pokrywać, lub nie, ze wskazem zerowym i/lub zerem elektrycznym.

Zero elektryczne – położenie równowagi, do którego dąży wskazówka, gdy elektryczna wielkość mierzona jest **równa zero** lub ma określoną wartość.

Wskaz zerowy – wskaz podziałki przyporządkowany **cyfrze zero**, może się pokrywać, lub nie, z zerem mechanicznym i/lub elektrycznym.

Zero mechaniczne i elektryczne - omomierz

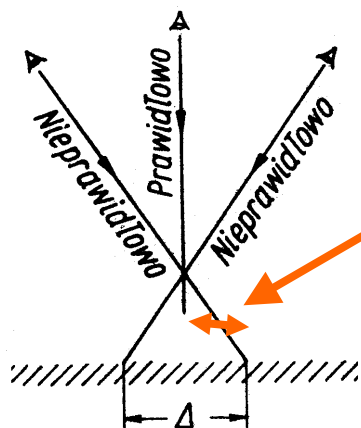


Zero elektryczne

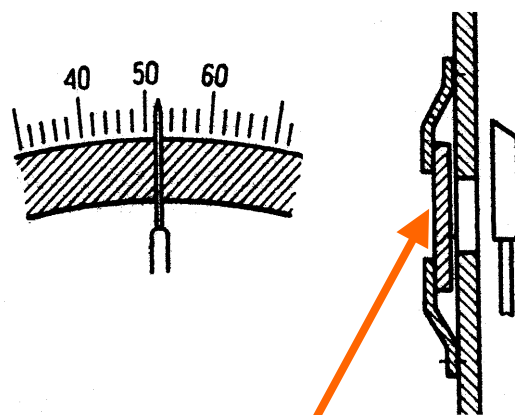
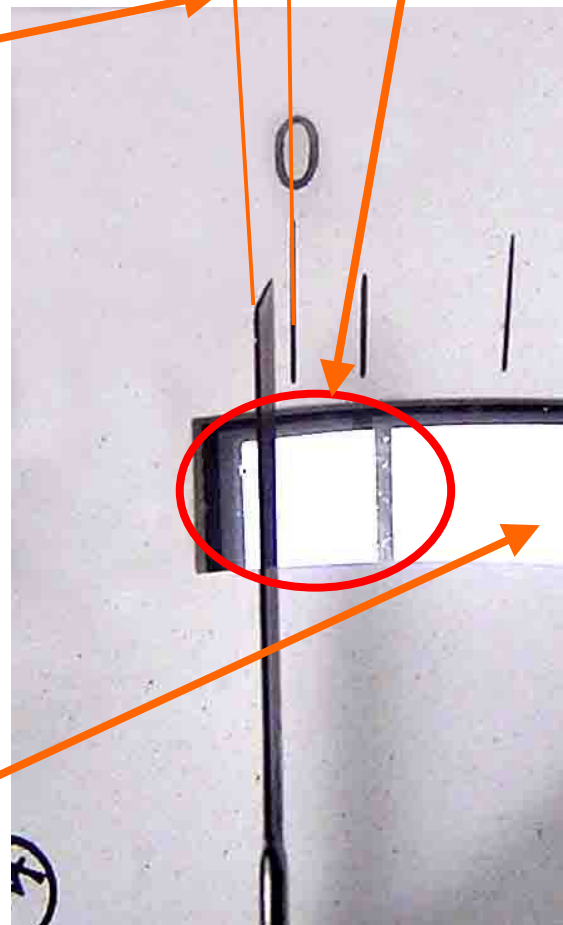
Zero mechaniczne

Błąd paralaksy

Wskazówka powinna pokrywać się ze swym odbiciem w lusterku !



Błąd paralaksy



lusterko

Przeciążenie długotrwałe amperomierzy i woltomierzy

Podczas sprawdzania, **przeciążenie długotrwałe** o wartości **120%** wartości granicy górnej elektrycznej wartości wejściowej powinno trwać **2 godziny**.

Bezpośrednio po zakończeniu przeciążenia, odchylenie wskazówki od wskazu zerowego nie powinno przekraczać **1%** długości podziałki.

Po ostygnięciu do temperatury odniesienia przyrząd powinien spełniać wymagania klasy.

Przeciążenie krótkotrwałe amperomierzy i woltomierzy

Przyrząd pomiarowy	Krotność prądu	Krotność napięcia	Liczba przeciążeń	Czas trwania przeciążenia s	Przerwy między przeciążeniami s
Przyrządy o wskaźniku klasy 0,5 lub mniejszym i przyrządy prostownikowe o dowolnym wskaźniku klasy					
Amperomierze	2	-	5	0,5	15
Woltomierze	-	2	5	0,5	15
Przyrządy o wskaźniku klasy 1 lub większym					
Amperomierze	10	-	9	0,5	60
	10	-	1	5	-
Woltomierze	-	2	9	0,5	60
	-	2	1	5	-
Uwaga: Dla dwóch serii przeciążeń w próbie obowiązuje podana kolejność					

10x przekroczony zakres przez 5 sekund !!!

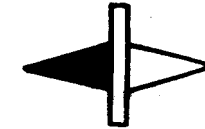
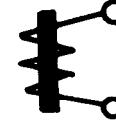
Po próbie przeciążenia wg tabeli i po ostygnięciu do temperatury odniesienia odchylenie wskazówki od wskazu zerowego nie powinno przekraczać 0,5% długości łuku podziałki (dla klasy 0,3 i mniejszych) lub wskaźnika klasy (dla klasy 0,5 i większych), a po wyzerowaniu przyrząd powinien spełniać wymagania klasy dokładności.

Podstawowe rodzaje mierników elektromechanicznych

-Magnetoelektryczne o ruchomej cewce

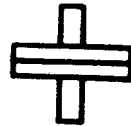


-Magnetoelektryczne o ruchomym magnesie



-Elektromagnetyczne

-Elektrodynamiczne



-Ferrodynamiczne



-Elektrostatyczne



-Indukcyjne



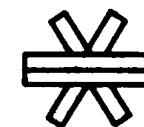
-Termoelektryczne



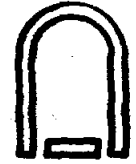
-Prstownikowe (magnetoelektryczne)



-Ilorazowe (logometryczne)



Ustrój ME – ogólna zasada działania



Zasada działania mierników ME (magnetoelektrycznych) i wszystkich innych elektromechanicznych opiera się na

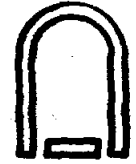
I zasadzie dynamiki Newtona,

dotyczącej równowagi sił (lub momentów sił) działających na ciało (organ ruchomy miernika).

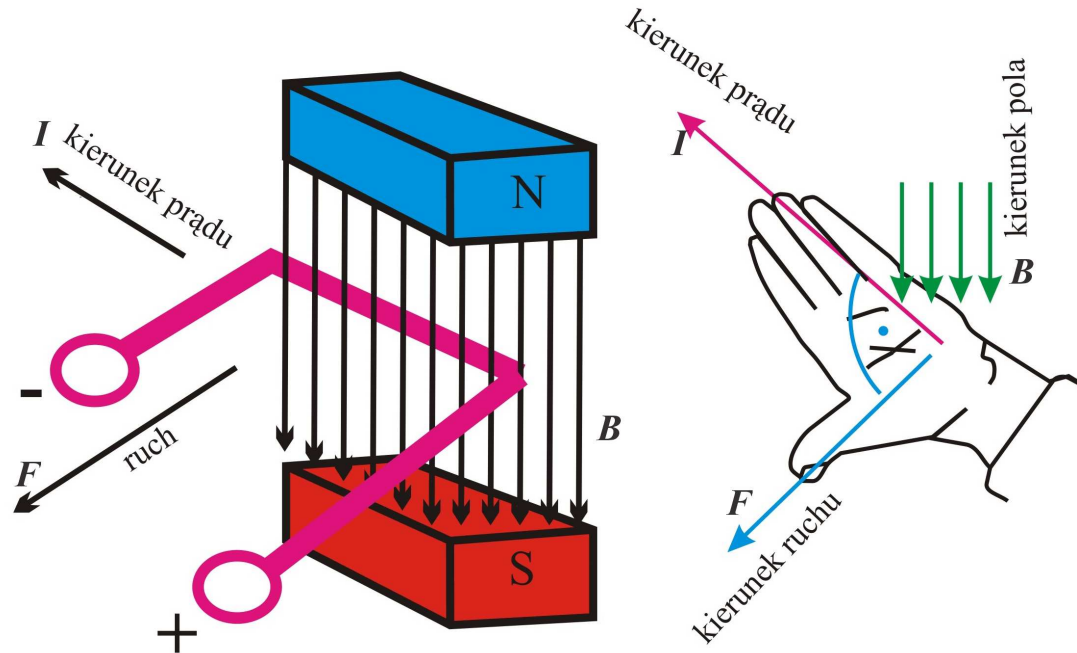
Organ ruchomy zajmuje takie ustalone położenie, dla którego moment napędowy M_N równoważy moment zwrotny M_Z , tzn.:

$$M_N = M_Z$$

M_N - reguła lewej dłoni - przypomnienie

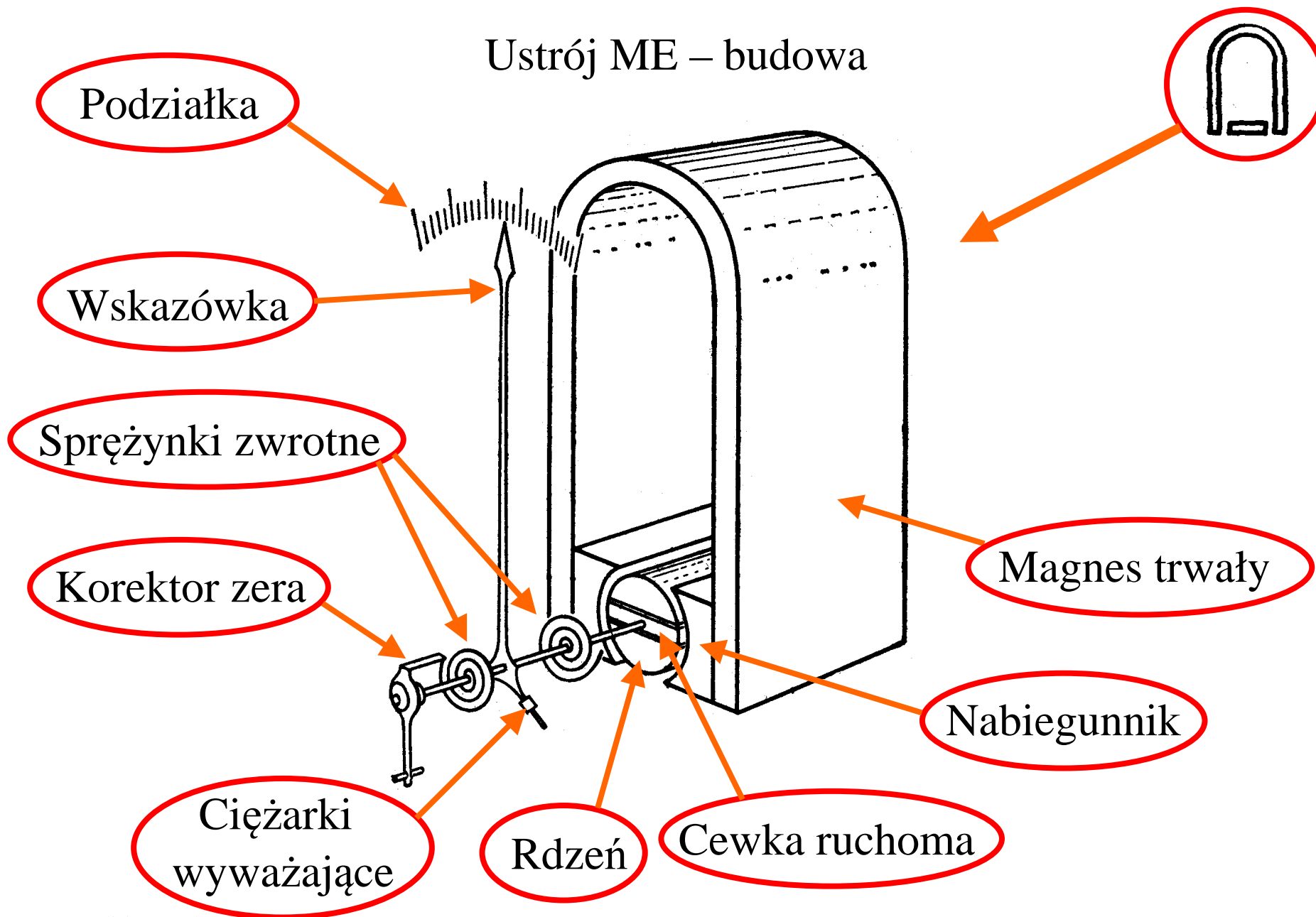


Moment napędowy M_N powstaje dzięki sile F działającej na przewodnik z prądem umieszczony w polu magnetycznym. Kierunek i zwrot siły F określa reguła lewej dłoni.



$$F = BIL \sin(\angle \vec{B} \vec{I})$$

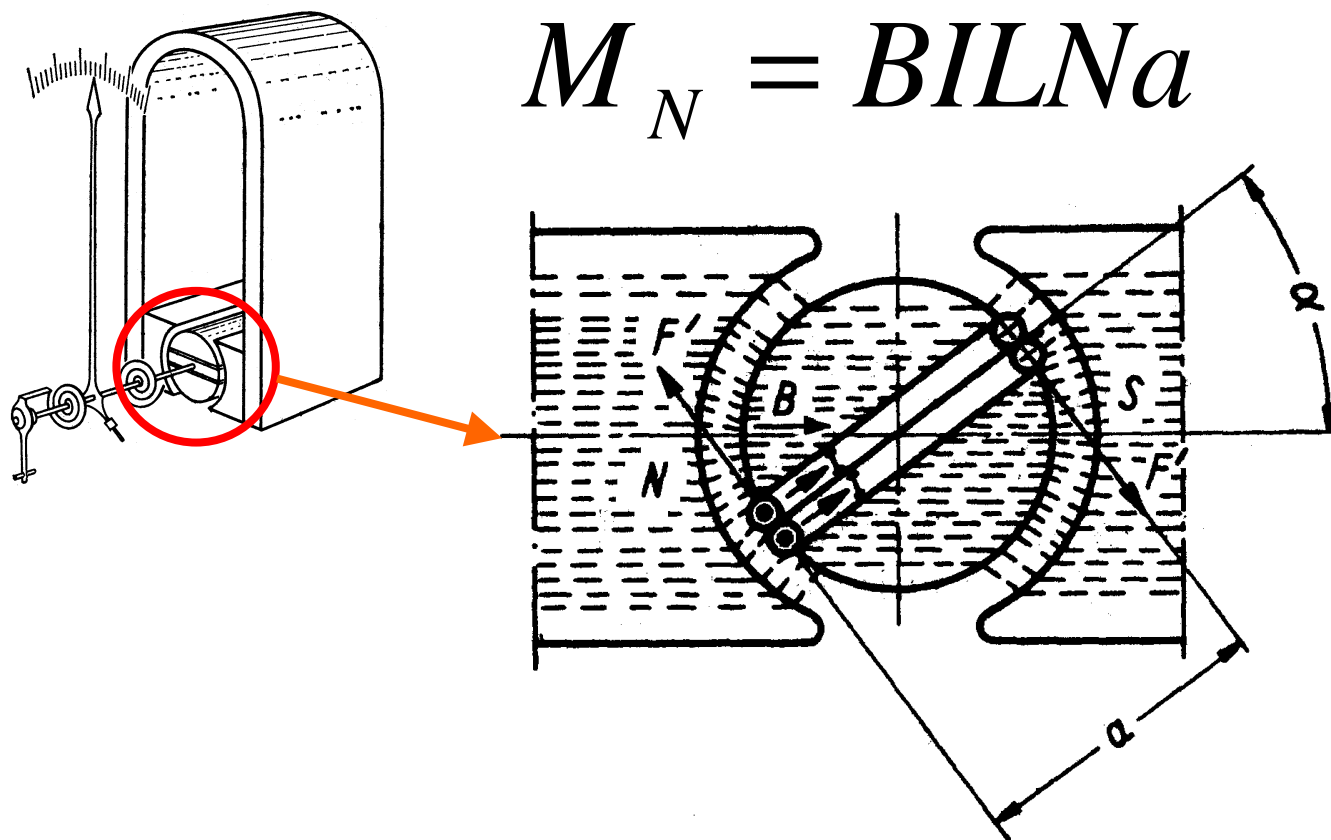
Ustrój ME – budowa



Ustrój ME – moment napędowy M_N



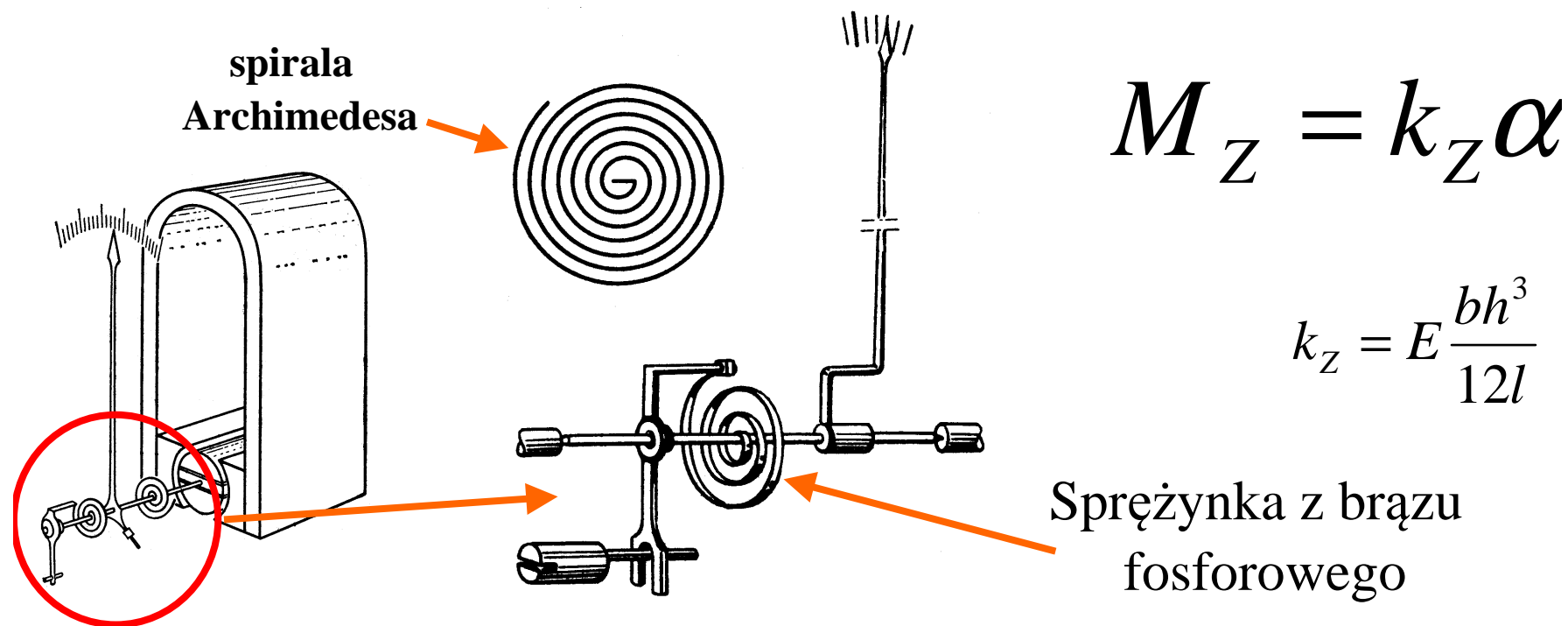
Moment napędowy M_N dla ustalonych wymiarów ramki L , a , liczby zwojów N oraz indukcji w szczelinie B jest proporcjonalny do wartości prądu I



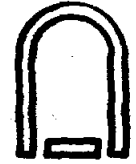
Ustrój ME – moment zwrotny M_Z



Moment zwrotny M_Z wytwarza spiralna sprężynka wykonana z brązu fosforowego i jest on proporcjonalny do wychylenia organu ruchomego α oraz do stałej zwracania sprężyny k_Z , zależnej od jej grubości b , szerokości h i długości l oraz modułu sprężystości Yuonga E .



I zasada dynamiki Newtona



Przypomnienie: **I zasada dynamiki Newtona (1687):**

Gdy na ciało nie działa żadna siła (moment sił) lub działające siły (momenty sił) równoważą się, to ciało:

1. pozostaje w spoczynku lub
2. porusza się ruchem prostoliniowym jednostajnym (jednostajnym obrotowym).

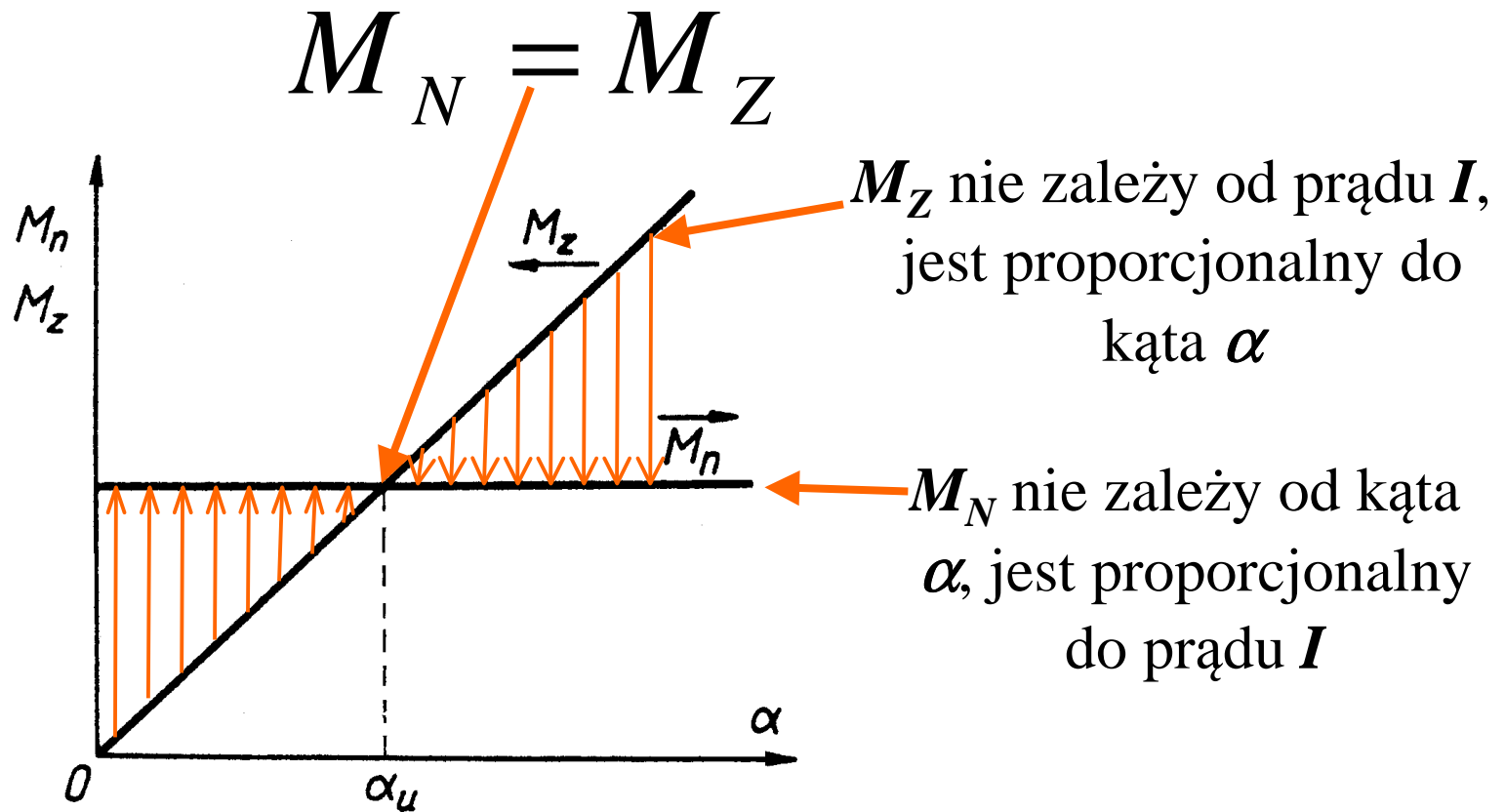
Przypadek 1 zachodzi w miernikach wskazówkowych elektromechanicznych – w stanie ustalonym wskazówka nie porusza się.

Przypadek 2 zachodzi w elektromechanicznych licznikach energii elektrycznej – w stanie ustalonym tarcza obraca się ruchem jednostajnym.

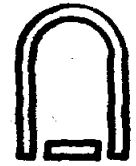
Organ ruchomy miernika w stanie ustalonym



Organ ruchomy zajmuje w stanie ustalonym położenie α w którym równoważą się momenty: napędowy M_N i zwracający M_Z



Odchylenie w stanie ustalonym



Momenty równoważą się:

$$M_N = M_Z$$

podstawiamy:

$$BILNa = k_Z \alpha$$

i przekształcamy:

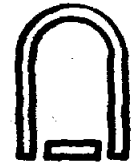
$$\alpha = \frac{BILNa}{k_Z} = \frac{BLNa}{k_Z} I = cI$$

przy czym:

$$c = \frac{BLNa}{k_Z} = \text{const}$$

Odchylenie jest
proporcjonalne
do prądu

Organ ruchomy miernika w stanie przejściowym



Zanim organ ruchomy osiągnie stan ustalony, w stanie przejściowym wykonuje **ruch tłumiony okresowy** lub **nieokresowy**, opisany równaniem różniczkowym **drugiego rzędu**:

$$J \frac{d^2 \alpha}{dt^2} + k_h \frac{d\alpha}{dt} + k_z \alpha = M_n$$

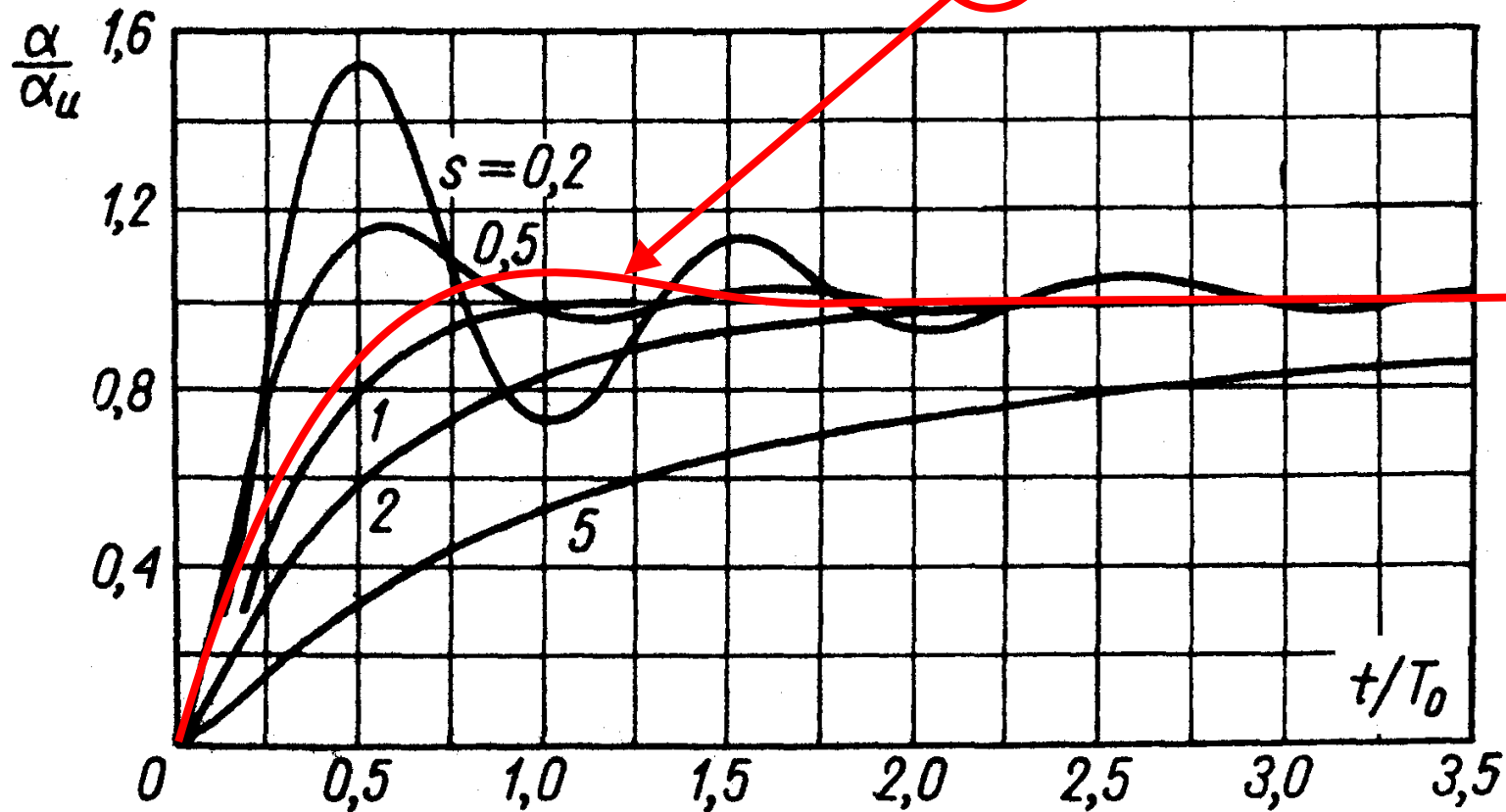
Postać rozwiązania tego równania jest zależna od wartości stopnia tłumienia s :

$$s = \frac{k_h}{2\sqrt{Jk_z}}$$

Osiąganie stanu ustalonego organu ruchomego

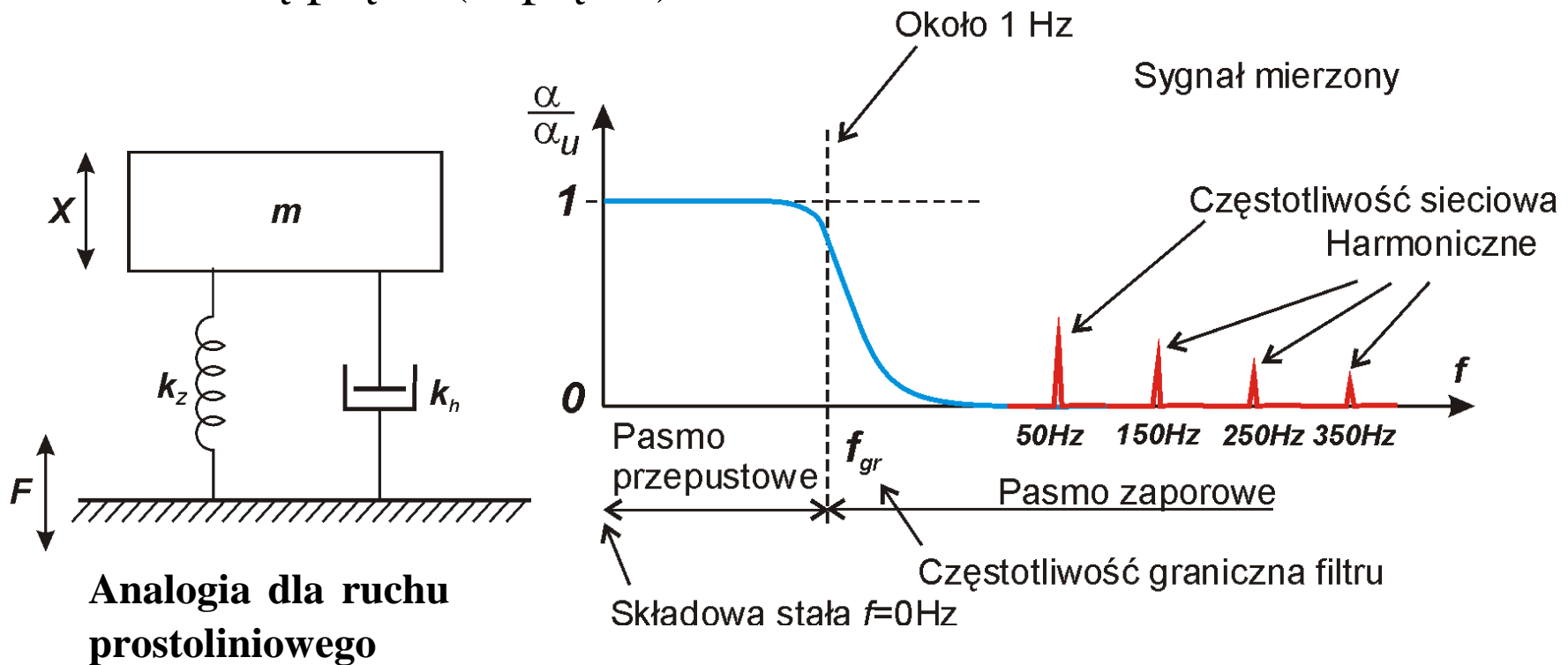
Dla $s=1$ otrzymujemy najszybsze ustalanie się organu ruchomego (tzw. tłumienie aperiodyczne).

W praktyce ustala się s równe około 0,7

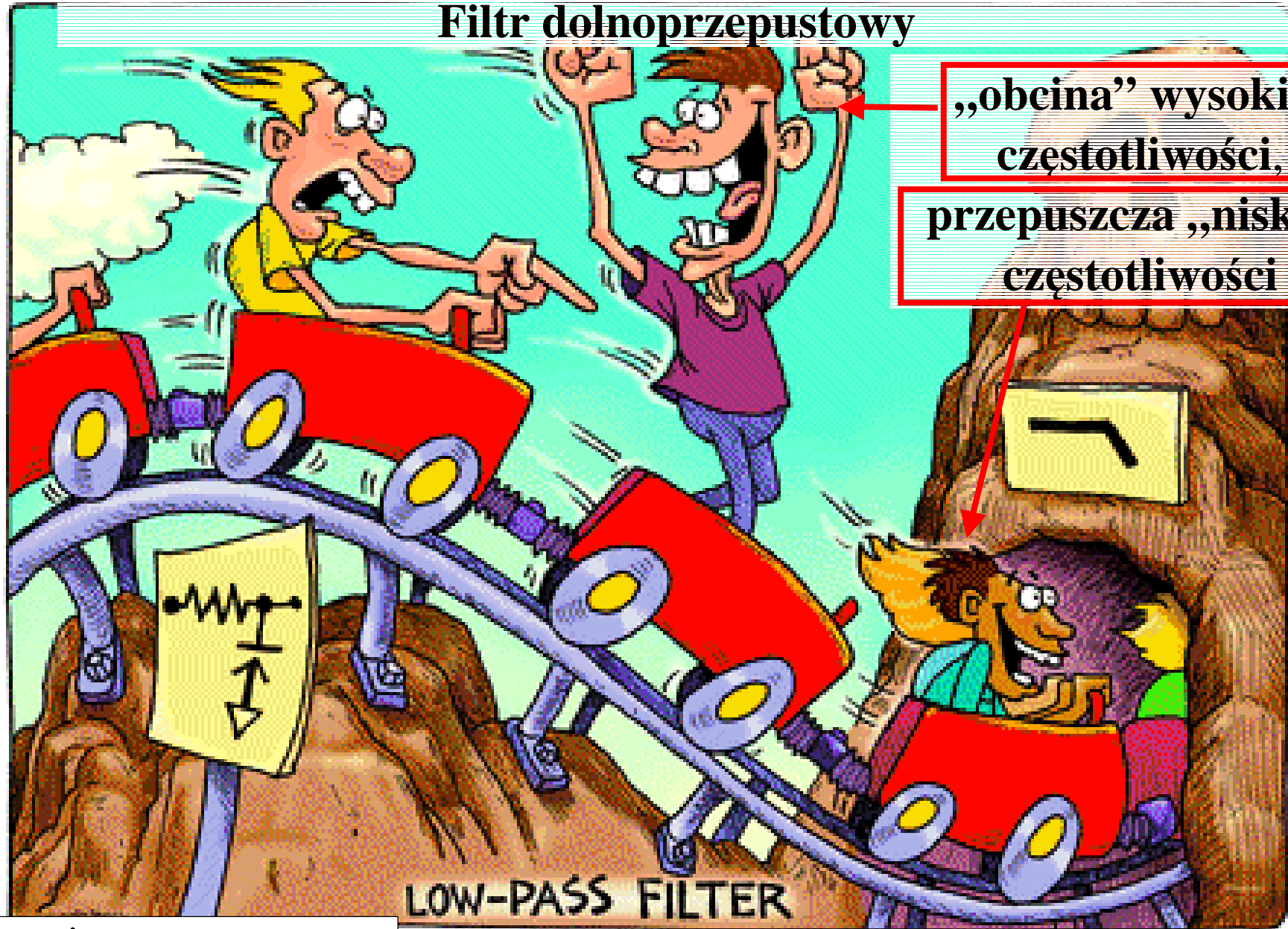


Tłumienie składowych przemiennych

Występowanie momentu bezwładności, zwrotnego i tłumiącego powodują, że ustrój ME ma właściwości filtra **dolnoprzepustowego** drugiego rzędu i reaguje na wartość średnią prądu (napięcia).



Filtr dolnoprzepustowy



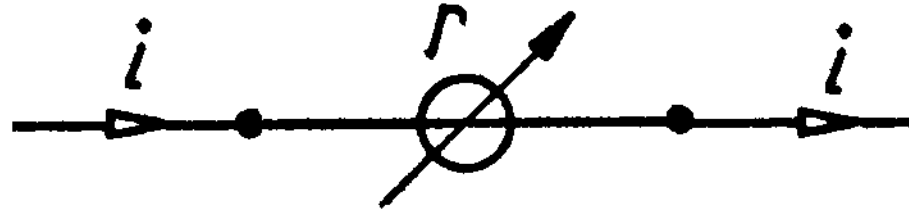
„obcina” wysokie
częstotliwości,

przepuszcza „niskie”
częstotliwości

Źródło: Agilent,

<http://www.home.agilent.com/>

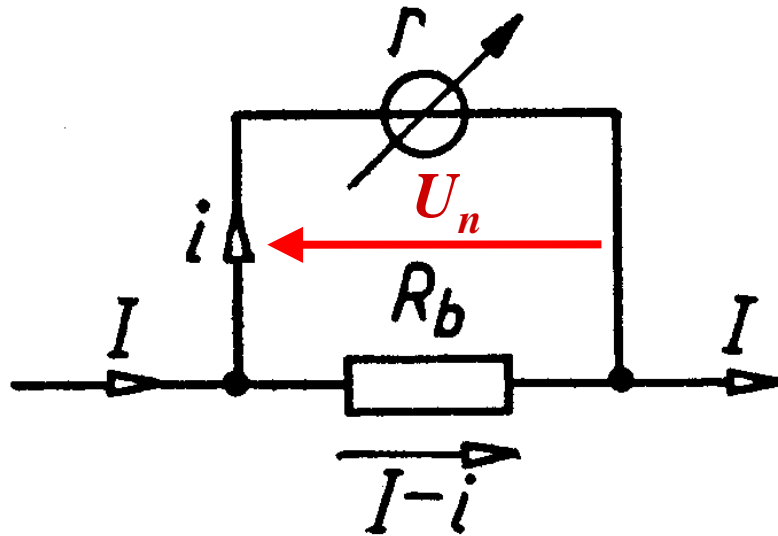
Miliamperomierz ME bezpośredni



Amperomierz ME bezpośredni składa się wyłącznie z ustroju ME. Cały mierzony prąd i przepływa przez ustrój pomiarowy. Zakresy prądowe zawierają się w granicach od **$10\mu\text{A}$ do 25 mA** .

Zmiany temperaturowe rezystancji ustroju r nie mają wpływu na wynik pomiaru. Wpływ temperatury na stałą zwracania k_z sprężynek i na indukcję w szczelinie B w znacznym stopniu kompensują się.

Rozszerzanie zakresu amperomierza ME bocznikiem



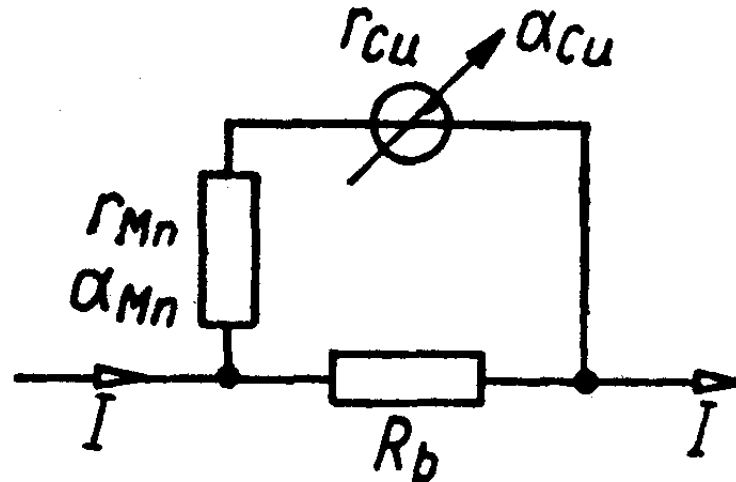
$$ri = U_n = R_b(I - i)$$

$$R_b = \frac{ri}{I - i}$$

$$m = \frac{I}{i} \rightarrow R_b = \frac{r}{\frac{I}{i} - 1} = \frac{r}{m - 1}$$

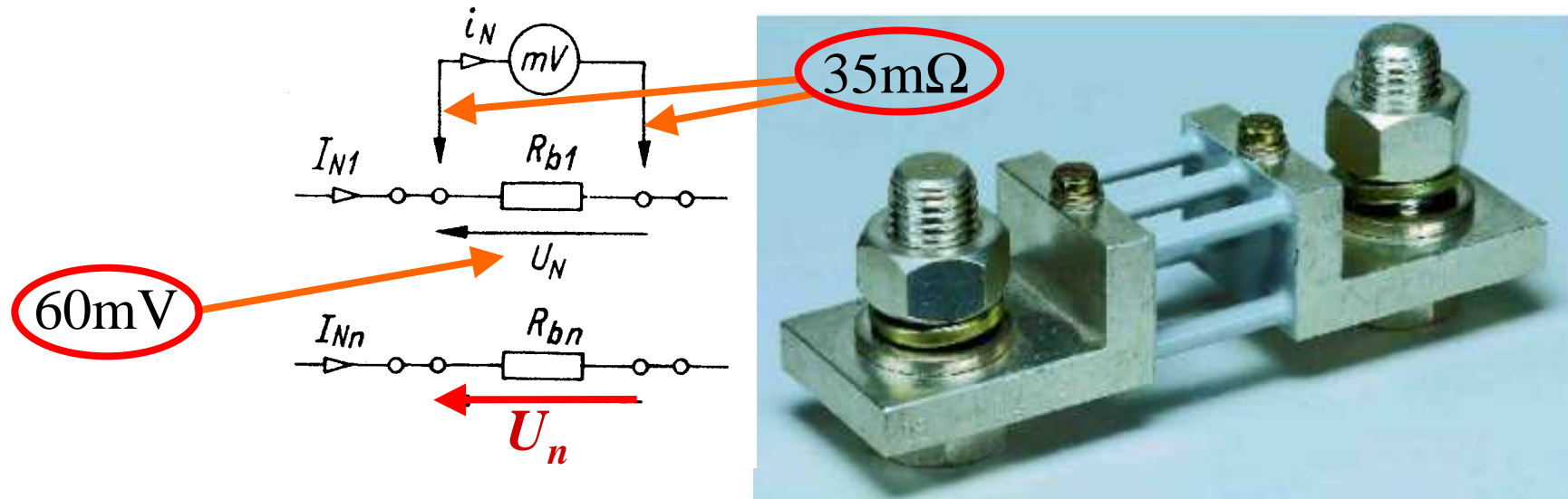
Zastosowanie bocznika o rezystancji R_b umożliwia m -krotne zwiększenie zakresu amperomierza, pod warunkiem utrzymania stałości stosunku rezystancji ustroju r i bocznika R_b .

Korygowanie błędu temperaturowego amperomierza ME



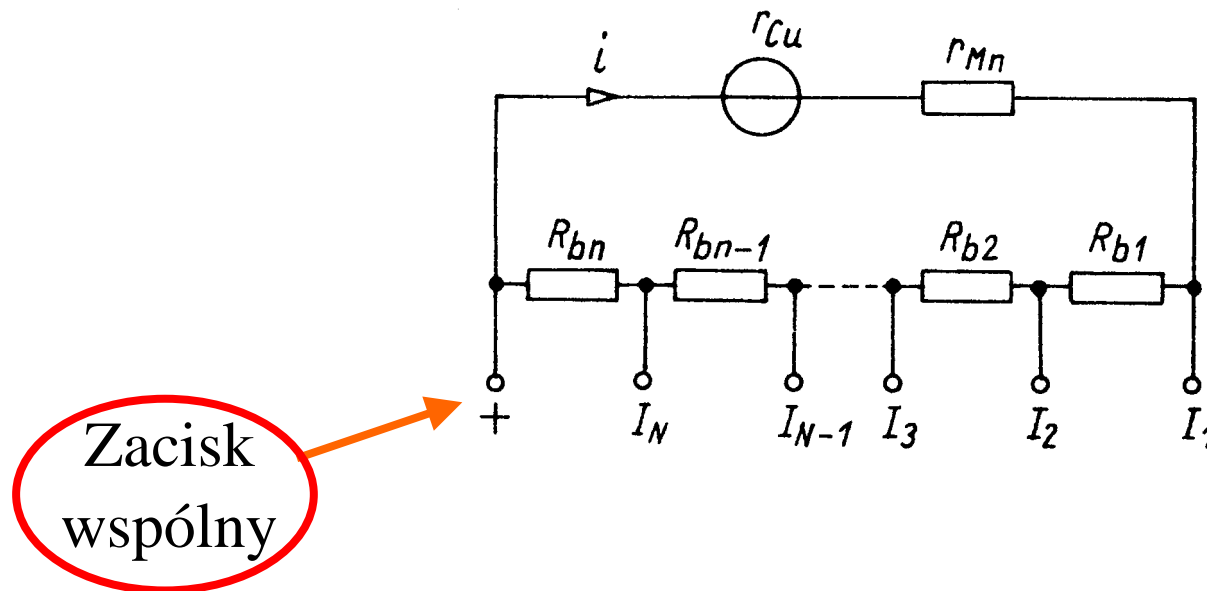
Utrzymanie stałości stosunku rezystancji ustroju r_{Cu} i bocznika R_b nie jest możliwe ze względu na różne współczynniki temperaturowe dla miedzi α_{Cu} (0,4%/°C) i manganinu α_{Mn} (0,002%/°C). Dla zmniejszenia wpływu temperatury stosuje się dodatkowy rezystor manganinowy r_{Mn} .

Amperomierz ME z wymiennymi bocznikami



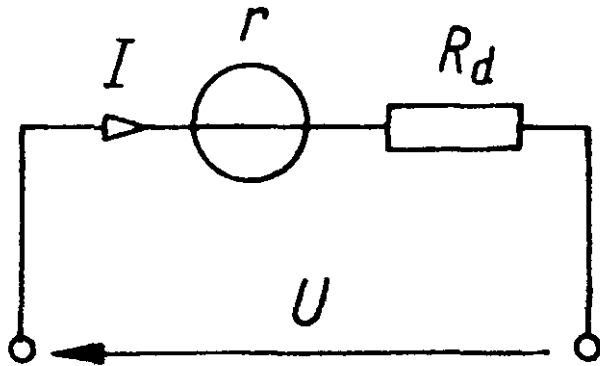
Zwiększenie liczby zakresów prądowych jest możliwe przez zastosowanie kompletu boczników R_{b1} , R_{b2} , R_{b3} , ... o takim samym znamionowym spadku napięcia U_n , najczęściej spotykane wartości to **30mV** lub **60mV**. Zazwyczaj wymagane jest stosowanie do miliwoltomierza przewodów o ściśle określonej rezystancji (najczęściej $35m\Omega$). Zakresy do **kilkuset amperów**.

Amperomierz wielozakresowy ME



Przy prądach do 25A stosuje się boczniki uniwersalne, zawierające połączone szeregowo odpowiednio dobrane rezystory. Jeden z zacisków (zazwyczaj +) jest wspólny dla wszystkich zakresów.

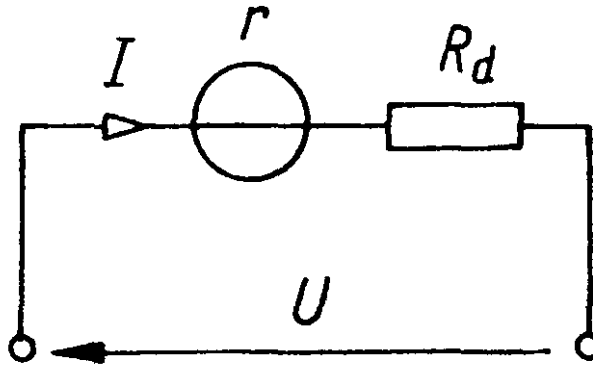
Zasada działania woltomierza ME



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

Woltomierz jest to czuły mikroamperomierz mierzący prąd płynący przez znaną, stabilną i o dużej wartości rezystancję wewnętrzną R_d+r . Znajomość wartości rezystancji woltomierza umożliwia wyskalowanie mikroamperomierza (na podstawie prawa Ohma) w voltach.

Podstawowy układ woltomierza ME



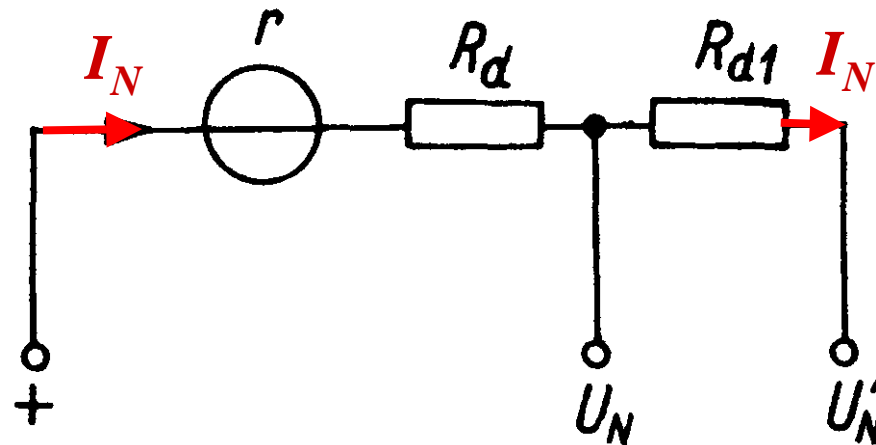
$$U_n = I_n (R_d + r)$$

Zakres woltomierza U_n jest określony przez rezystancję r ustroju ME i rezystancję dodatkową R_d oraz prąd znamionowy ustroju I_n . Prąd I_n przeciętnie zawiera się w przedziale

od **50 μ A** do **1mA**,

zależnie od przeznaczenia woltomierza.

Zmiana zakresu woltomierza ME

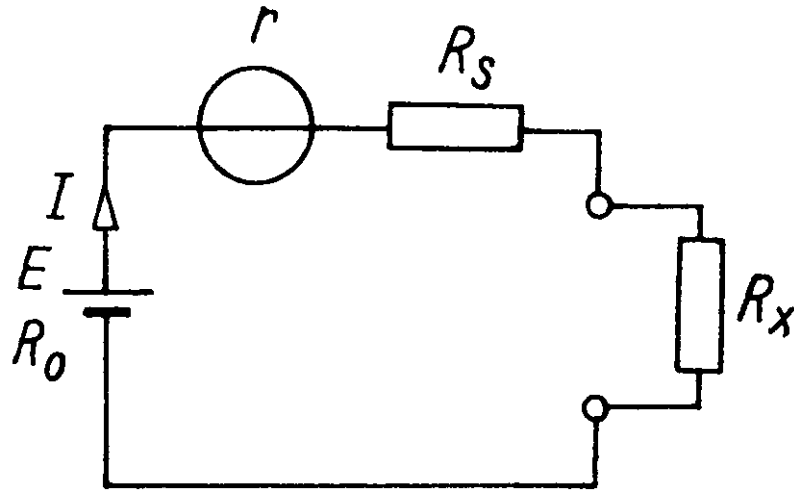


$$\frac{U_N}{r + R_d} = I_N = \frac{U'_N}{r + R_d + R_{d1}}$$

$$R_{d1} = (p - 1)(r + R_d) \qquad p = \frac{U'_N}{U_N}$$

Zastosowanie rezystora szeregowego (posobnika) o rezystancji R_{d1} umożliwia p -krotne zwiększenie zakresu woltomierza.

Omomierz szeregowy ME



$$I_X = \frac{E}{r + R_0 + R_s + R_X}$$

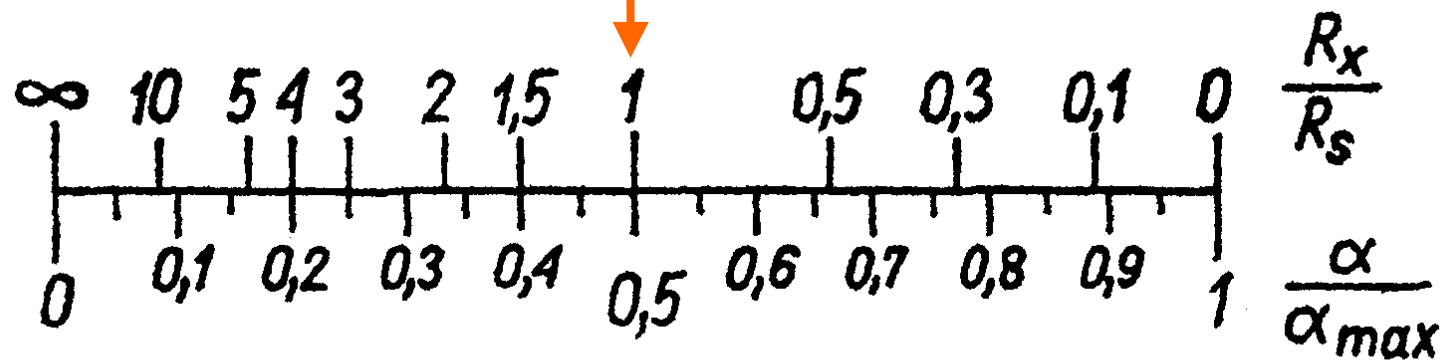
$$I_m = \frac{E}{r + R_0 + R_s + 0}$$

$$\frac{I_X}{I_m} = \frac{1}{1 + \frac{R_X}{r + R_0 + R_s}} \Rightarrow \alpha = \alpha_m \frac{1}{1 + \frac{R_X}{r + R_0 + R_s}}$$

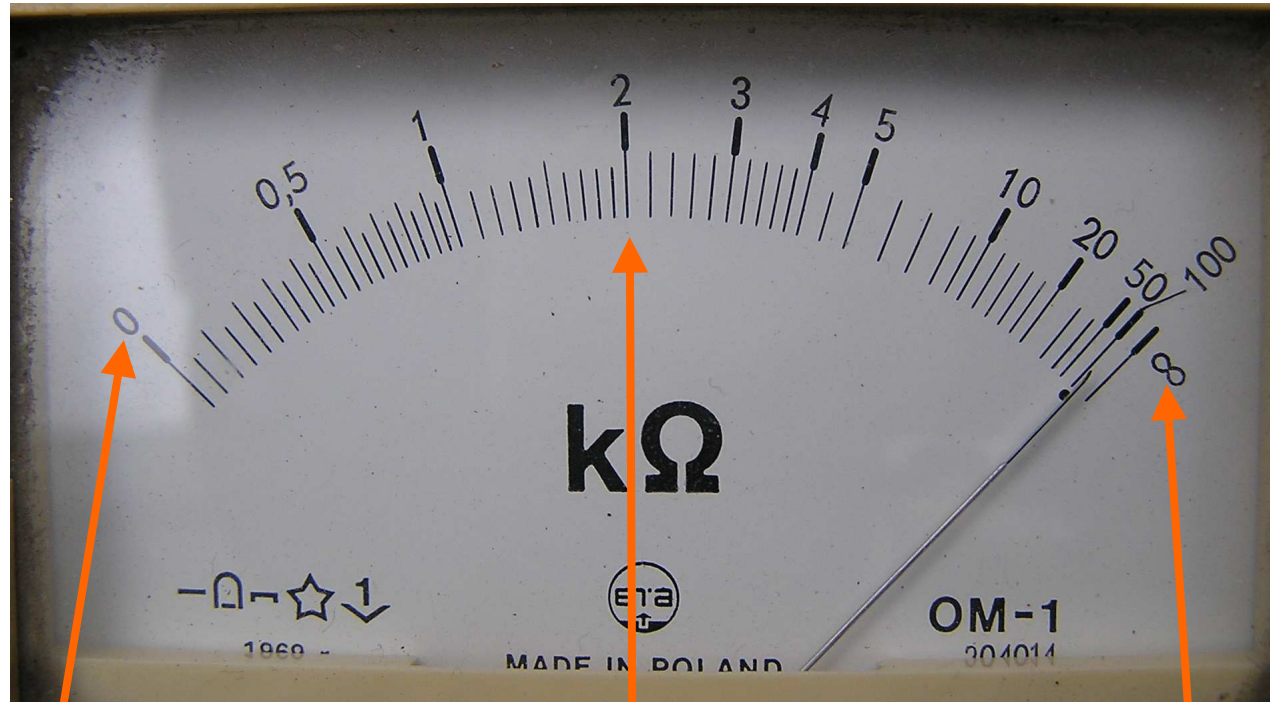
Omomierz szeregowy ME - podziałka

$$r + R_0 \ll R_s \Rightarrow \alpha = \alpha_m \frac{1}{1 + \frac{R_x}{R_s}}$$

To jest wartość $R_x = R_s$



Omomierz szeregowy – nieliniowa podziałka

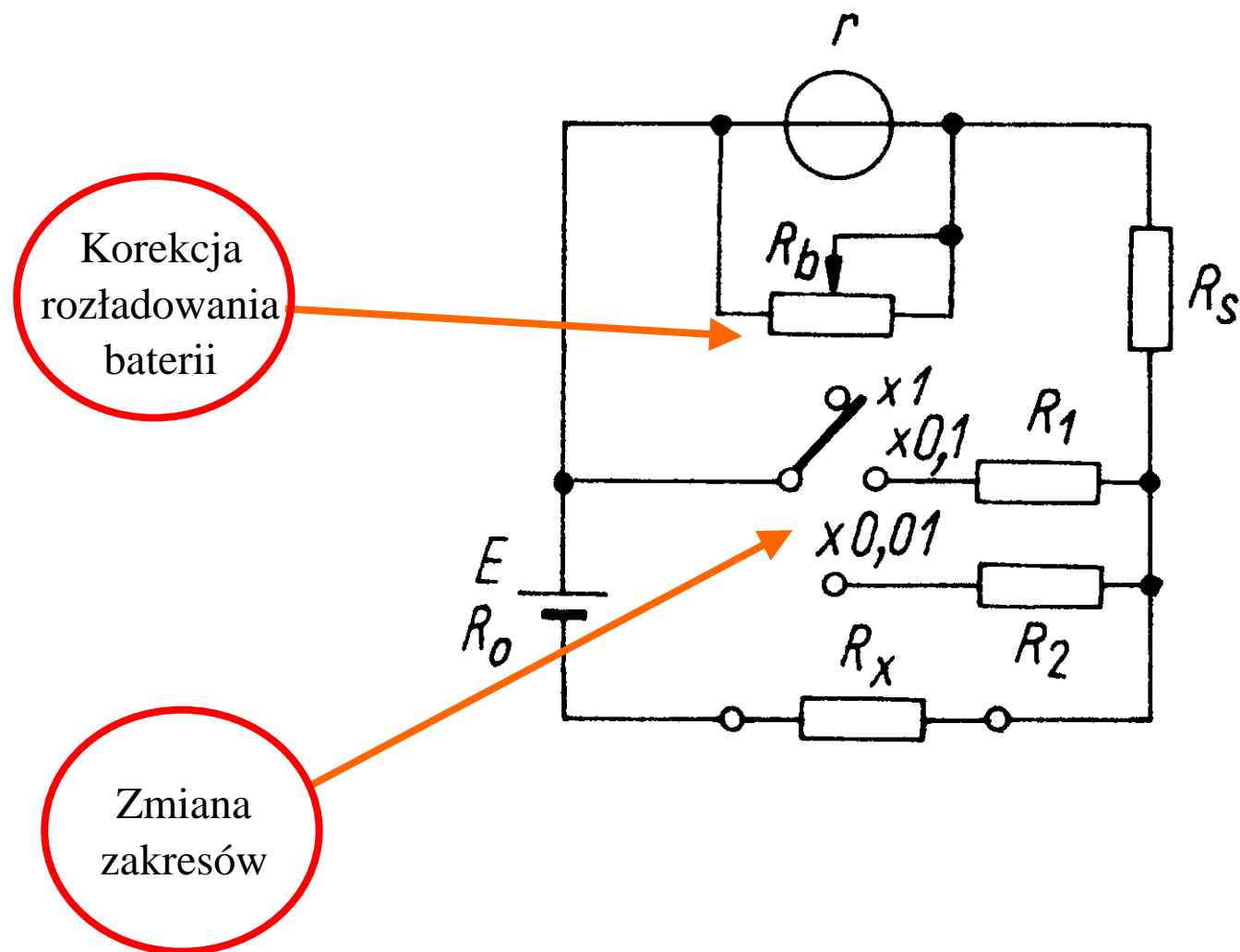


Zero elektryczne

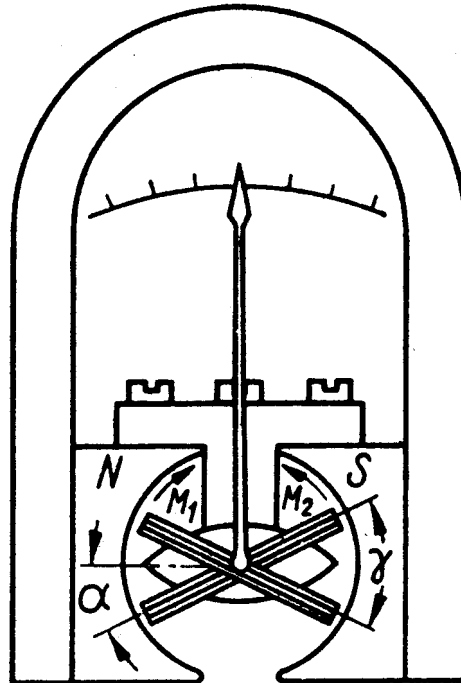
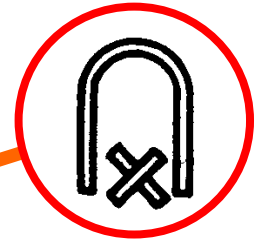
To jest wartość R_S

Zero mechaniczne

Wielozakresowy omomierz szeregowy ME



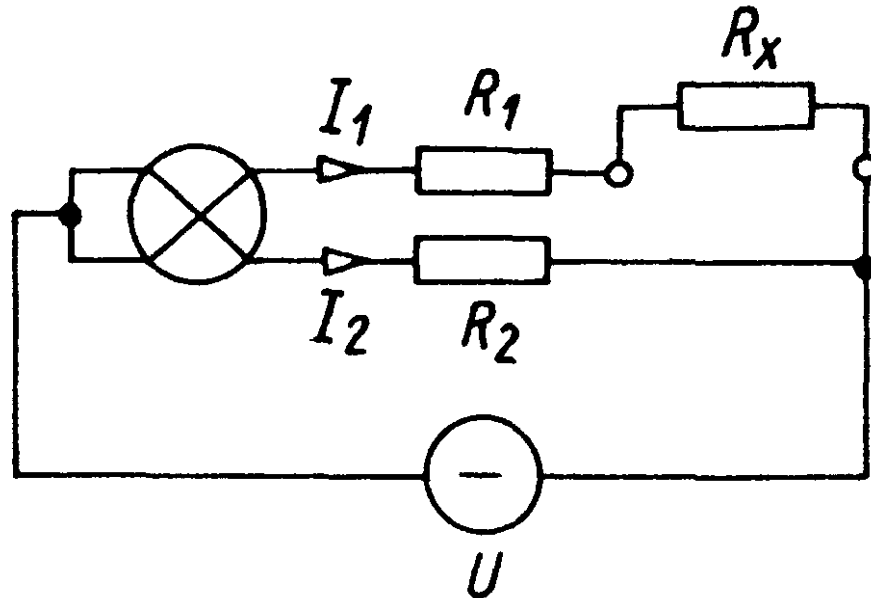
Omomierz ilorazowy ME



$$\alpha = f\left(\frac{I_1}{I_2}\right)$$

Odchylenie organu ruchomego α jest funkcją stosunku (ilorazu) prądów I_1 i I_2 płynących w cewkach ustroju. Umożliwia to uniezależnienie wskazań miernika od napięcia zasilającego.

Schemat omomierza ilorazowego ME

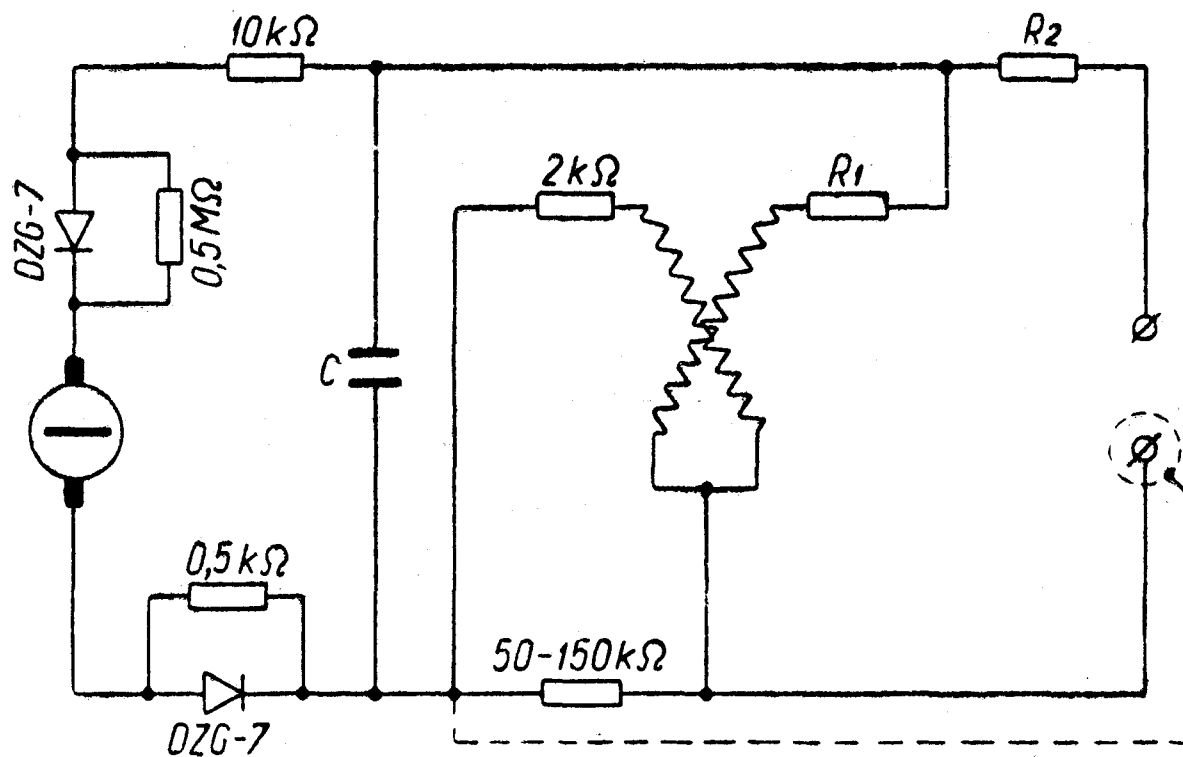


$$I_1 = \frac{U}{R_1 + R_X}$$

$$I_2 = \frac{U}{R_2}$$

$$\alpha = f\left(\frac{I_1}{I_2}\right) = f\left(\frac{UR_2}{U(R_1 + R_X)}\right) = f\left(\frac{R_2}{R_1 + R_X}\right)$$

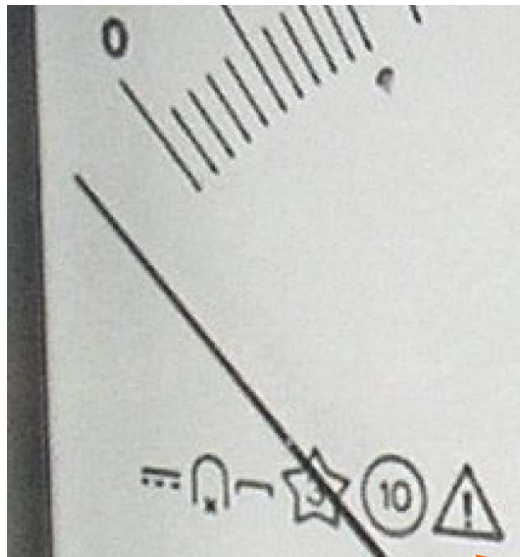
Schemat omomierza ilorazowego IMI



Schemat ideowy mierników IMI-1 i IMI-2

Ekranowany zacisk

Induktorowy Miernik Izolacji - IMI



Podsumowanie

1. Mierniki elektromechaniczne są nadal wykorzystywane w ograniczonym zakresie ze względu na posiadane zalety.
2. Wady mierników elektromechanicznych powodują ich sukcesywne zastępowanie przez mierniki elektroniczne cyfrowe.
3. Najczęściej wykorzystywane są mierniki zbudowane w oparciu o ustrój magnetoelektryczny.
4. Ustrój magnetoelektryczny pozwala budować amperomierze, woltomierze, omomierze oraz różne mierniki wielkości nieelektrycznych: termometry, manometry, obrotomierze i wiele innych.
5. Wymagania jakie powinny spełniać elektryczne przyrządy pomiarowe wskazujące analogowe o działaniu bezpośrednim i ich przybory są opisane w normie PN-EN 60051:2000 .

