

METROLOGIA

Dr inż. Eligiusz PAWŁOWSKI

Politechnika Lubelska

Wydział Elektrotechniki i Informatyki

Prezentacja do wykładu dla EINS

Zjazd 10, wykład nr 17



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 ten 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

Praca i energia, podstawy fizyczne

Indukcyjny licznik energii elektrycznej czynnej

Układy połączeń licznika energii elektrycznej

Pomiar energii biernej, liczniki specjalne

Elektroniczne liczniki energii elektrycznej

Praca jako wielkość fizyczna

PRACA – wielkość fizyczna skalarna W związana z przemieszczaniem ciała pod wpływem siły F , obliczana jako iloczyn skalarny wektora siły F i wektora przesunięcia l :

$$W = \vec{F} \cdot \vec{l} = Fl \cos \alpha$$

Jednostką pracy w układzie SI jest džul :

$$[W] = J = N \cdot m$$

Praca w polu potencjalnym

POLE POTENCJALNE jest to pole w którym praca W nie zależy od kształtu drogi l wzdłuż której działa siła F wykonująca pracę, ale tylko od położenia początkowego i końcowego. Przykładem takich pól są pola elektryczne i grawitacyjne.

PRACA W POLU ELEKTRYCZNYM zależy tylko od różnicy potencjałów, czyli napięcia U , występującymi między dwoma punktami, pomiędzy którymi przemieszczany jest ładunek elektryczny q :

$$W = Uq$$

Praca w polu elektrycznym

$$W = Uq$$

Ładunek elektryczny q przenoszony przez prąd o natężeniu I jest zależny od czasu t i wynosi:

$$q = It$$

PRACA PRĄDU ELEKTRYCZNEGO może być więc wyznaczona na podstawie napięcia U , natężenia prądu I oraz czasu t :

$$W = UIt$$

Dla napięć i prądów stałych w czasie

Energia

ENERGIA jest wielkością fizyczną skalarną A , opisującą w sposób ilościowy zdolności układu do wykonania pracy, jest miarą pracy, którą układ ten może wykonać.

W zależności od rozpatrywanego układu wyróżnia się energię mechaniczną, **elektryczną**, jądrową, chemiczną i inne.

Energia A oraz praca W są mierzone i wyrażane w tej samej jednostce, jest nią dżul J. Dopuszcza się stosowanie dla energii elektrycznej jednostki: kilowatogodzina, kWh :

$$1 \text{ kWh} = 10^3 \cdot 3600 \text{Ws} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J} = 3,6 \text{ MJ}$$

Energia i moc

MOC – wielkość fizyczna skalarna P określającą ilość pracy W wykonanej czasie t lub ilość energii A przekazanej przez układ w czasie t :

$$P = \frac{W}{t} = \frac{A}{t}$$

Tutaj W jest pochylone (*kursywa*) – to jest symbol wielkości fizycznej !!!

Jednostką mocy w układzie SI jest wat W :

Tutaj W nie jest pochylone (czcionka prosta) – to jest symbol jednostki miary !!!

$$[P] = W = \frac{J}{s} = \frac{N \cdot m}{s}$$

Energia i moc elektryczna

Moc elektryczna P w obwodzie **prądu stałego** jest określona przez wartość tego prądu I oraz napięcia U :

$$P = \frac{W}{t} = \frac{UI t}{t} = UI$$

W obwodach **prądu zmiennego**, w których chwilowe wartości napięcia $u(t)$ i prądu $i(t)$ są zależne od czasu t , definiuje się **moc chwilową $p(t)$** :

$$p(t) = u(t)i(t)$$

Z mocy chwilowej $p(t)$ można wyznaczyć **moc średnią P** za przedział czasu T (za okres), nazywamy ją **mocą czynną**:

$$P = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} p(t) dt = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} u(t)i(t) dt$$

Moc czynna, przypomnienie z poprzedniego wykładu

Moc czynna P jest to uśredniona za okres T moc chwilowa $p(t)$:

$$P = \overline{p(t)} = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) i(t) dt$$

Dla przebiegów sinusoidalnych:

$$u(t) = U_{\max} \sin(\omega t)$$

$$i(t) = I_{\max} \sin(\omega t + \varphi)$$

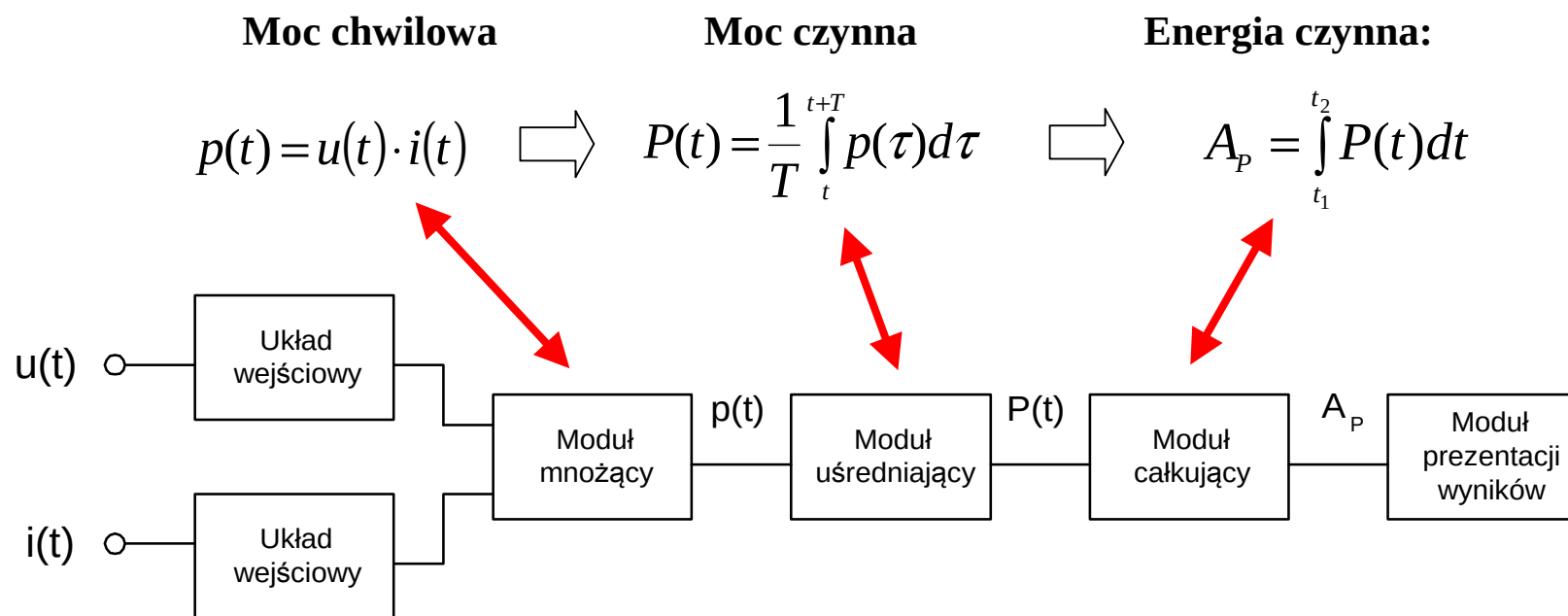
$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T \frac{1}{2} U_{\max} I_{\max} (\cos(\varphi) - \cos(2\omega t + \varphi)) dt$$

Po przekształceniach:

$$P = U_{sk} I_{sk} \cos(\varphi)$$

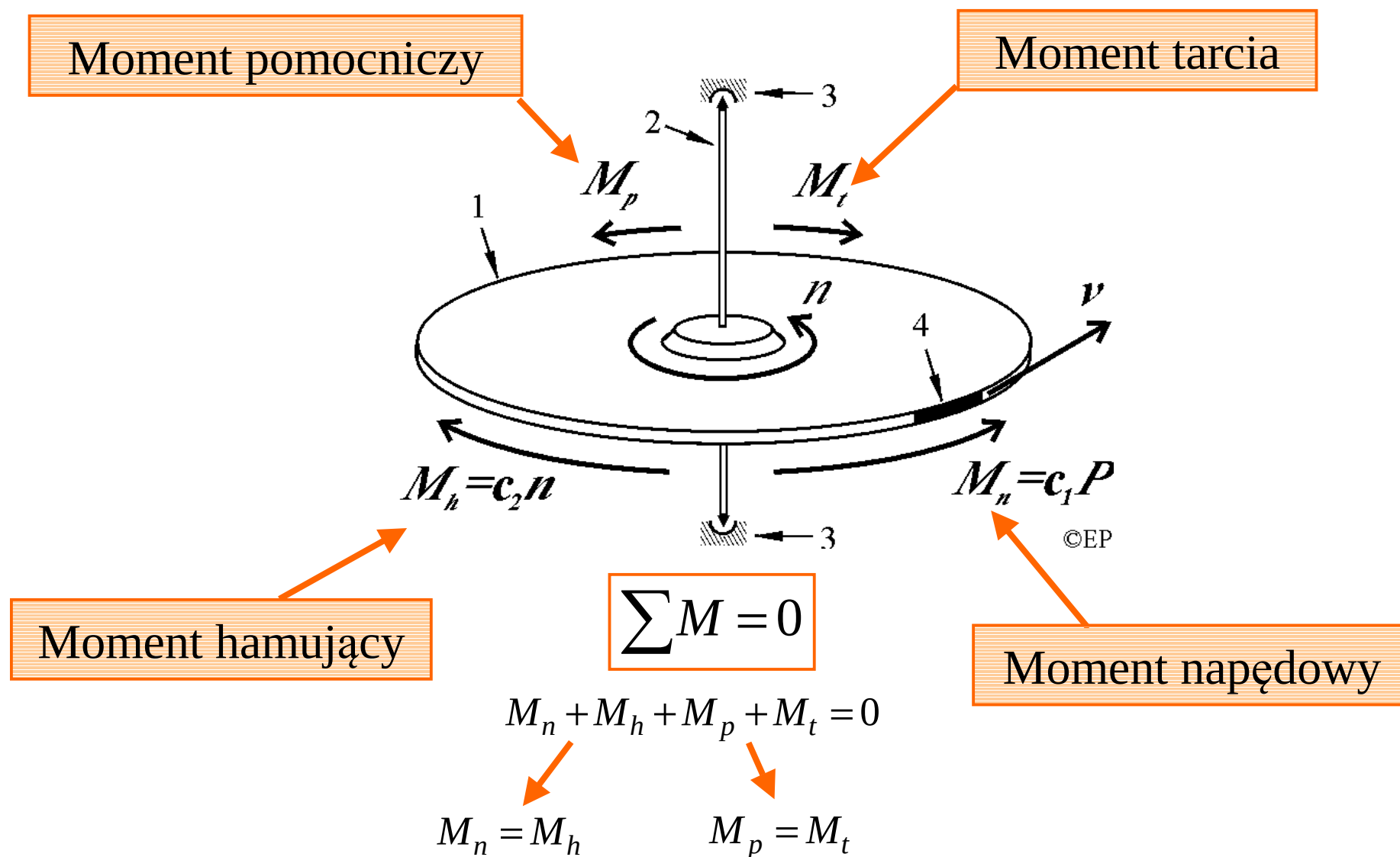
Zasada pomiaru energii elektrycznej

$$A_P = \int_{t_1}^{t_2} P(t) dt$$



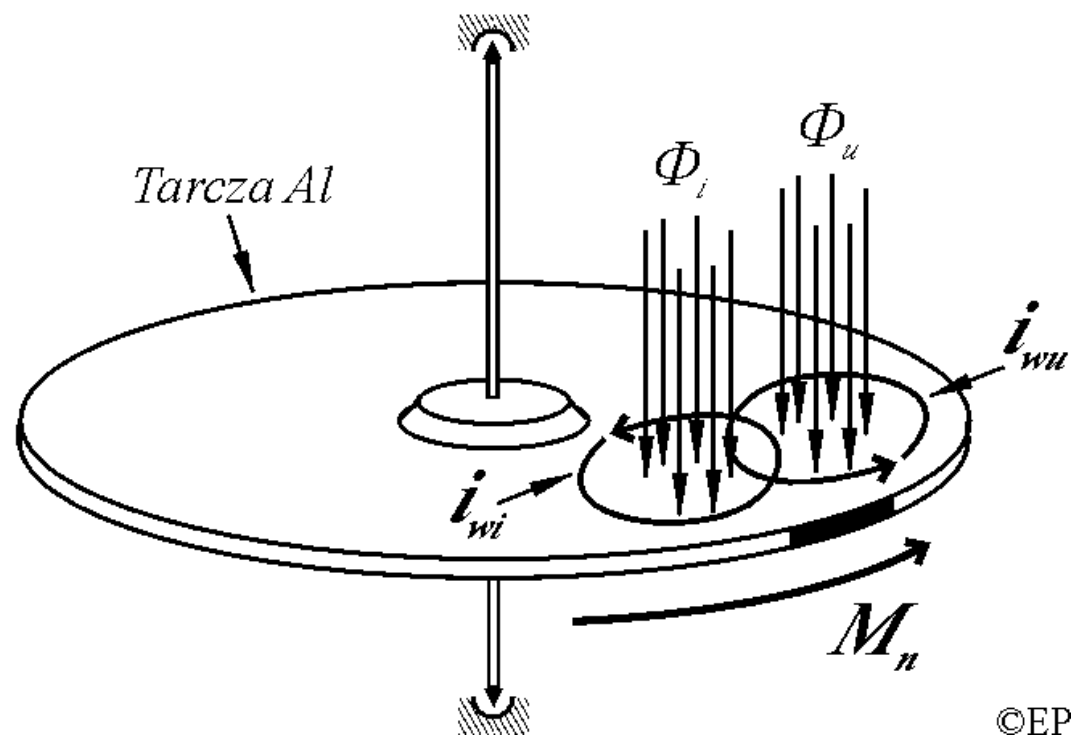
Schemat blokowy licznika energii elektrycznej

Licznik energii elektrycznej – zasada działania



Licznik energii elektrycznej – moment napędowy

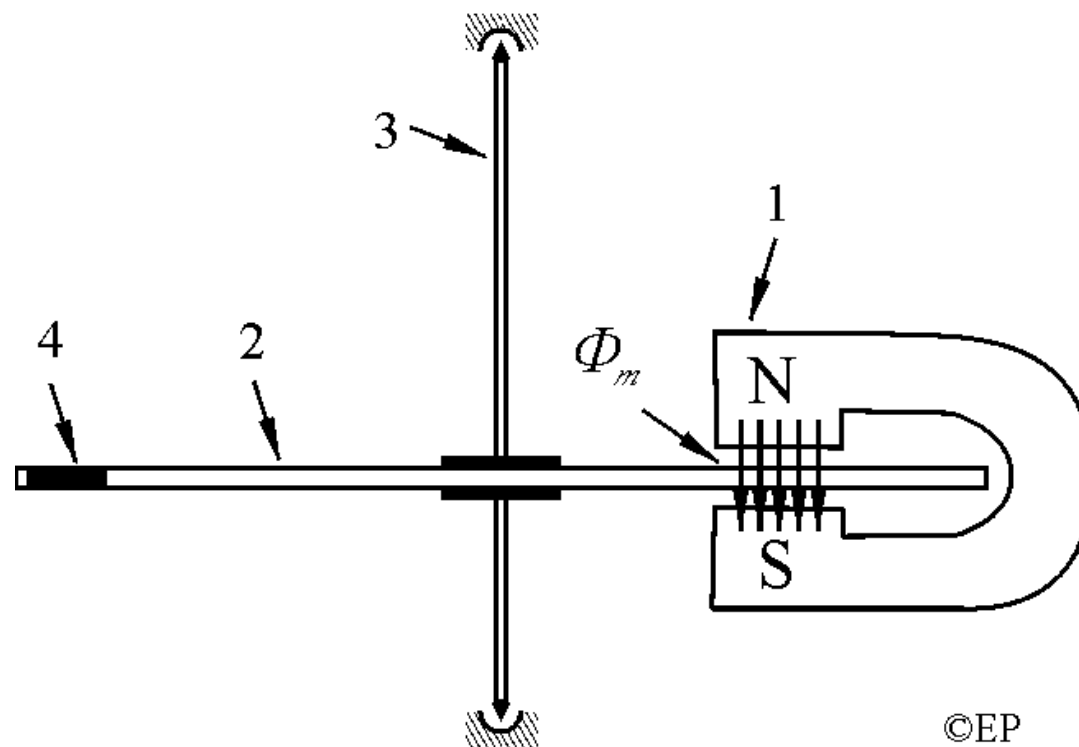
$$\boxed{M_n} = k_m \omega \Phi_u \Phi_i \sin \psi = kUI \cos \varphi = \boxed{kP}$$



Moment napędowy jest proporcjonalny do mocy czynnej

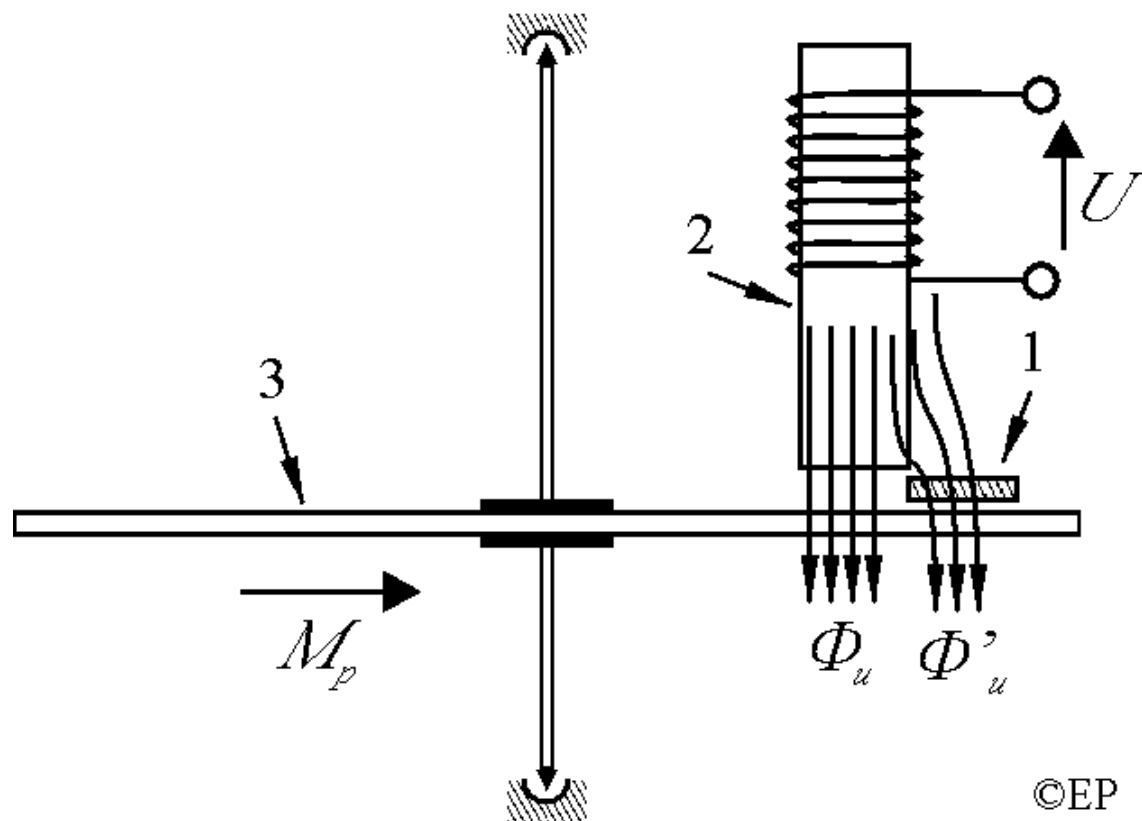
Licznik energii elektrycznej – moment hamujący

$$M_h = c_h \Phi_m^2 \frac{dN}{dt}$$



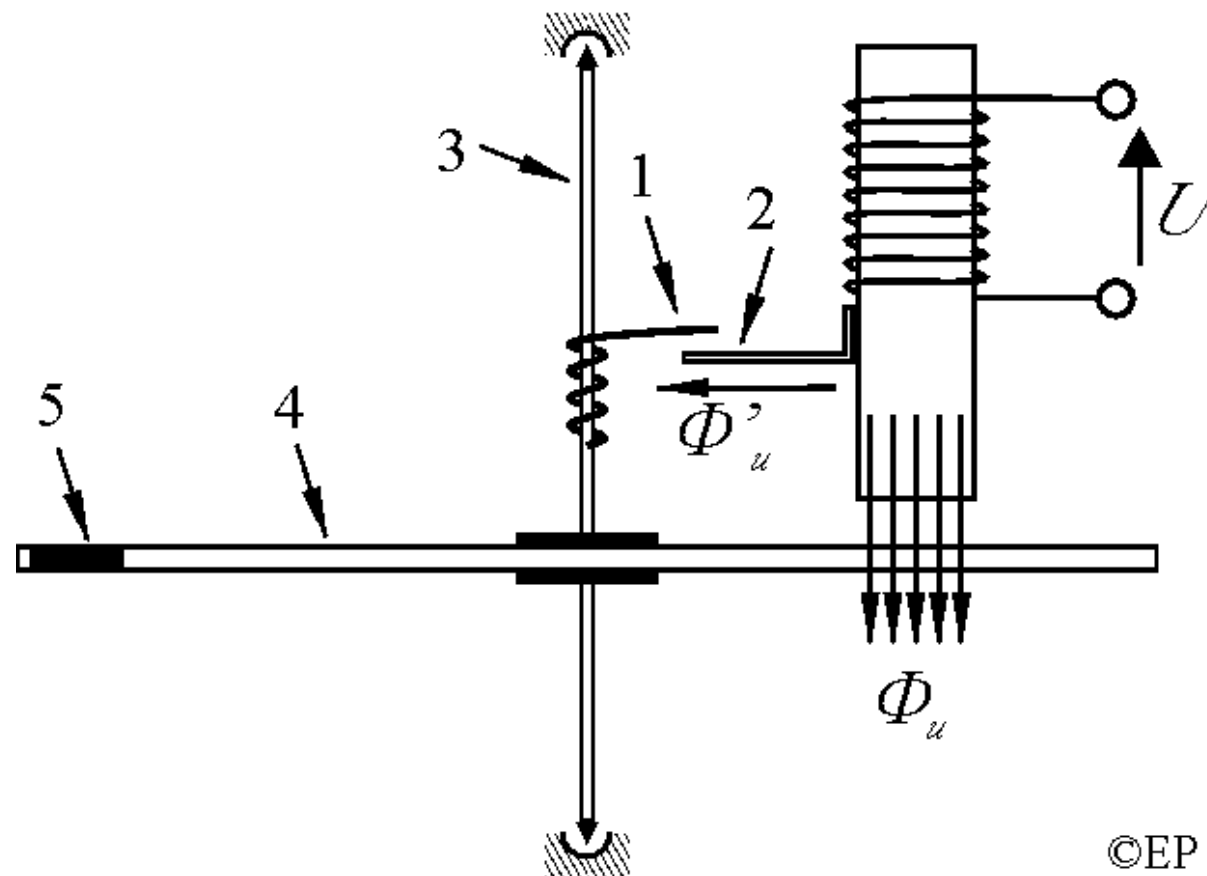
Moment hamujący jest proporcjonalny do prędkości obrotowej

Licznik energii elektrycznej – moment pomocniczy



Moment pomocniczy ma stałą wartość równoważącą moment tarcia, co objawia się występowaniem tendencji do ruchu tarczy wirnika

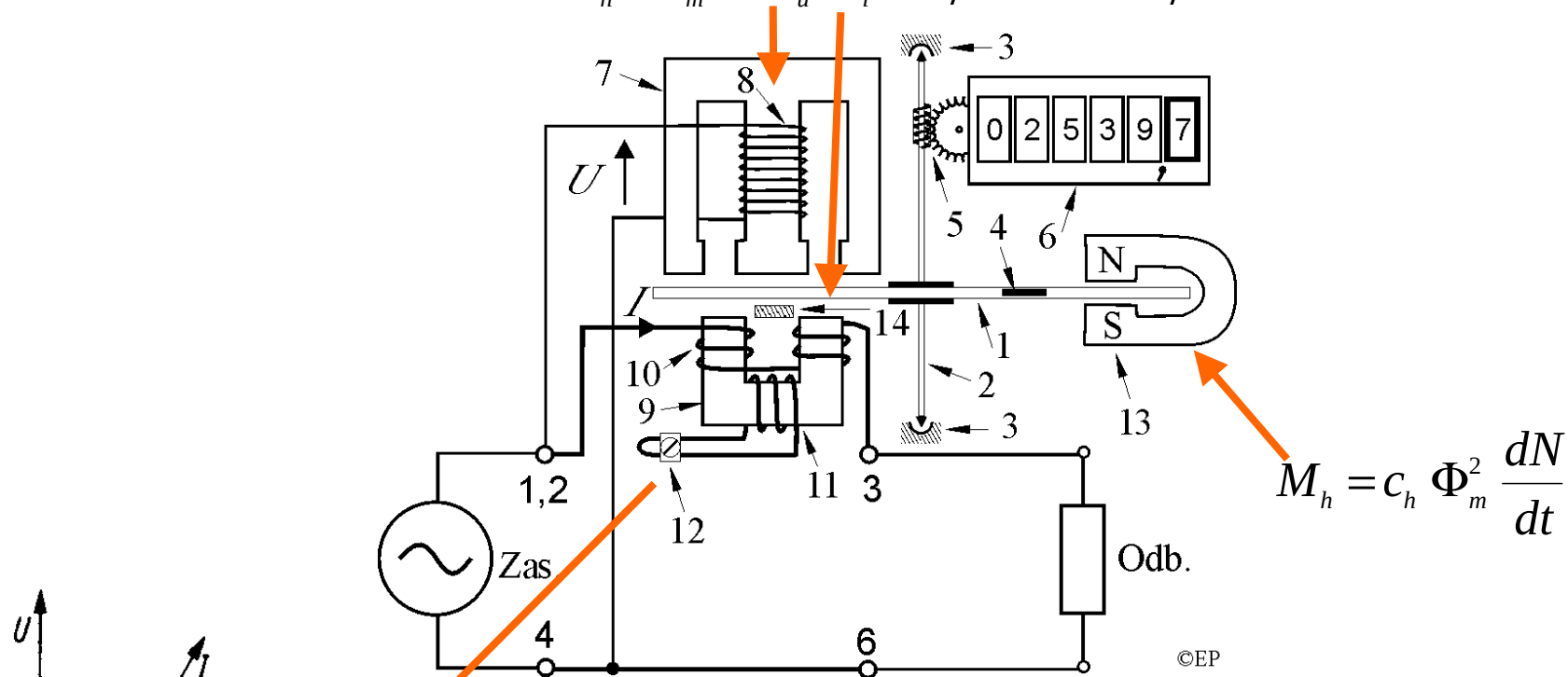
Licznik energii elektrycznej – hamulec biegu jałowego



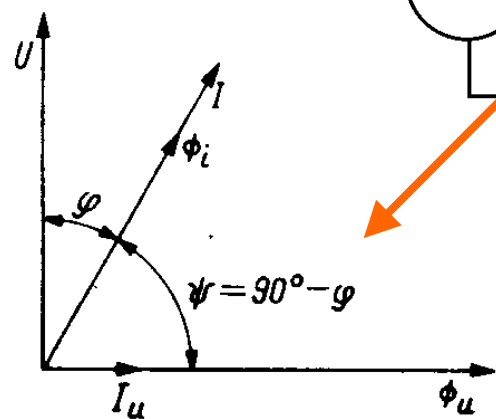
Hamulec biegu jałowego zatrzymuje bieg jałowy licznika

Licznik energii elektrycznej - budowa

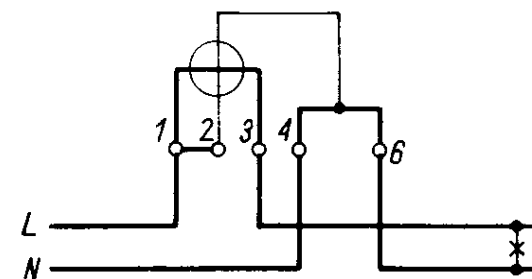
$$M_n = k_m \omega \Phi_u \Phi_i \sin \psi = kUI \cos \varphi = kP$$



$$M_h = c_h \Phi_m^2 \frac{dN}{dt}$$



Wyidealizowany wykres wektorowy
licznika indukcyjnego



Sposób połączenia licznika jednofazowego

Licznik energii elektrycznej - wzory

$$M_n = k_m \omega \Phi_u \Phi_i \sin \psi = k UI \cos \varphi = kP$$

Moment napędowy proporcjonalny
do mocy czynnej

$$M_h = c_h \Phi_m^2 \frac{dN}{dt}$$

Moment hamujący proporcjonalny
do prędkości obrotowej

$$M_n = M_h \Leftrightarrow \frac{dN}{dt} = \text{const} = n = C_{zn} P$$

Prędkość obrotowa proporcjonalna
do mocy czynnej

$$A_p = \int_{t_1}^{t_2} P(t) dt = \frac{1}{C_{zn}} \int_{t_1}^{t_2} n dt = \frac{1}{C_{zn}} \int_{N_1}^{N_2} dN = \frac{1}{C_{zn}} (N_2 - N_1) = \frac{1}{C_{zn}} N$$

Energia elektryczna proporcjonalna
do liczby obrotów

STAŁA LICZNIKA ZNAMIONOWA:

$$C_{zn} = \frac{N}{A_p} \quad [C_{zn}] = \frac{\text{obr.}}{\text{kWh}}$$

Licznik energii elektrycznej - regulacje

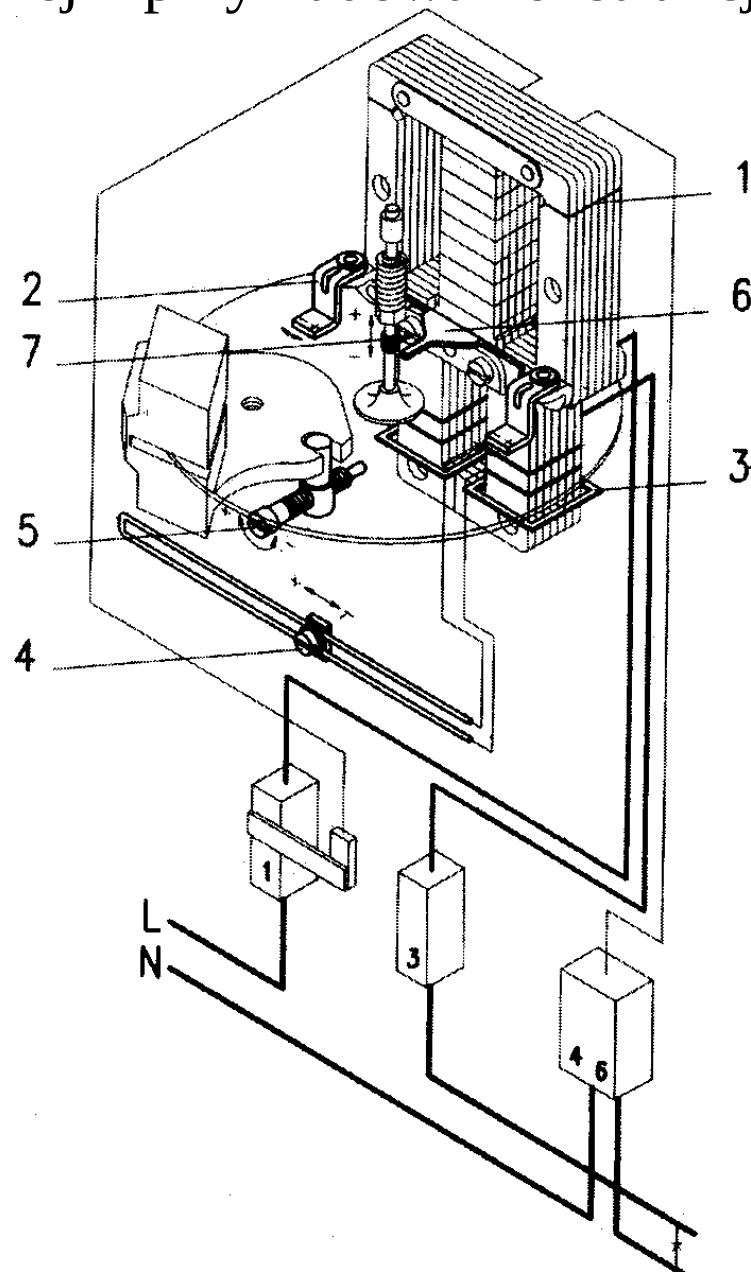
- Regulacja momentu pomocniczego dla skompensowania tarcia.
- Regulacja hamulca biegu jałowego do skompensowania momentu pomocniczego (zatrzymanie tarczy bez poboru mocy).
- Regulacja kąta fazowego dla uzyskania zgodności $\cos\varphi = \sin\psi$.
- Regulacja momentu hamującego dla uzyskania minimalnych błędów dla 100% prądu bazowego.
- Sprawdzenie regulacji: pomiar mocy rozruchu, wyznaczenie krzywej błędów.

Licznik energii elektrycznej - wymagania

Prawidłowo działający licznik powinien:

- posiadać błędy nie przekraczające wartości granicznych określonych w rozporządzeniu,
- posiadać prąd rozruchu nie przekraczający wartości określonych w rozporządzeniu (0,4% lub 0,5% prądu bazowego),
- wykazywać tendencję do ruchu,
- nie wykazywać biegu jałowego przy otwartym torze prądowym i napięciu w zakresie od 80% do 110% napięcia odniesienia.

Licznik energii elektrycznej – przykładowa konstrukcja



- 1-elektromagnes napięciowy
- 2-regulacja momentu pomocniczego
- 3-zwój zwarty do regulacji zgrubnej kąta
- 4-regulacja płynna kąta fazowego
- 5-regulacja momentu hamującego
- 6-hamulec biegu jałowego, nieruchoma blaszka
- 7-ruchoma część hamulca biegu jałowego

Licznik energii elektrycznej – wyznaczanie błędów

Błąd liczony z podstawowej definicji

Błąd pomiaru energii

$$\delta A = \frac{A_x - A_p}{A_p}$$

Energia zmierzona

$$A_x = \frac{N}{C_{zn}}$$

Energia poprawna

$$A_p = P \cdot t_p$$

W praktyce wykorzystuje się **metodę mocy i czasu** lub **metodę licznika kontrolnego**

Wyznaczanie błędów według rozporządzenia

Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 7 stycznia 2008 r. w sprawie wymagań, którym powinny odpowiadać liczniki energii elektrycznej czynnej prądu przemiennego, oraz szczegółowego zakresu sprawdzeń wykonywanych podczas prawnej kontroli metrologicznej tych przyrządów pomiarowych [Dz.U. 2008 nr 11 poz. 63](#)

§19. 1. Błędy wskazań licznika wyznacza się metodą:

- 1) **mocy i czasu**, polegającą na obliczeniu czasu trwania N obrotów (impulsów) i porównaniu go z czasem zmierzonym przy znanej, stałej podczas pomiaru, mocy obciążenia licznika, albo
- 2) **licznika kontrolnego** polegającą na obliczeniu liczby impulsów (obrotów tarczy) licznika kontrolnego N_{kn} odpowiadających impulsom (obrotom tarczy) licznika badanego i porównaniu jej ze zmierzoną liczbą takich impulsów (obrotów tarczy) licznika kontrolnego N_k .

Źródło: Sejm RP,
<http://isip.sejm.gov.pl/>

Wyznaczanie błędów metodą mocy i czasu

§ 20. Błędy wskazań licznika indukcyjnego, wyznaczone metodą mocy i czasu, określa się przez pomiar czasu t_x , w którym tarcza przy danym obciążeniu mocą P wykonuje N obrotów, następnie wyliczenie wartości nominalnej czasu t_n , w którym tarcza licznika powinna wykonać N obrotów przy obciążeniu P , gdyby licznik wskazywał bezbłędnie, i obliczeniu błędu wskazania według wzoru:

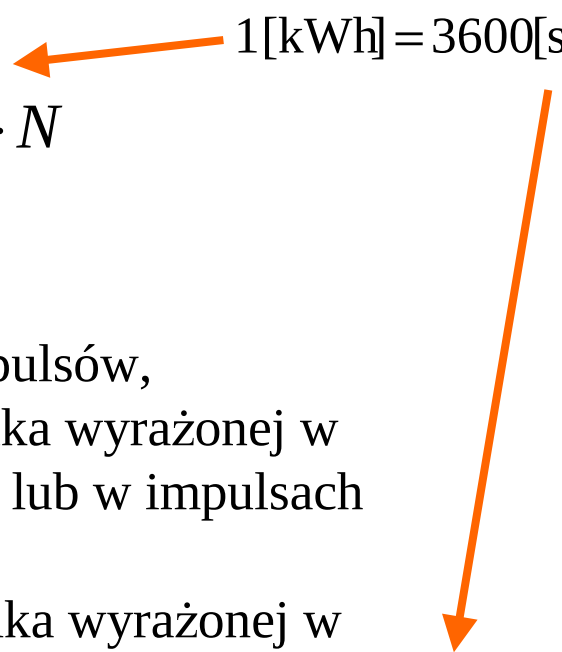
$$\delta A = \frac{t_n - t_x}{t_x} \cdot 100\%$$

Wyznaczanie błędów metodą mocy i czasu c.d.

§ 22.1. Stosując podczas sprawdzania metodę mocy i czasu, wartość nominalną czasu t_n , oznaczającą wartość liczbową czasu trwania N obrotów lub impulsów wyrażoną w sekundach, należy wyznaczyć zgodnie z wzorem:

$$t_n = \frac{3600 \cdot 10^3}{C \cdot P} \cdot N$$

$1[\text{kWh}] = 3600[\text{s}] \cdot 10^3 [\text{W}]$



gdzie:

N — liczba obrotów lub liczba impulsów,

C — wartość liczbowa stałej licznika wyrażonej w obrotach na kilowatogodzinę lub w impulsach na kilowatogodzinę

P — wartość liczbowa mocy licznika wyrażonej w watach.

$$A = P[\text{W}] \cdot t_n[\text{s}] = \frac{3600 \cdot 10^3}{C [\text{obr/kWh}]} \cdot N[\text{obr}]$$

Wyznaczanie błędów metodą mocy i czasu c.d.

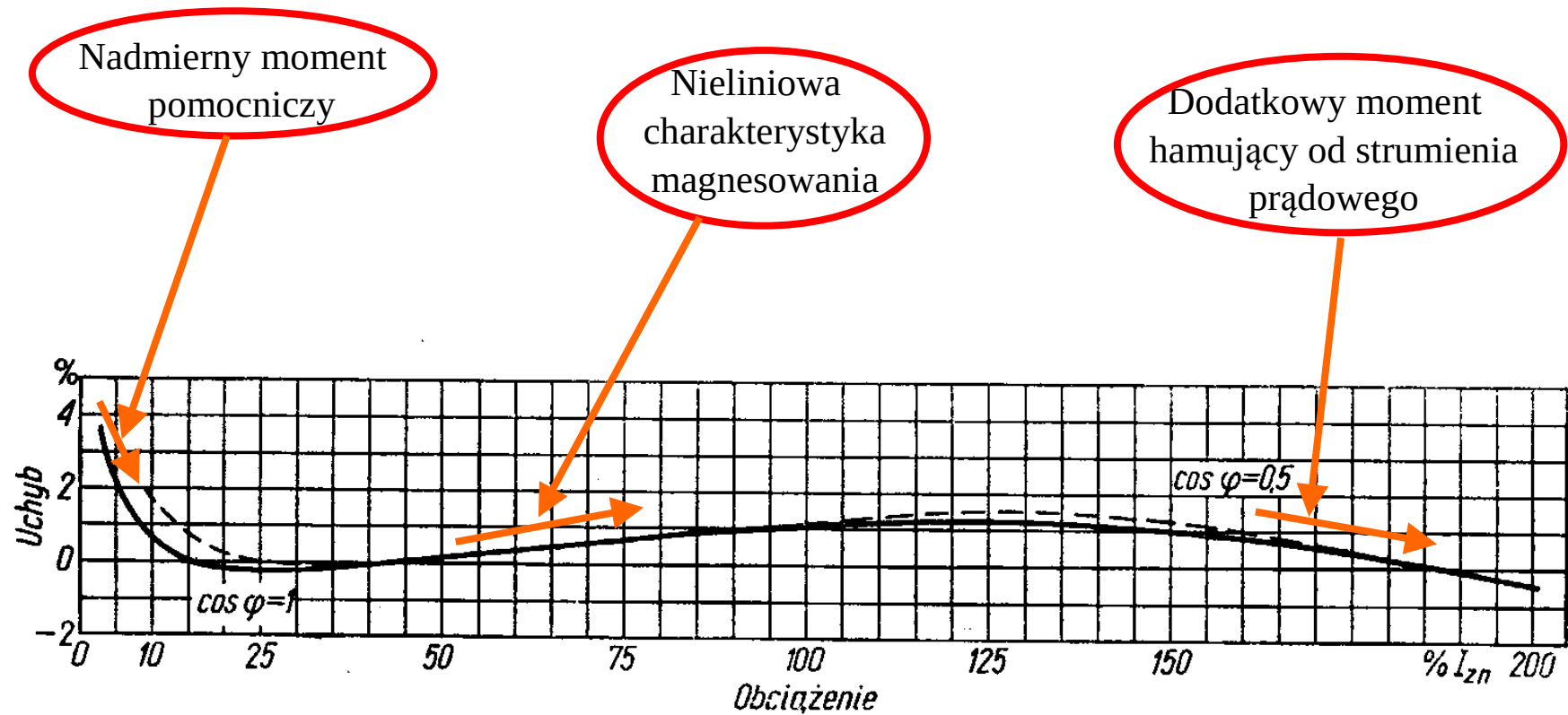
§ 23.1. Podczas sprawdzania błędu wskazań licznika metodą mocy i czasu powinno się stosować urządzenie do pomiaru czasu, sterowane przez urządzenie z głowicą fotoelektryczną lub przez elektryczne wyjście impulsowe licznika.

2. Przy sprawdzaniu błędu wskazań licznika klasy dokładności A i B dopuszcza się wykonanie pomiarów czasu urządzeniem do pomiaru czasu sterowanym ręcznie. W takim wypadku czas pomiaru nie może być krótszy niż 50 sekund.

§ 24.1. W przypadku licznika statycznego, sprawdzanego metodą mocy i czasu, przy wyborze liczby impulsów N powinno się uwzględniać zalecenia producenta, a w razie ich braku należy przyjąć $N \geq 10$ impulsów.

2. Podczas sprawdzania błędu wskazań licznika metoda mocy i czasu należy zapewnić stałość obciążenia licznika w czasie trwania pomiaru.

Licznik energii elektrycznej – krzywa błędów



Krzywa uchybów licznika typu EFk1

Licznik energii elektrycznej –błędy graniczne dopuszczalne

Załączniki do rozporządzenia Ministra Gospodarki
z dnia 7 stycznia 2008 r. (poz. 63)

Załącznik nr 1

BŁĘDY GRANICZNE DOPUSZCZALNE WSKAZAŃ LICZNIKA W ZALEŻNOŚCI OD RODZAJU LICZNIKA ORAZ PUNKTY OBCIĄŻENIA LICZNIKA

1. Błędy graniczne dopuszczalne wskazań oraz punkty obciążenia licznika indukcyjnego określa poniższa tabela.

Rodzaj licznika i obciążenia	Punkt obciążenia		Błędy graniczne dopuszczalne wskazań licznika wyrażone w % dla klas dokładności			
	prąd obciążenia	współczynnik mocy $\cos \varphi$	C	B	A 2 ¹⁾	2 ²⁾
Liczniki jednofazowe	0,1 I_b	1	$\pm 0,5$	$\pm 1,0$	$\pm 2,0$	$\pm 3,0$
	I_b	1	$\pm 0,5$	$\pm 1,0$	$\pm 2,0$	$\pm 2,5$
	I_b	0,5 (indukcyjny)	$\pm 0,8$	$\pm 1,0$	$\pm 2,0$	$\pm 2,5$
	I_{max}	1	$\pm 0,5$	$\pm 1,0$	$\pm 2,0$	$\pm 2,5$
Liczniki trójfazowe obciążone symetrycznie	0,1 I_b	1	$\pm 0,5$	$\pm 1,0$	$\pm 2,0$	$\pm 2,5$
	0,5 I_b ³⁾	1	$\pm 0,5$	$\pm 1,0$	$\pm 2,0$	—
	0,5 I_b ³⁾	0,5 (indukcyjny)	$\pm 0,8$	$\pm 1,0$	$\pm 2,0$	—
	I_b	1	$\pm 0,5$	$\pm 1,0$	$\pm 2,0$	$\pm 2,5$
	I_b	0,5 (indukcyjny)	$\pm 0,8$	$\pm 1,0$	$\pm 2,0$	$\pm 2,5$
	I_{max}	1	$\pm 0,5$	$\pm 1,0$	$\pm 2,0$	$\pm 2,5$
Liczniki trójfazowe przy obciążeniu tylko jednej fazy	I_b	1	$\pm 1,5$	$\pm 2,0$	$\pm 3,0$	$\pm 3,5$
	I_b	0,5 (indukcyjny)	$\pm 1,5$	$\pm 2,0$	$\pm 3,0$	$\pm 3,5$

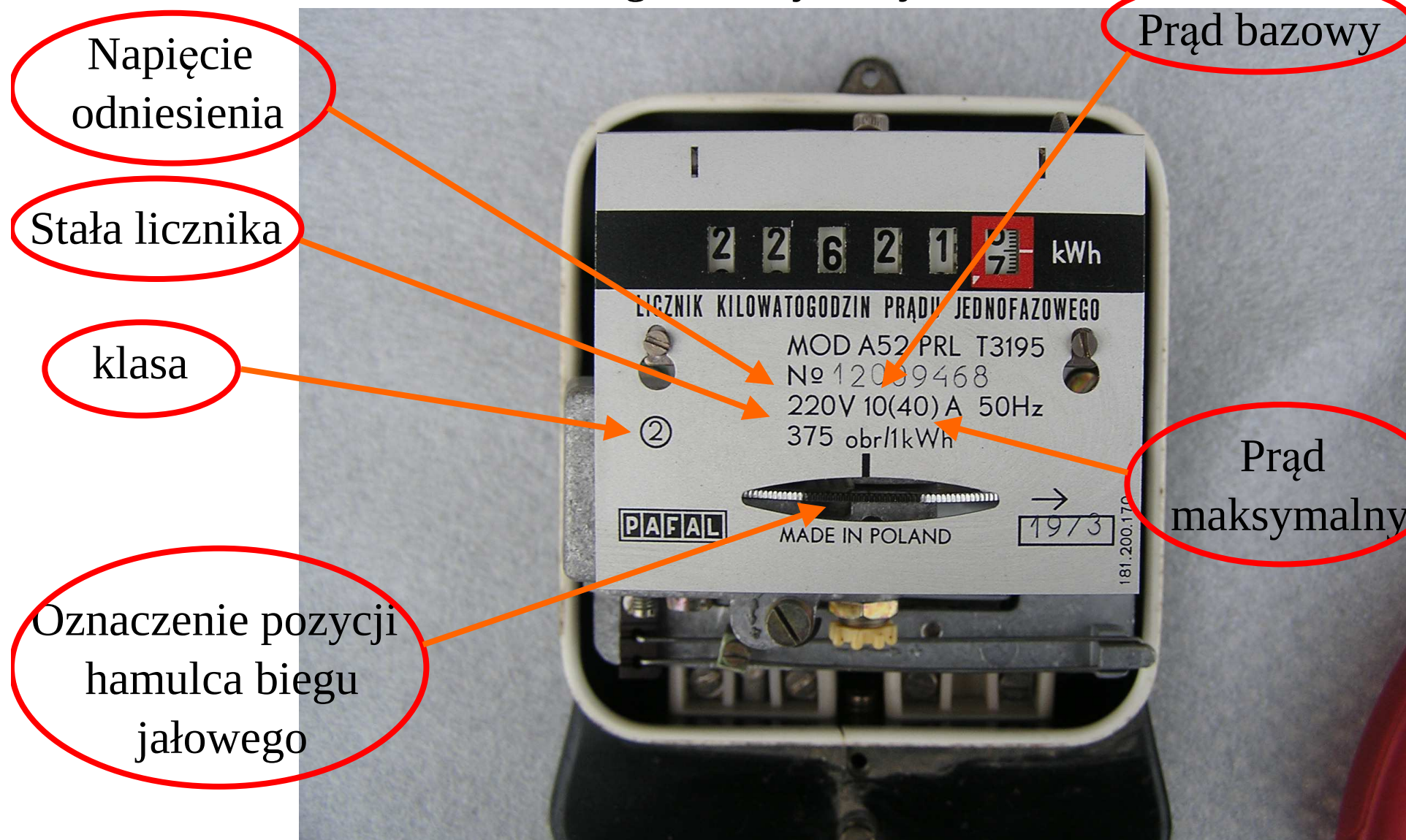
Eligiusz Pawłowski,
METROLOGIA EINS

¹⁾ Dotyczy liczników do pomiarów pośrednich i półpośrednich, o których mowa w § 2 ust. 1 pkt 1 rozporządzenia.

²⁾ Dotyczy liczników do pomiarów bezpośrednich, o których mowa w § 2 ust. 1 pkt 1 rozporządzenia.

³⁾ Dodatkowy punkt kontrolny do pomiarów dla liczników do pomiarów pośrednich i półpośrednich.

Licznik energii elektrycznej - widok



Wyznaczanie błędów metodą mocy i czasu - przykład

Ustalamy liczbę obrotów N dla której czas pomiaru będzie dłuższy od 50 sekund, dla napięcia odniesienia 220V i prądu bazowego 10A:

$$N = t_n \frac{C \cdot P}{3600 \cdot 10^3} = 50 \frac{375 \cdot 220 \cdot 10}{3600 \cdot 10^3} \approx 11,458 \approx 12 \text{ obr.}$$

Przyjmujemy liczbę obrotów $N=12$. Obliczamy wartość nominalną czasu t_n :

$$t_n = \frac{3600 \cdot 10^3}{C \cdot P} \cdot N = \frac{3600 \cdot 10^3}{375 \cdot 220 \cdot 10} \cdot 12 = 52,37 \text{ s}$$

Wyznaczanie błędów metodą mocy i czasu – przykład c.d.

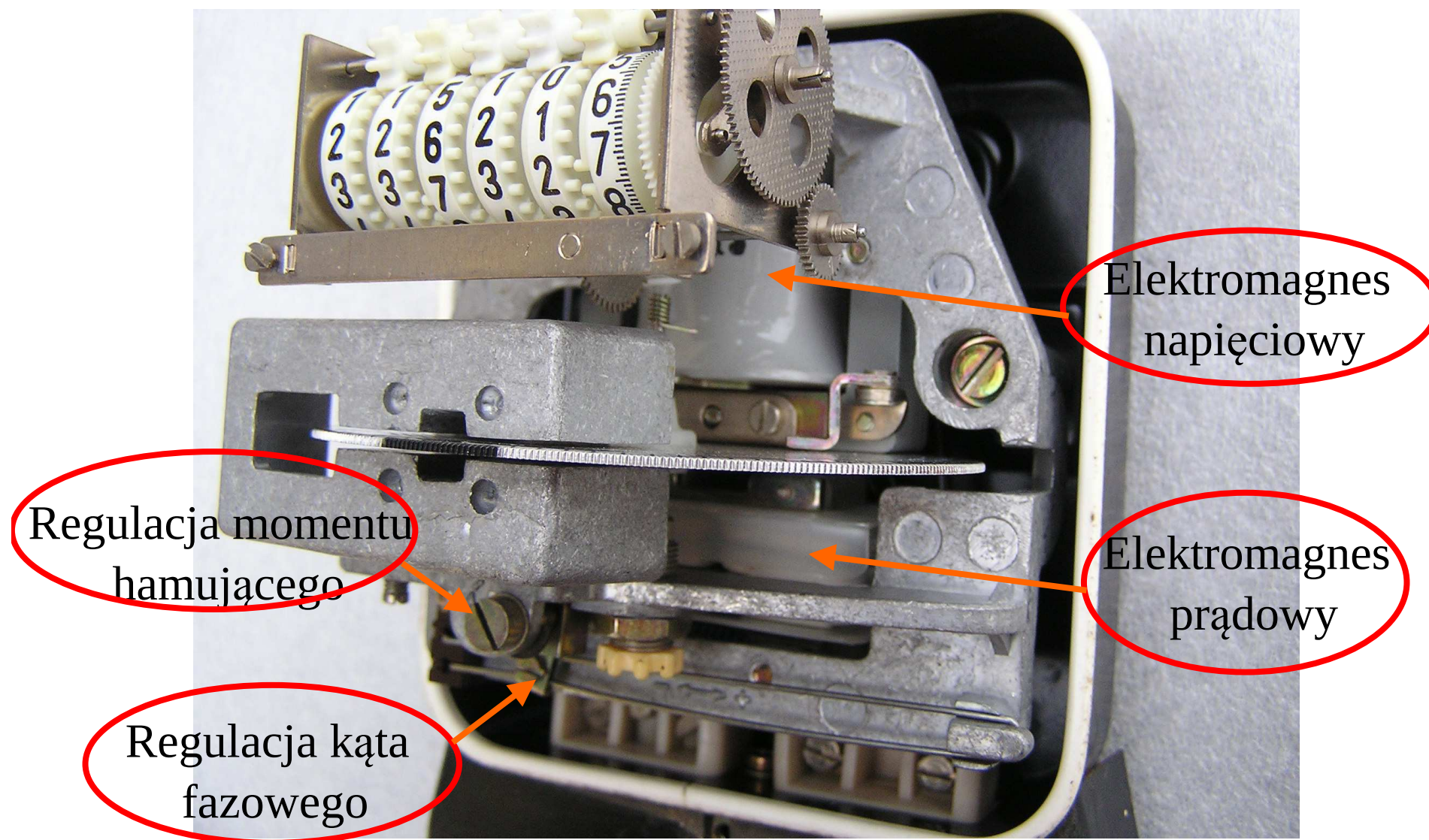
Mierzymy czas t_x trwania $N=12$ obrotów tarczy i zapisujemy do tabeli. Obliczany błąd licznika (przykładowo dla $t_x=52,1s$):

$$\delta A = \frac{52,37 - 52,1}{52,1} \cdot 100\% \approx 0,5\%$$

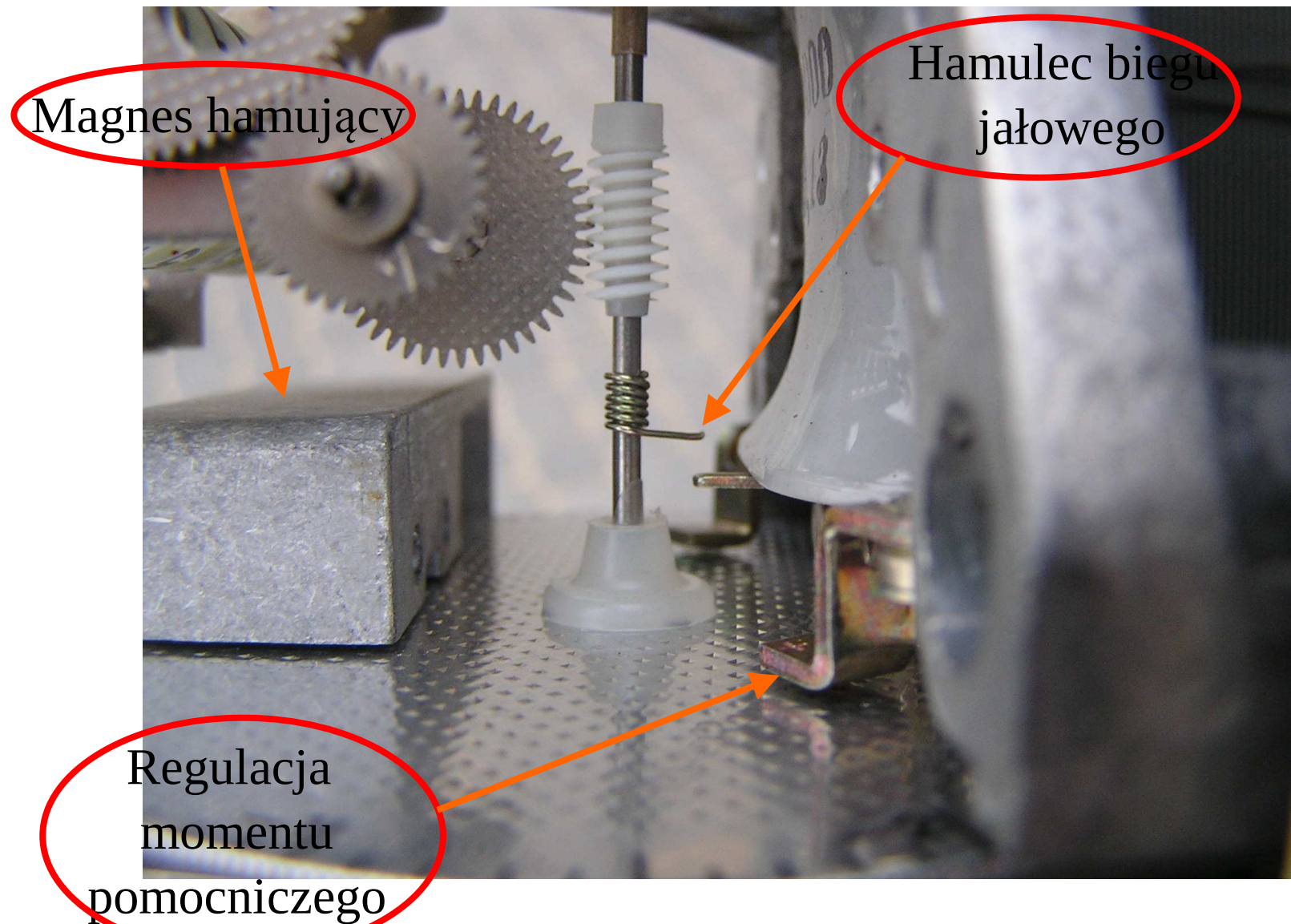
UWAGA! Należy zwrócić uwagę na znak błędu !

Otrzymaliśmy czas zmierzony t_x krótszy od czasu nominalnego t_n , czyli że tarcza obraca się za szybko, licznik nalicza **za dużo** energii, błąd jest **dodatni**.

Licznik energii elektrycznej - wnętrze



Licznik energii elektrycznej – hamulec biegu jałowego



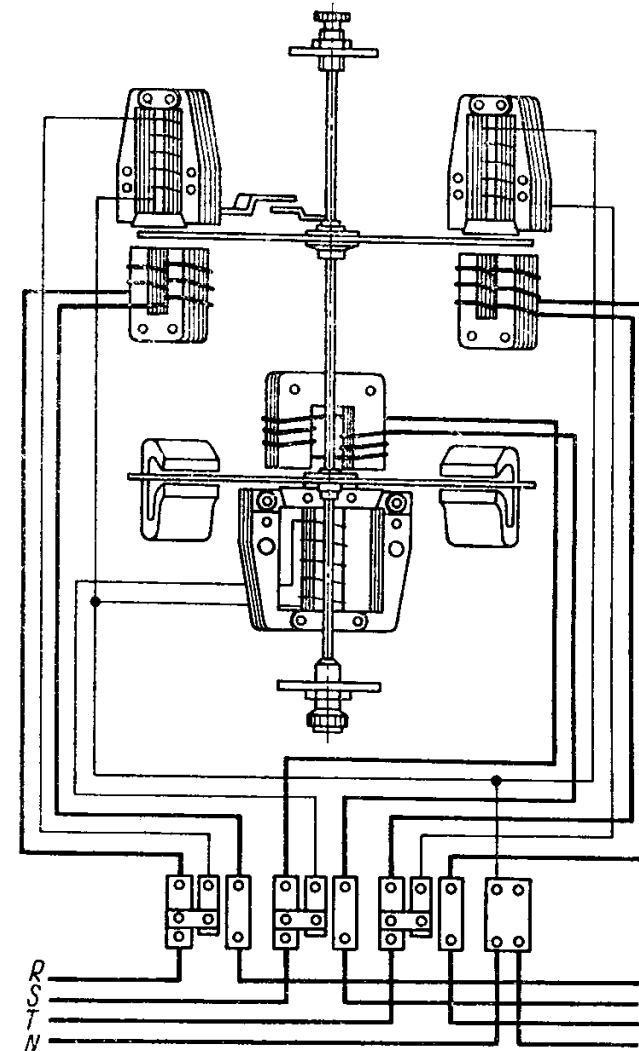
Licznik trójfazowy z trzema ustrojami

Licznik 3 - fazowy z 3 ustrojami

Sieć 3 - fazowa, 4 – przewodowa

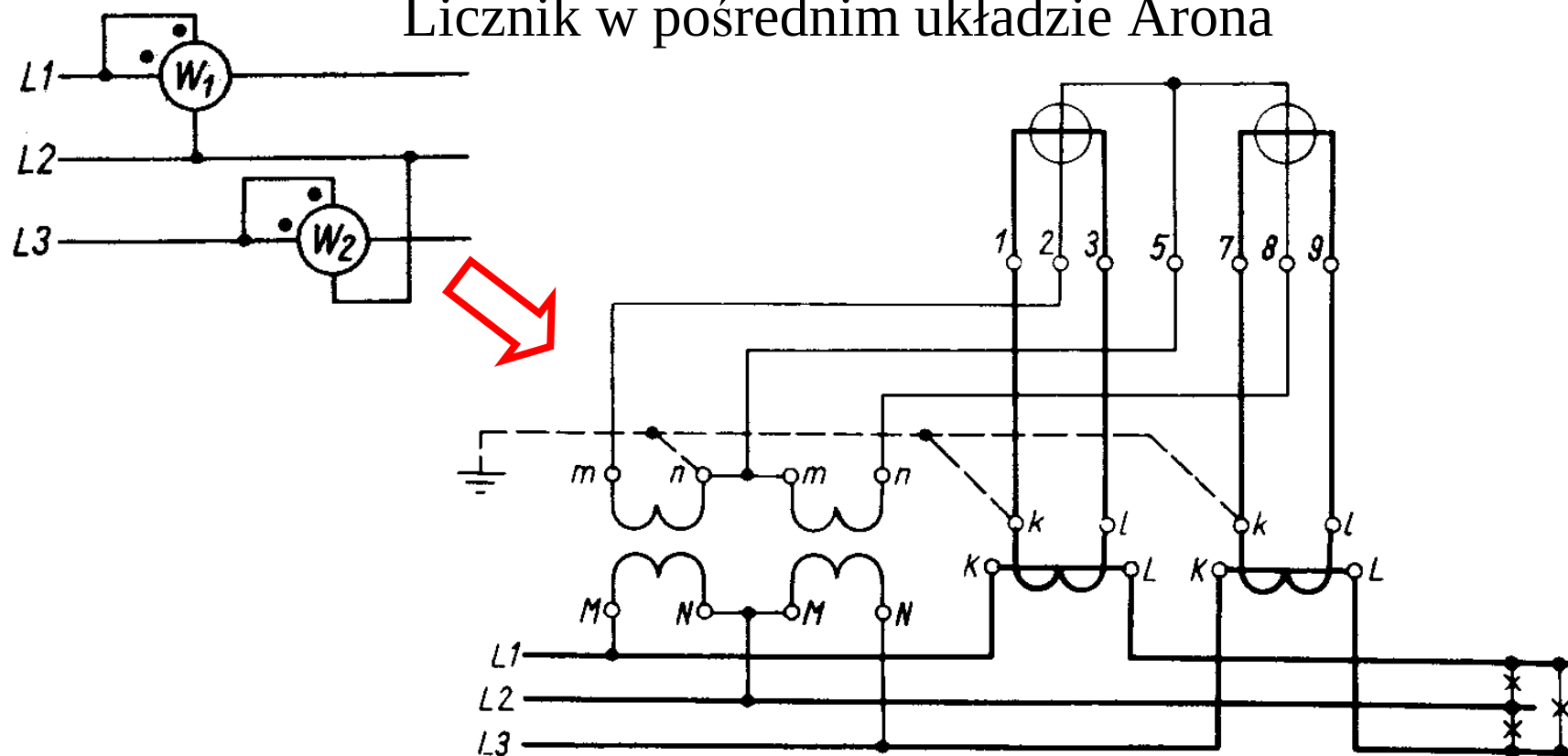
Odbiornik niesymetryczny lub symetryczny

Układ bezpośredni



Licznik indukcyjny o trzech ustrojach

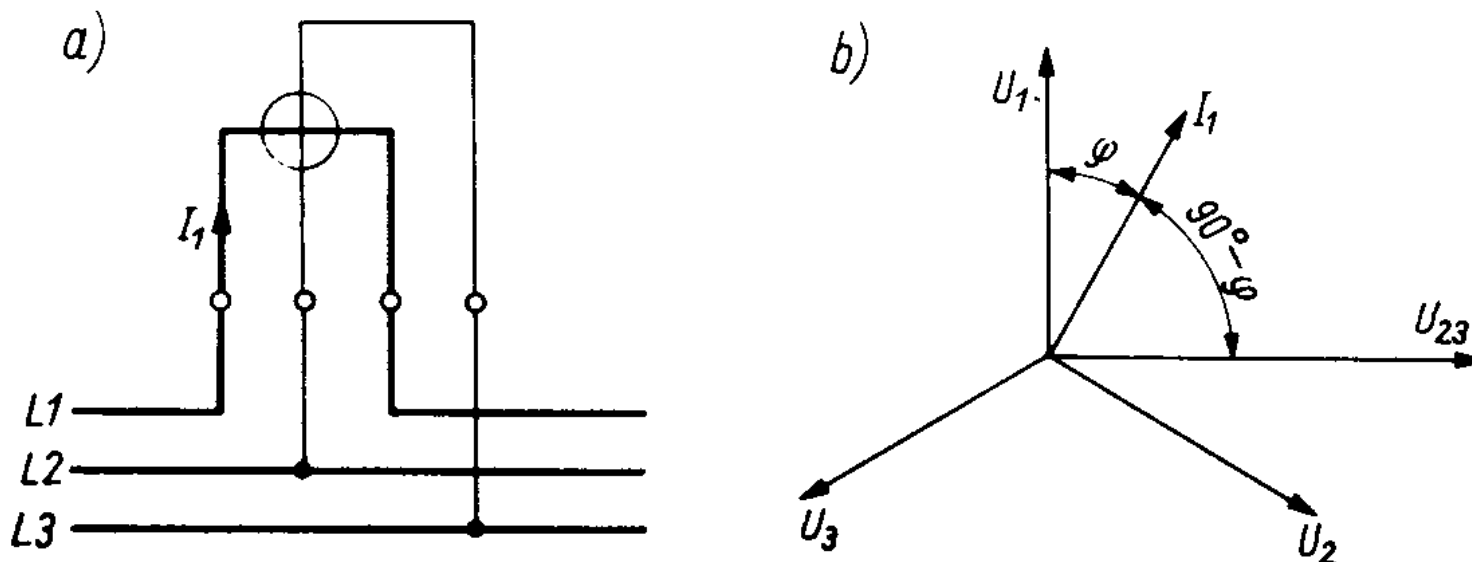
Licznik w pośrednim układzie Arona



Sposób połączenia licznika trójfazowego pośredniego w sieci wysokiego napięcia

Układy połączeń liczników energii elektrycznej w pełni odpowiadają odpowiednim układom połączeń watomierzy

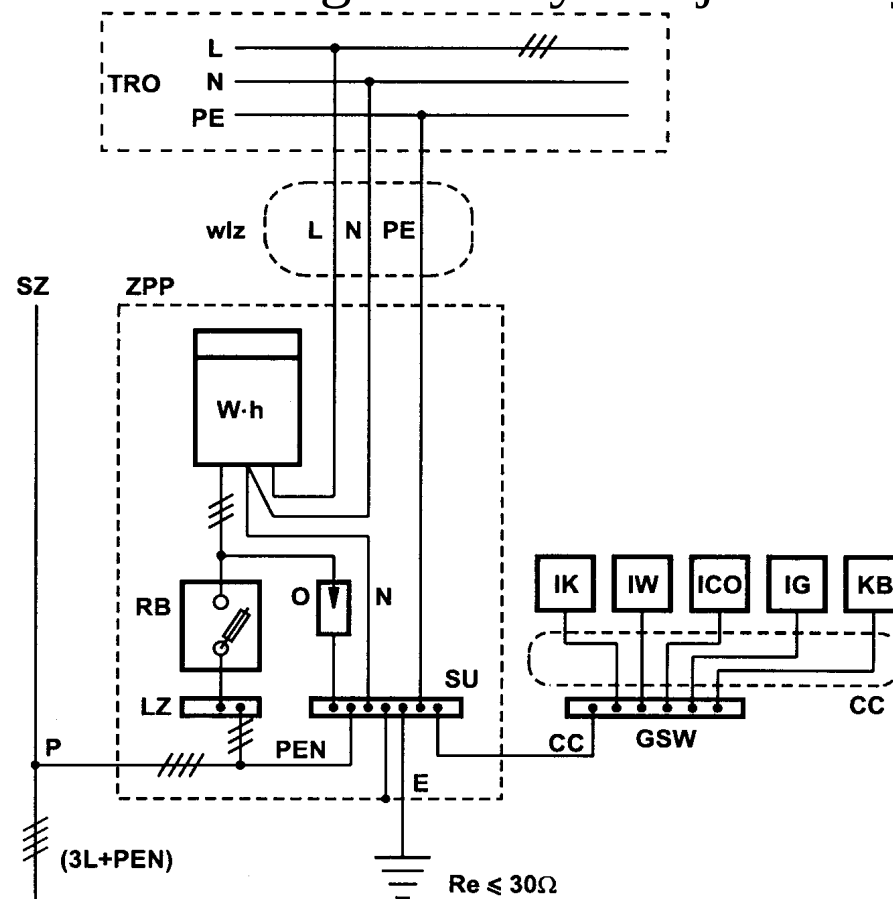
Pomiar energii biernej licznikiem energii czynnej



Zasada pomiaru energii biernej licznikiem energii czynnej: a) sposób włączenia licznika; b) wykres wektorowy

Układy połączeń liczników energii elektrycznej w pełni odpowiadają odpowiednim układom połączeń watomierzy

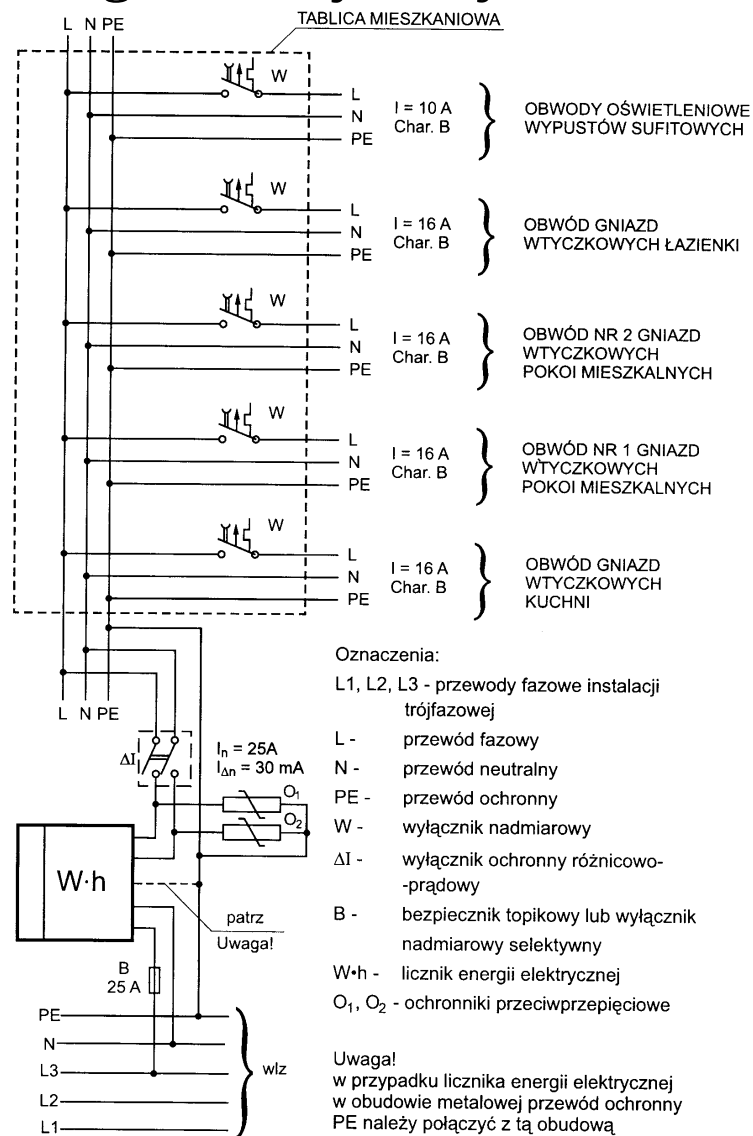
Pomiar energii elektrycznej w budynku



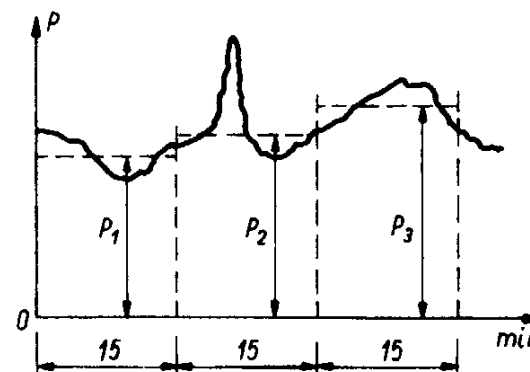
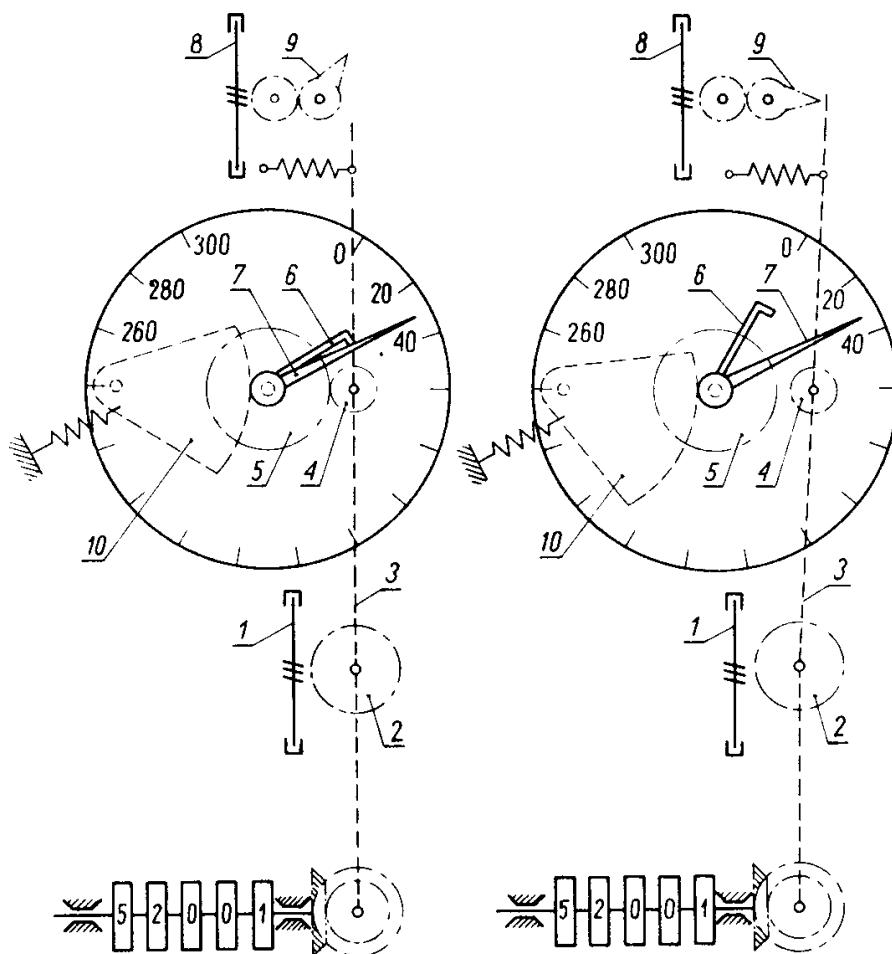
Uproszczony schemat ideowy zasilania w energię elektryczną pojedynczego budynku (indywidualnego odbiorcy)

Oznaczenia: SZ - sieć zasilająca niskiego napięcia; P - przyłącze; ZPP - zestaw przyłączeniowo pomiarowy; LZ - lista zaciskowa; RB - rozłącznik bezpiecznikowy; L - przewody fazowe; O - odgromnik; SU - szyna uziemiająca; Wh - licznik energii elektrycznej; TRO - tablica rozdzielcza odbiorcy; wlz - wewnętrzna linia zasilająca; GSW - główna szyna wyrównawcza w budynku; IK, IW, ICO, IG - instalacje odpowiednio w kolejności: kanalizacyjna, wodna, centralnego ogrzewania, gazowa; KB - konstrukcja metalowa (elementy metalowe konstrukcji) budynku, związane na przykład z fundamentem, ścianami itp.; N, PEN, PE, E, CC - przewody odpowiednio: neutralny, ochronno - neutralny, ochronny, uziemiający, wyrównawczy.

Pomiar energii elektrycznej w mieszkaniu



Liczniki energii elektrycznej specjalne

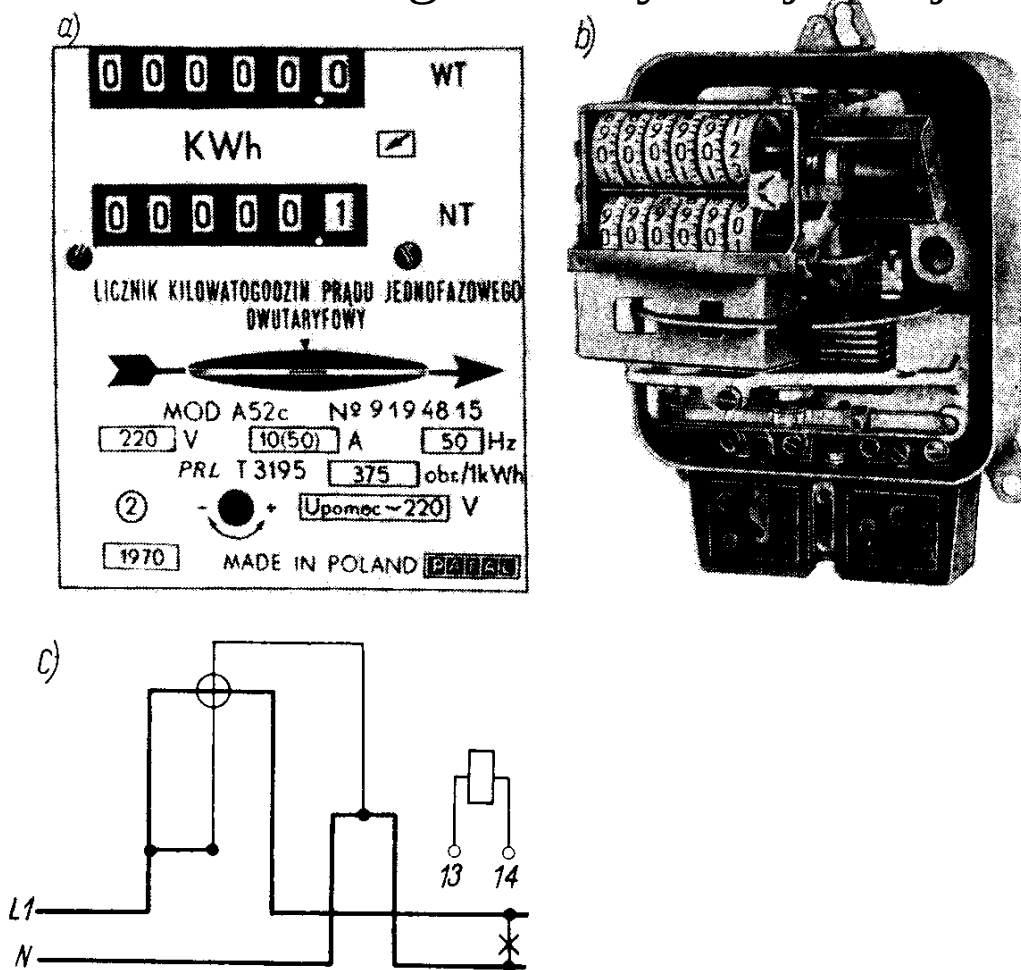


Wykres zmiennego obciążenia z zaznaczonymi wartościami mocy średniej w kolejnych cyklach pomiaru

Rys. 5.7. Zasada działania licznika ze wskaźnikiem średniej maksymalnej mocy 15-minutowej

1 — oś licznika, 2, 4, 5 — kółka zębate, 3 — oś napędowa, 6 — zabierak, 7 — wskazówka, 8 — oś zegara sterującego, 9 — krzywka odchylająca, 10 — segment ze sprężyną do cofania zabieraka do położenia zerowego

Liczniki energii elektrycznej specjalne



Licznik dwutaryfowy jednofazowy: a) czołowa strona licznika (widoczna w okienku strzałka wskazuje, które liczydło jest czynne; *WT* — wyższa taryfa, *NT* — niższa taryfa); b) widok po zdjęciu osłony (u góry po prawej stronie widoczny przełącznik przełączający liczydła); c) układ; 13 i 14 — zaciski do połączenia z zegarem sterującym przełączaniem liczydeł

Wpływ magnesu neodymowego na licznik indukcyjny

1. E. Pawłowski, Praca indukcyjnego licznika energii elektrycznej w obecności pola silnego magnesu trwałego, W: Systemy Pomiarowe w Badaniach Naukowych i w Przemśle : VIII konferencja naukowa, Łagów 21-23 czerwca 2010 : materiały konferencyjne, Oficyna Wydawnicza Uniwersytetu Zielonogórskiego, 2010, s. 123-126
2. E. Pawłowski, Wpływ pola silnego magnesu neodymowego na pracę indukcyjnego licznika energii elektrycznej : Influence of strong neodymium magnet field on operation of inductive watt-hour meters, PAK: Pomiary, Automatyka, Kontrola, 2010, vol. 56, nr 11, s. 1259-1261
3. E. Pawłowski, P. Warda, Influence of a strong external magnetic field from a permanent magnet on a measurement accuracy of an inductive Watt-Hour meter, 9th International Conference "New Electrical and Electronic Technologies and their Industrial Implementation", NEET 2015, Zakopane, Poland, June 23 – 26, 2015, s. 80-80
4. E. Pawłowski, P. Warda, The influence of a strong external magnetic field from a permanent magnet on a measurement accuracy of an inductive watt-hour meter, PRZEGLAD ELEKTROTECHNICZNY - 2016, nr 8, vol. 92, s. 70-73
5. E. Pawłowski, Prawne, techniczne i metrologiczne skutki oddziaływania zewnętrznym polem silnego magnesu neodymowego na indukcyjny licznik energii elektrycznej, PRZEGLAD ELEKTROTECHNICZNY - 2017, nr 9, vol. 93, s. 124-129

Artykuł w Przeglądzie Elektrotechnicznym 9'2017 str. 124-129



Eligiusz Pawłowski,
METROLOGIA EINS

<http://pe.org.pl/articles/2017/9/25.pdf>

Eligiusz PAWŁOWSKI

Politechnika Lubelska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki, Katedra Automatyki i Metrologii

doi:10.15199/48.2017.09.25

Prawne, techniczne i metrologiczne skutki oddziaływania zewnętrznym polem silnego magnesu neodymowego na indukcyjny licznik energii elektrycznej

Streszczenie. Kradzież energii elektrycznej poprzez oddziaływanie silnym polem magnesu neodymowego na indukcyjny licznik energii elektrycznej stanowi istotny problem dla przedsiębiorstw energetycznych. W artykule przedstawiono wyniki badań skutków zastosowania magnesu neodymowego objawiających się przede wszystkim w postaci: ujemnego błędu pomiaru energii, zwiększenia prądu rozruchu oraz rozmagneśnienia magnesu hamującego licznika i trwałego uszkodzenia układu pomiarowego licznika.

Abstract. Stealing electricity using the influence of a strong neodymium magnet field on an inductive electricity meter is a significant problem of energy companies. The article presents the results of test of the effects of the application of neodymium magnets in the form of: a negative energy measurement errors, increasing inrush current and degaussing the brake magnet of the meter and permanent damage to the meter system. (Legal, technical and metrological effects of neodymium magnet field influence on inductive electricity meters).

Słowa kluczowe: kradzież energii elektrycznej, indukcyjny licznik energii elektrycznej, magnes neodymowy, dokładność pomiaru.
Keywords: electricity theft, inductive electricity meter, neodymium magnet, measurement accuracy.

Wstęp

Kradzież energii elektrycznej stanowi poważny problem dla przedsiębiorstw energetycznych. Szacuje się, że straty z tego tytułu na całym świecie sięgają 20 mld \$ dziennie [1]. Jednym ze sposobów kradzieży energii elektrycznej jest oddziaływanie silnym polem magnesu neodymowego na układ pomiarowy indukcyjnego licznika energii elektrycznej, co skutkuje nadmiernymi błędami pomiaru energii elektrycznej oraz trwałym uszkodzeniem układu pomiarowego licznika [2-16]. Wymagania techniczne dla liczników sprecyzowane są w Polskich Normach [17-20]. Prawne wymagania dla konstruowania, stosowania i sprawdzania liczników regulują ustawy [21-25], rozporządzenia ministrów [26-34] oraz zarządzenie Prezesa GUM [35]. W sprawach o kradzież energii elektrycznej brane są również pod uwagę wyroki Trybunału Konstytucyjnego [36] oraz Sądu Najwyższego [37-40], a problematyką sądowego dochodzenia roszczeń z tego tytułu zajmuje się wielu prawników [41, 42]. Rozległą problematykę kradzieży energii elektrycznej poruszają w swoich opracowaniach również organizacje konsumenckie [43, 44], Urząd Ochrony Konkurencji i Konsumentów [45, 46], Urząd Regulacji Energetyki [47-51]. Najwyższa Izba Kontroli [52] oraz Instytut Sobieskiego [53].

W Polsce nadal przeważają w zastosowaniach liczniki indukcyjne. W raporcie [53] klasyfikującym łącznie 10,7 mln liczników spośród 13,5 mln wszystkich liczników stosowanych w Polsce, około 93% stanowią liczniki indukcyjne, dominującymi typami są: jednofazowy A52 oraz trójfazowy C52. W Polsce wykrywane są kradzieże energii elektrycznej w ilości ok. 40 GWh rocznie [52]. Znaczna ich część dokonywana jest z użyciem magnesu neodymowego.

Wymagania stawiane licznikom energii elektrycznej

W Polsce liczniki energii elektrycznej mogą być wprowadzane do obrotu i użytkowania na podstawie Prawa o miarach [21] lub ustawy o systemie oceny zgodności [22]. Wszystkie liczniki podlegają obowiązkowej prawnej kontroli metrologicznej na podstawie rozporządzenia [26] według określonej procedury [27], ustalającej dla liczników okres ważności legalizacji na 15 lat. Mimo tego jednak kontrole wykazują znaczną ilość liczników użytkowanych przez przedsiębiorstwa energetyczne bez aktualnej legalizacji [52]. Rozporządzenie [26] określa zasadnicze wymagania dla przyrządów pomiarowych, zgodnie z którymi do przyrządu pomiarowego należy dołączyć instrukcję obsługi

zawierającą warunki stosowania przyrządu pomiarowego, a jego użytkowanie nie może się wiązać ze spełnieniem innych niż określone w tej instrukcji warunków w celu uzyskania poprawnych wyników pomiarów. Producent powinien określić dla przyrządu pomiarowego wielkości wpływające, które mogą mieć wpływ na dokładność przyrządu pomiarowego. Przyrząd pomiarowy musi być tak zaprojektowany, aby zachowywał odpowiednią stałość charakterystyk metrologicznych w przewidzianych dla niego warunkach środowiskowych oraz aby był zminimalizowany wpływ uszkodzenia mogącego spowodować niedokładny pomiar. Rozwiązania przyjęte w projekcie przyrządu pomiarowego muszą uwzględniać dającą się przewidzieć każdą możliwość jego niewłaściwego użycia. Przyrząd pomiarowy nie może mieć właściwości umożliwiających nieuczciwe jego użytkowanie, a możliwość niewłaściwego użycia przyrządu pomiarowego musi być ograniczona.

Rozporządzenie [29] określa wymagania szczegółowe dla liczników energii elektrycznej, zgodnie z którymi konstrukcja i wykonanie licznika a także materiały stosowane do ich wytworzenia powinny zapewnić zabezpieczenie licznika w sposób uniemożliwiający ingerencję do jego wnętrza oraz przypadkowe lub celowe zafalszowanie wskazań. Licznik powinien być instalowany i stosowany zgodnie z instrukcją obsługi licznika, która powinna zawierać w szczególności: szczegółowy opis instalacji licznika, informacje o przyczynach błędów, opis sposobu właściwego stosowania licznika, szczegółowy opis dopuszczalnych warunków otoczenia i miejsca użytkowania licznika oraz możliwych przeszkód i zaburzeń, z uwzględnieniem ich wpływu na wykonywane pomiary.

Norma [17] określa wymagania ogólne dla liczników: mechaniczne, klimatyczne i elektryczne, nie zawiera jednak żadnych wymagań w zakresie odporności na zewnętrzne stałe pole magnetyczne. Norma [18] określa wymagania szczegółowe dla liczników i podaje wymagania na zewnętrzne pole magnetyczne, ale tylko przemienne 50 Hz. Dopiero norma [19] definiuje dla licznika wymagania na odporność na pole magnetyczne stałe pochodzenia zewnętrznego oraz opisuje sposób przeprowadzania badań elektromagnesem o wartości siły elektromotorycznej równej 1000 amperozwojów. Do każdego typu licznika powinna być dołączona instrukcja obsługi zawierająca warunki środowiska elektromagnetycznego, do którego licznik jest przystosowany, przy czym przy rozpatrywaniu tego

Krótkie wprowadzenie – o co tu właściwie chodzi?

1. Nie wiadomo o co chodzi – a więc na pewno chodzi o

pieniądze!!!

2. Licznik energii elektrycznej należy do tej szczególnej grupy przyrządów pomiarowych, na podstawie wskazań których dokonywane są rozliczenia finansowe w ramach zawartych umów na dostawę i sprzedaż energii elektrycznej.

3. Z tego względu przyrządy te podlegają odpowiednim przepisom i muszą spełniać określone wymagania.

4. Wciąż pojawiają się doniesienia o próbach **kradzieży energii** na szkodę zakładów energetycznych poprzez oddziaływanie polem silnego magnesu trwałego na ustrój indukcyjnego licznika energii elektrycznej.

5. Stało się to możliwe od chwili pojawienia się na rynku tanich i łatwo dostępnych **magnesów neodymowych** o dużych rozmiarach i bardzo silnym polu magnetycznym.

Prawo energetyczne – definicja nielegalnego poboru energii

Art. 3. Użyte w ustawie określenia oznaczają:

(...)

18) **nielegalne pobieranie paliw lub energii** – pobieranie paliw lub energii bez zawarcia umowy, z całkowitym albo częściowym pominięciem układu pomiarowo-rozliczeniowego lub **poprzez ingerencję w ten układ mającą wpływ na zafałszowanie pomiarów dokonywanych przez układ pomiarowo-rozliczeniowy**;

(...)

W Kodeksie Karnym Art. 278. § 5. jest to **kradzież energii**

Art. 57. 1. W razie nielegalnego pobierania paliw lub energii, przedsiębiorstwo energetyczne może:

- 1) pobierać od odbiorcy, a w przypadku, gdy pobór paliw lub energii nastąpił bez zawarcia umowy, może pobierać od osoby lub osób nielegalnie pobierających paliwa lub energię **opłatę w wysokości określonej w taryfie**, chyba że nielegalne pobieranie paliw lub energii wynikało z wyłącznej winy osoby trzeciej, za którą odbiorca nie ponosi odpowiedzialności **albo**
- 2) **dochodzić odszkodowania na zasadach ogólnych**.
2. Należności z tytułu opłaty, o której mowa w ust. 1 pkt 1, **stwierdzone prawomocnym wyrokiem sądu** podlegają ściągnięciu w trybie przepisów ustawy z dnia 17 listopada 1964 r. – Kodeks postępowania cywilnego (Dz. U. z 2016 r. poz. 1822, z późn. zm.386)).

Kodeks Karny – przestępstwo kradzieży energii

Rozdział XXXV

Przestępstwa przeciwko mieniu

Art. 278. § 1. Kto zabiera w celu przywłaszczenia cudzą rzecz ruchomą,

podlega karze pozbawienia wolności od 3 miesięcy do lat 5.

§ 2. Tej samej karze podlega, kto bez zgody osoby uprawnionej uzyskuje cudzy program komputerowy w celu osiągnięcia korzyści majątkowej.

§ 3. W wypadku mniejszej wagi, sprawca podlega grzywnie, karze ograniczenia wolności albo pozbawienia wolności do roku.

§ 4. Jeżeli kradzież popełniono na szkodę osoby najbliższej, ściganie następuje na wniosek pokrzywdzonego.

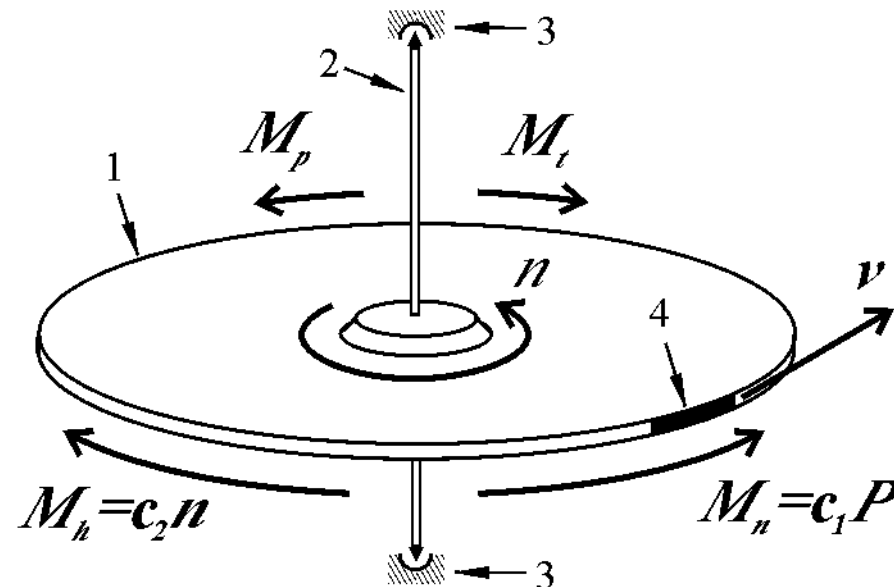
§ 5. Przepisy § 1, 3 i 4 stosuje się odpowiednio do kradzieży energii lub karty uprawniającej do podjęcia pieniędzy z automatu bankowego.

(...)

Art. 286. § 1. Kto, w celu osiągnięcia korzyści majątkowej, doprowadza inną osobę do niekorzystnego rozporządzenia własnym lub cudzym mieniem **za pomocą wprowadzenia jej w błąd** albo wyzyskania błędu lub niezdolności do należytego pojmowania przedsiębranego działania,

podlega karze pozbawienia wolności od 6 miesięcy do lat 8.

Wpływ pola zewnętrznego na licznik indukcyjny



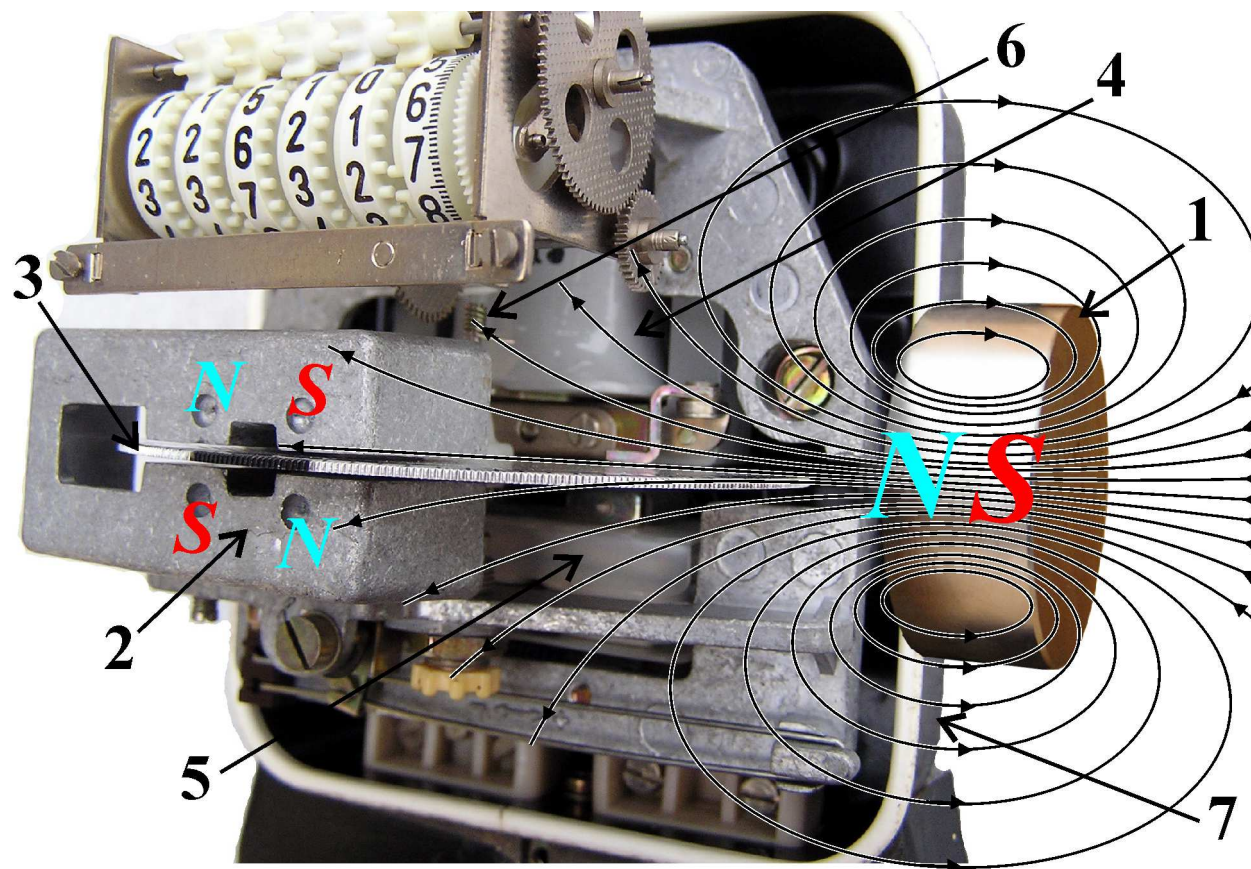
- 1-tracza
- 2-oś tarczy
- 3-łożyska
- 4-znacznik
- M_n -moment napędowy
- M_h -moment hamujący
- M_t -moment tarcia
- M_p -moment pomocniczy

$$M_h = M_n \quad \rightarrow \quad A = \frac{1}{C} N$$

Zewnętrzne pole magnetyczne wpływa na:

1. moment napędowy M_n
2. moment hamujący M_h
3. hamulec biegu jałowego (nie pokazany na tym rysunku)

Wpływ magnesu neodymowego na licznik indukcyjny



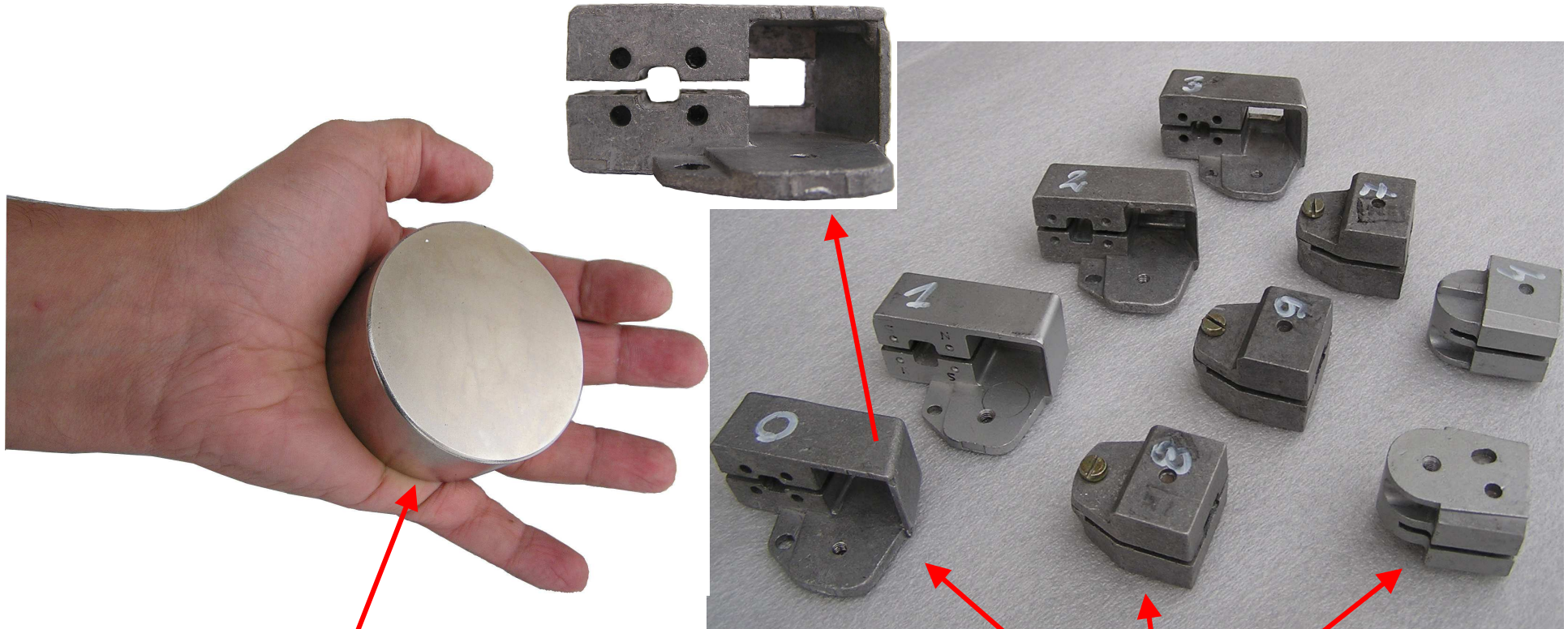
- 1 - magnes neodymowy
- 2 - magnes hamujący
- 3 - tarcza wirnika

- 4 - elektromagnes napięciowy
- 5 - elektromagnes prądowy
- 6 - hamulec biegu jałowego
- 7 - stalowa obudowa licznika

Wpływ magnezu neodymowego na licznik indukcyjny

1. Zwiększenie siły działania hamulca biegu jałowego – zwiększenie prądu rozruchu, efekt nietrwały, zanikający po ustąpieniu zewnętrznego pola.
2. Podmagnesowanie rdzeni elektromagnesów, zmniejszenie strumienia napięciowego i prądowego – wzrost błędów ujemnych o kilka, kilkanaście %, efekt nietrwały, zanikający po ustąpieniu zewnętrznego pola.
3. Dodatkowy moment hamujący od pola zewnętrznego magnezu neodymowego – wzrost błędów ujemnych, efekt nietrwały, zanikający po ustąpieniu zewnętrznego pola.
4. Osłabienie pola w szczelinie magnezu hamującego Alnico, wzrost błędów dodatnich nawet o kilkaset %, efekt trwały, utrzymujący się również po ustąpieniu zewnętrznego pola, co oznacza **trwałe uszkodzenie licznika**.
5. Trwałe namagnesowanie elementów konstrukcyjnych licznika (obudowa, śruby mocujące itp., bez wpływu na błędy pomiaru energii, efekt trwały, utrzymujący się również po ustąpieniu zewnętrznego pola.

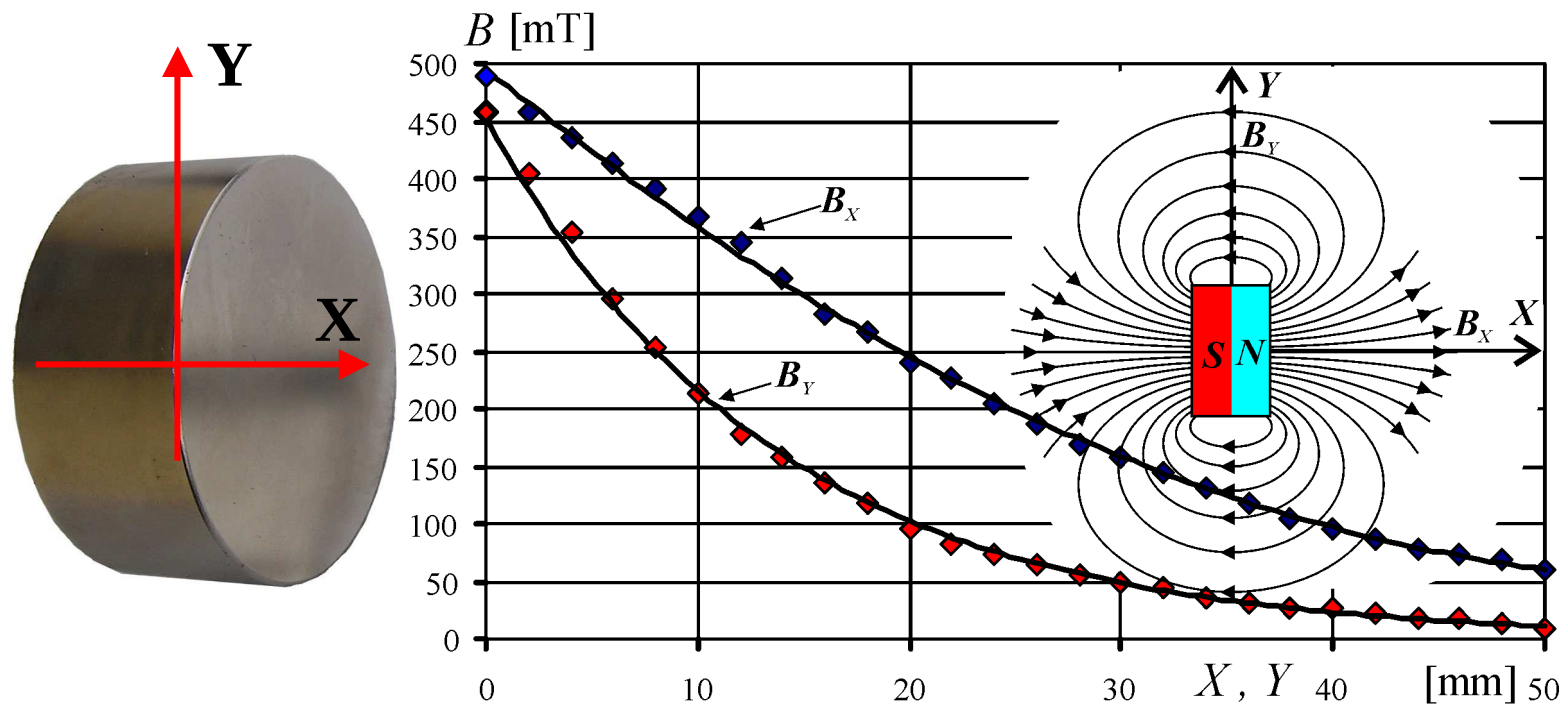
Sprawca problemów $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ i jego ofiary Alnico



Magnes neodymowy N42,
średnica $D=70\text{mm}$,
wysokość $H=30\text{mm}$

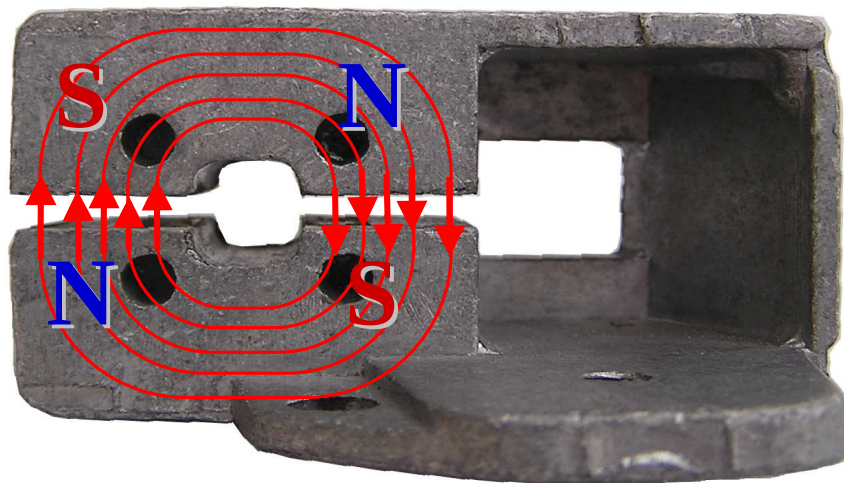
Magnesy Alnico stosowane
w różnych typach liczników

Pole magnesu neodymowego Nd₂Fe₁₄B



Indukcja B pola magnesu neodymowego N42, o średnicy $D=70\text{mm}$ i wysokości $H=30\text{mm}$, w kierunku X równoległym do osi symetrii magnesu i w kierunku Y prostopadłym do tej osi

Pole magnesu hamującego Alnico z licznika indukcyjnego

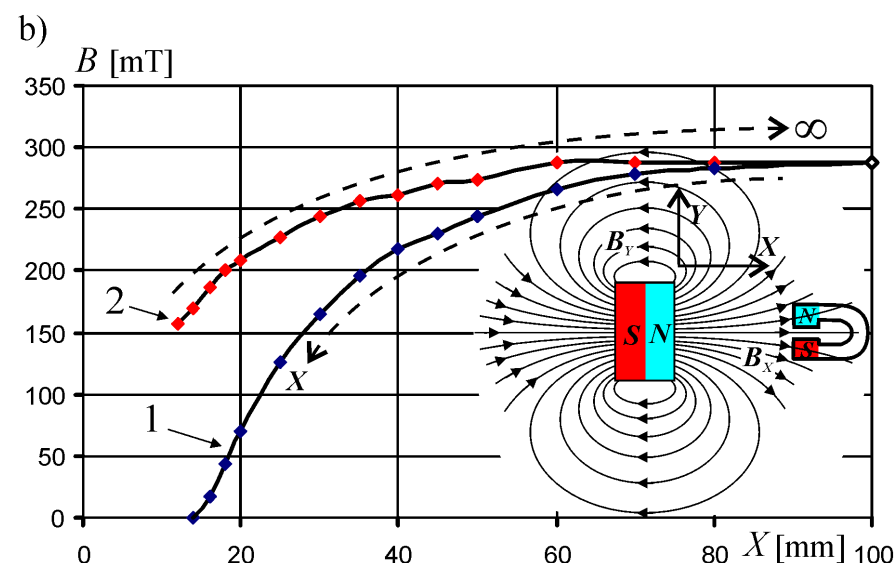
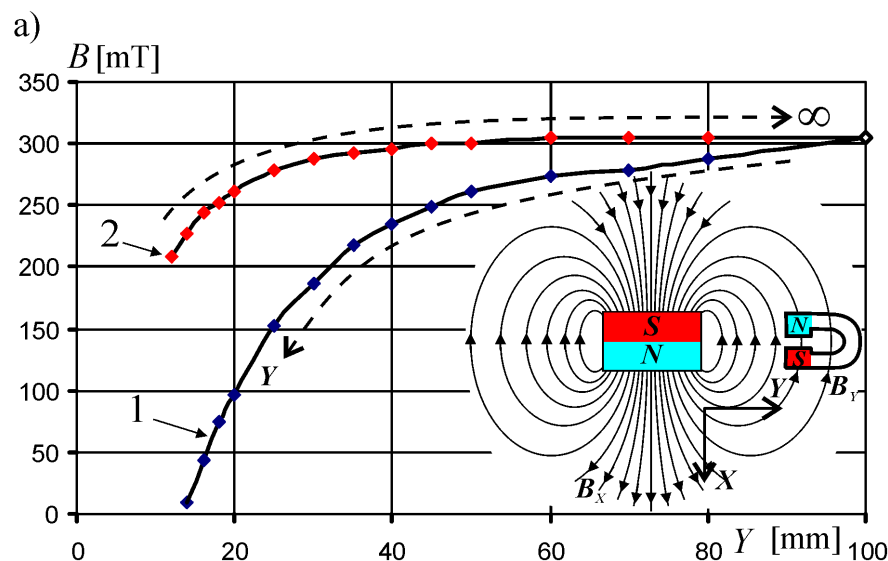


Indukcja magnetyczna w szczelinie wynosi ok. 250-350 mT zależnie od typu licznika i roku produkcji.

Powierzchnia każdej szczeliny wynosi ok. 2cm².

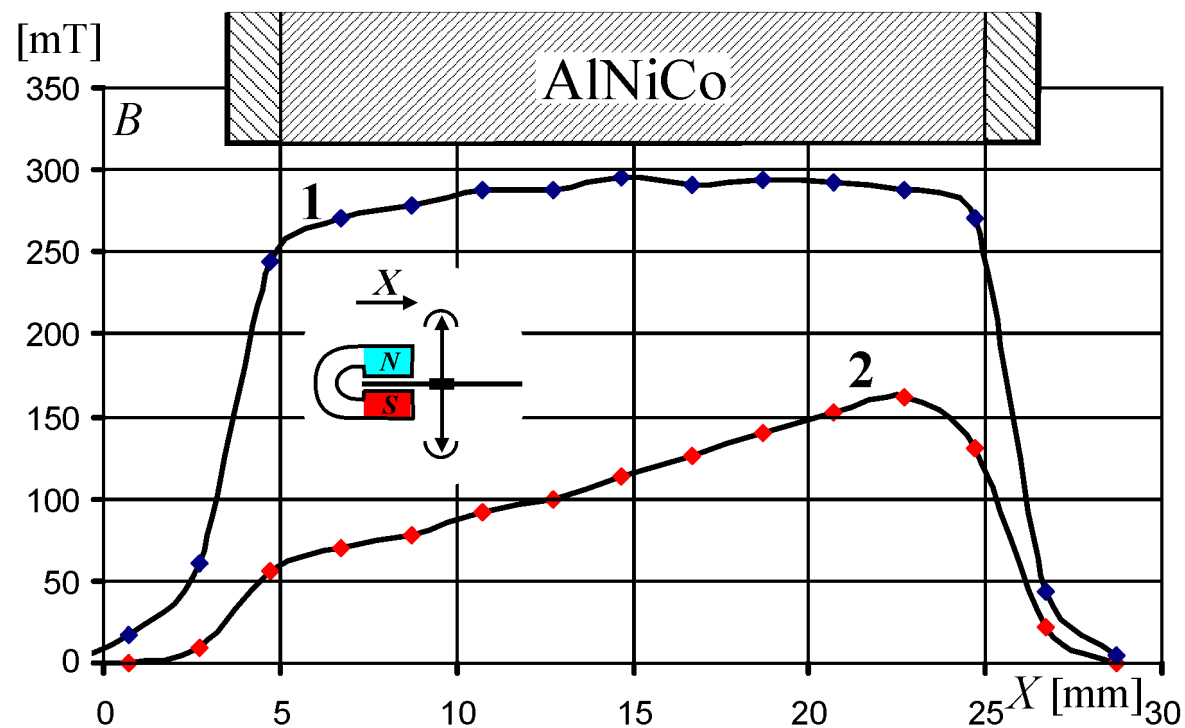
W sąsiednich szczelinach pole magnetyczne ma przeciwny zwrot, dlatego zewnętrzne pole magnetyczne zawsze (niezależnie od kierunku zewnętrznego pola) w jednej szczelinie się sumuje, a w drugiej szczelinie odejmuje się od pola magnesu Alnico.

Rozmagnesowanie magnesu hamującego licznika indukcyjnego



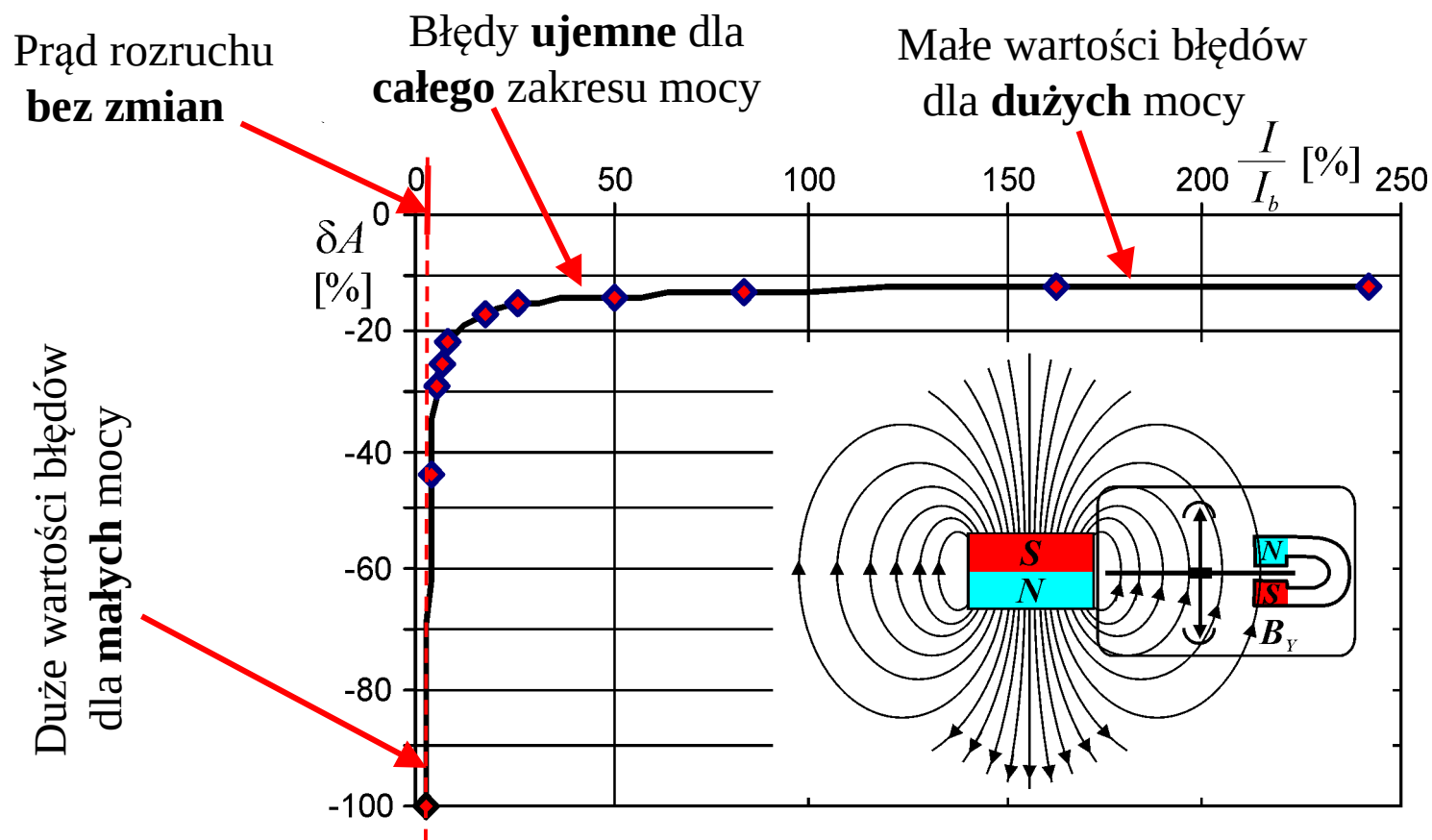
Efekt rozmagnesowania magnesu hamującego licznika A52 magnesem neodymowym: a) zewnętrzne pole prostopadłe do szczeliny, b) zewnętrzne pole równoległe do szczeliny, 1-pole magnesu hamującego po zbliżeniu magnesu neodymowego na zadaną odległość, 2-po oddaleniu magnesu neodymowego do ∞

Pole magnesu hamującego AlNiCo po rozmagnesowaniu



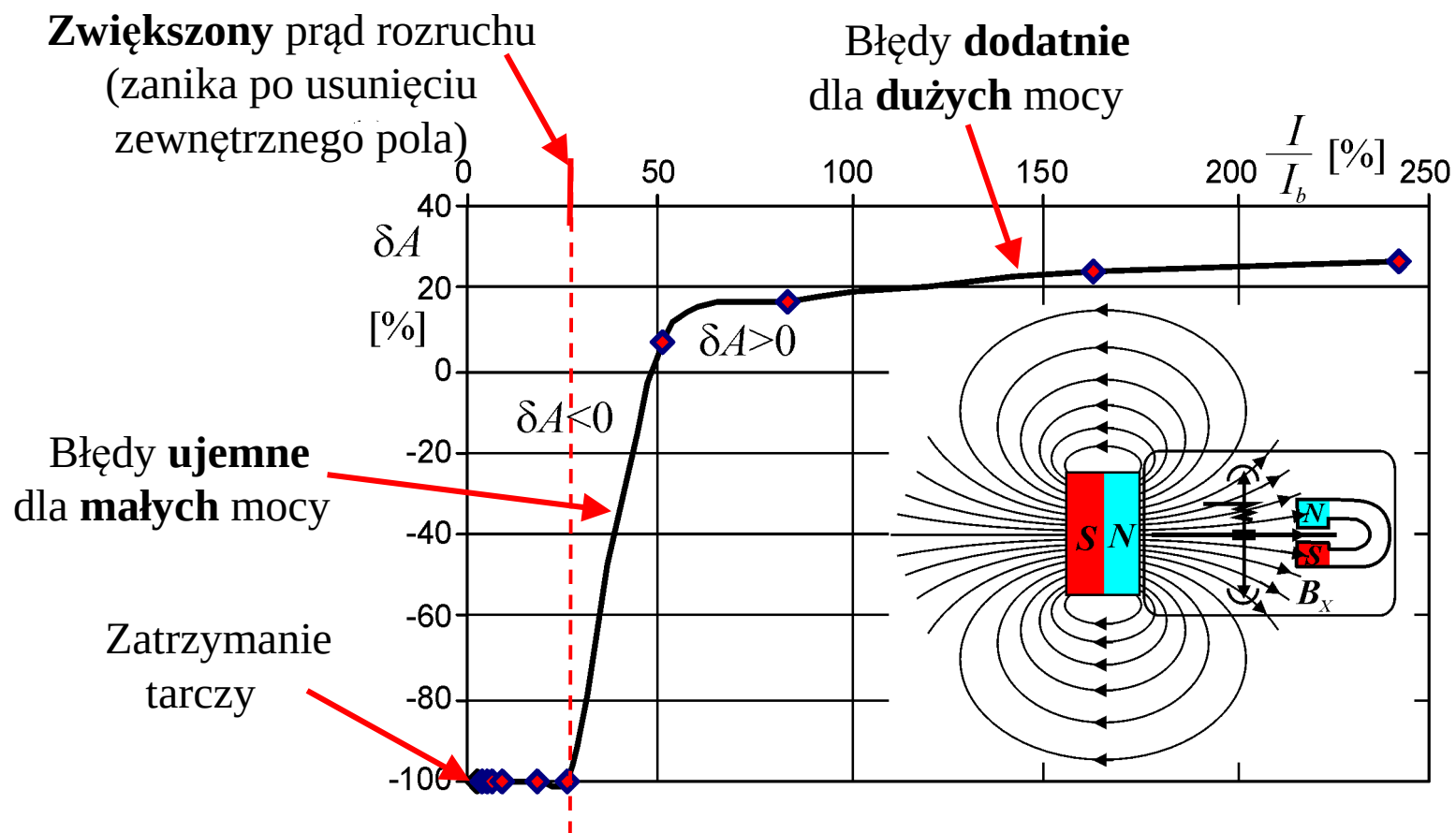
Indukcja magnetyczna B wzdłuż szczeliny magnesu hamującego AlNiCo licznika A52: (1) przed rozmagnesowaniem, (2) po rozmagnesowaniu magnesem neodymowym

Błąd pomiaru energii w obecności zewnętrznego pola prostopadłego



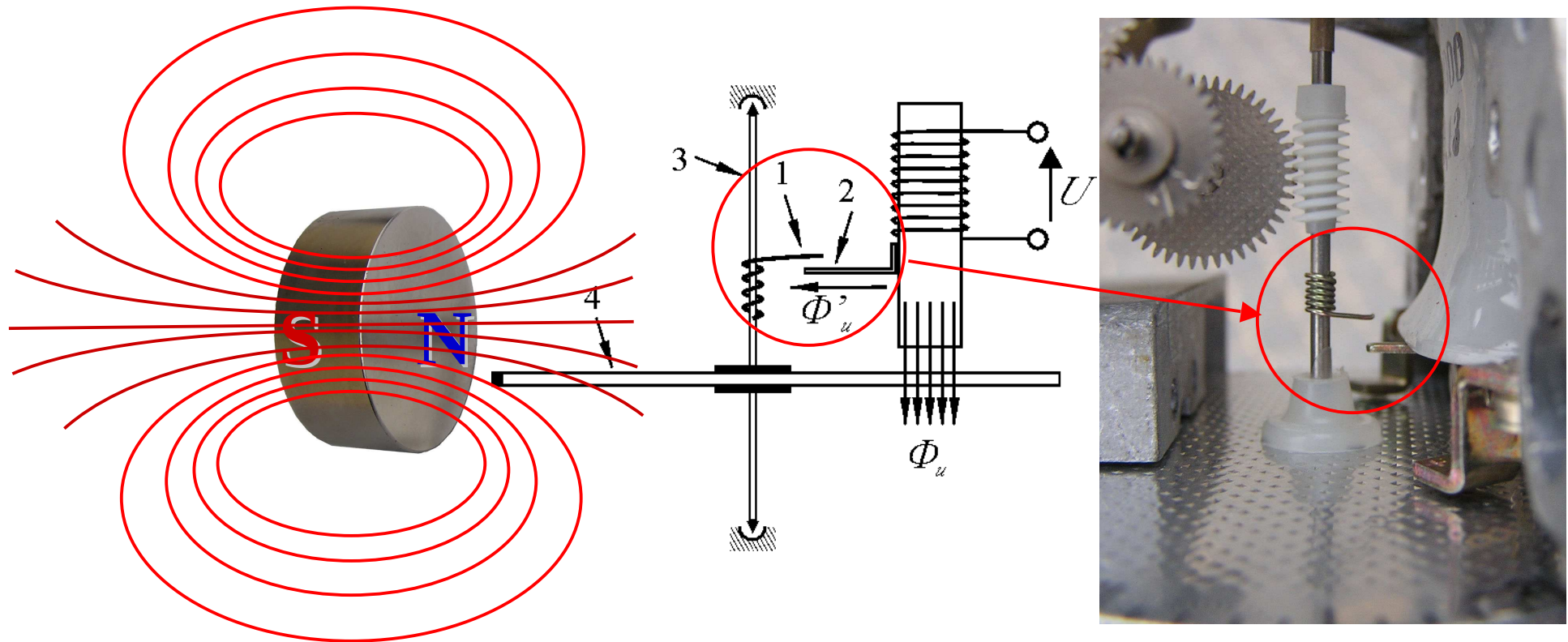
Błąd pomiaru energii δA podczas oddziaływania magnesem neodymowym na licznik typu 8A8d dla pola zewnętrznego B_Y **prostopadłego do tarczy licznika**

Błąd pomiaru energii w obecności zewnętrznego pola równoległego



Błędy pomiaru energii δA podczas oddziaływania magnesem neodymowym na licznik typu 8A8d dla pola zewnętrznego B_x równoległego do tarczy licznika

Wpływ pola zewnętrznego na hamulec biegu jałowego



1 - chorągiewka

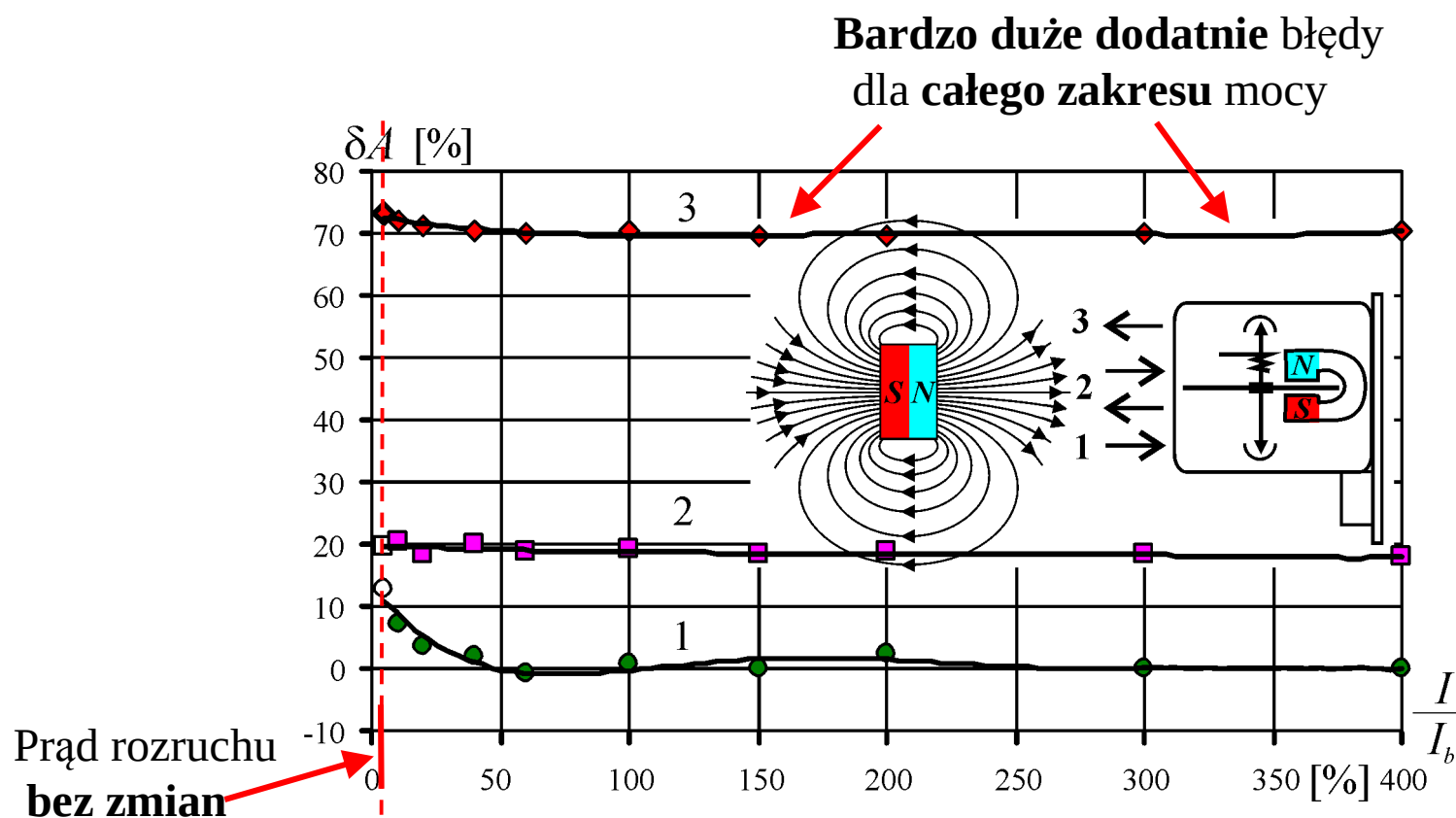
2 - blaszka ferromagnetyczna

3 - oś tarczy wirnika

4 - tarcza wirnika

Wpływ pola zewnętrznego na hamulec biegu jałowego. Efekt ten **zanika** po usunięciu zewnętrznego pola magnetycznego

Błędy pomiaru energii po zaniku zewnętrznego pola



Błędy pomiaru energii δA po oddziaływaniu magnesem neodymowym na licznik 8A8d, 1-przed, 2-po jednokrotnym, 3-po dwukrotnym zbliżeniu magnesu neodymowego do licznika

Wpływ magnesu neodymowego - podsumowanie

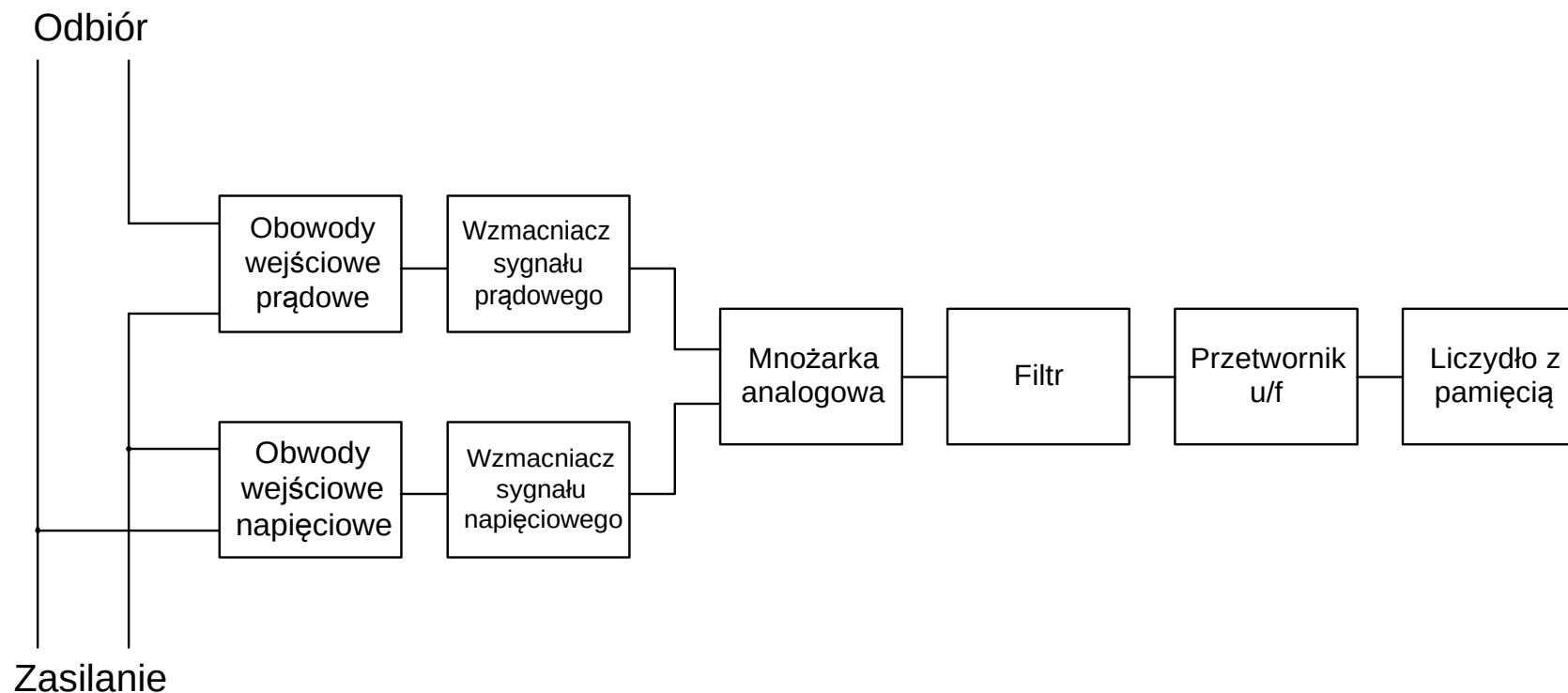
1. Nie każde przyłożenie magnesu neodymowego do licznika skutkuje kradzieżą energii i zaniżeniem rachunków. Zależnie od sposobu i miejsca przyłożenia magnesu neodymowego, licznik może wykazywać **zwiększenie prądu rozruchu** oraz **dodatnie lub ujemne błędy pomiaru energii**.
2. Zawsze jednak **ostatecznie licznik zawyża** wskazania i odbiorca płaci znacznie **większe rachunki**, w wyniku czego sam zgłasza się do zakładu energetycznego.
3. **Uszkodzenie licznika jest nieodwracalne** i zawsze w końcu zostaje wykryte oraz udowodnione w sądzie w **procesie cywilnym** o zapłatę za ukradzioną energię, a w **procesie karnym** może dodatkowo skończyć się **karą więzienia do 5 lat**.
4. Praktycznie należałoby więc stwierdzić, że skuteczna **kradzież energii tą metodą** nie jest możliwa i **zawsze ostatecznie będzie wykryta oraz ukarana**.
5. **Zakład energetyczny nie jest zainteresowany ściganiem tego procederu**, gdyż w końcu klient sam zgłasza fakt uszkodzenia licznika, a do tego czasu płaci znacznie zawyżone faktury, ostatecznie natomiast poniesie dodatkowe koszty kary umownej, procesu sądowego i wymiany licznika na nowy egzemplarz.

Elektroniczne liczniki energii elektrycznej

Elektroniczne liczniki energii elektrycznej są budowane jako:

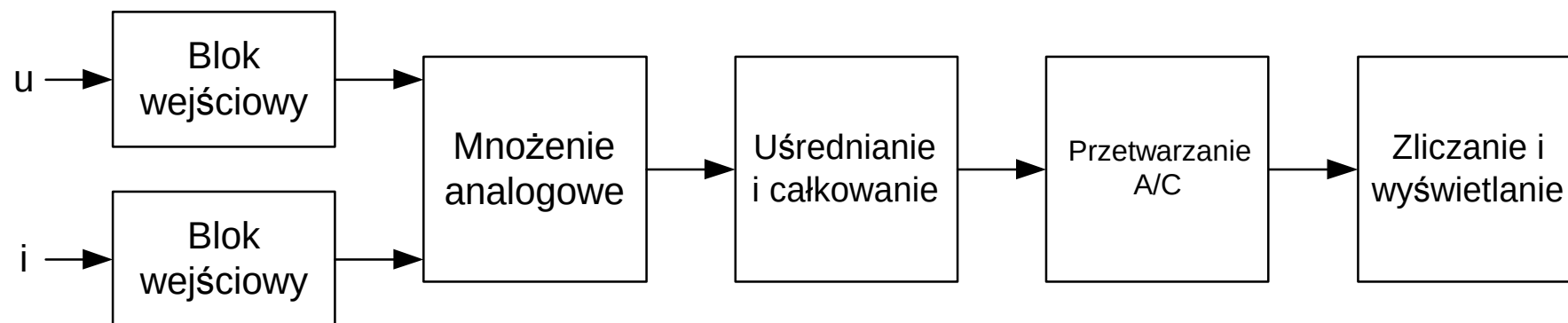
- Elektroniczne liczniki energii elektrycznej **analogowe**,
- Elektroniczne liczniki energii elektrycznej **analogowo – cyfrowe**,
- Elektroniczne liczniki energii elektrycznej **cyfrowe mikroprocesorowe**.

Elektroniczne liczniki energii elektrycznej analogowe



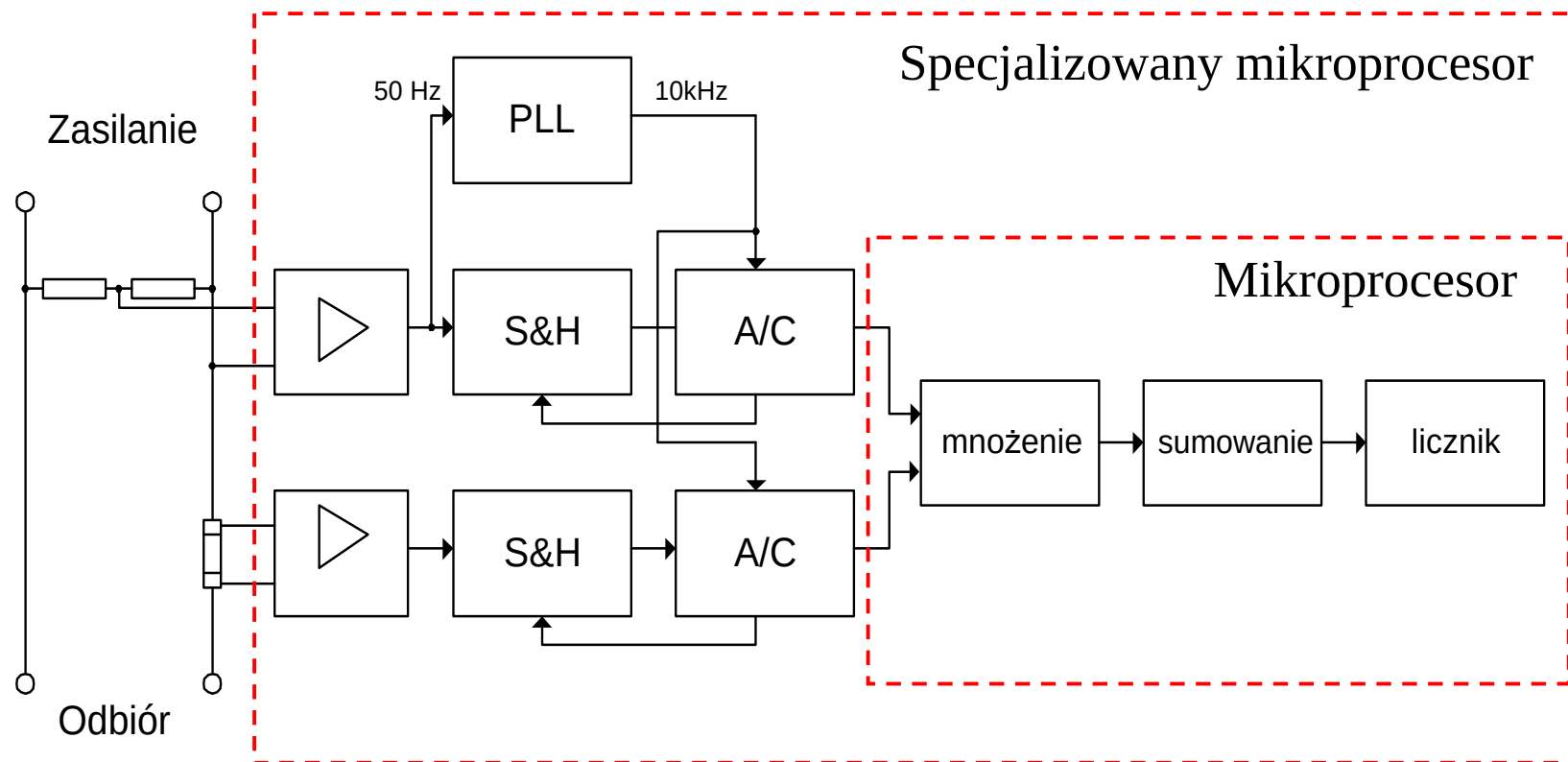
Schemat blokowy **elektronicznego analogowego** licznika energii elektrycznej

Elektroniczne liczniki energii elektrycznej analogowo-cyfrowe



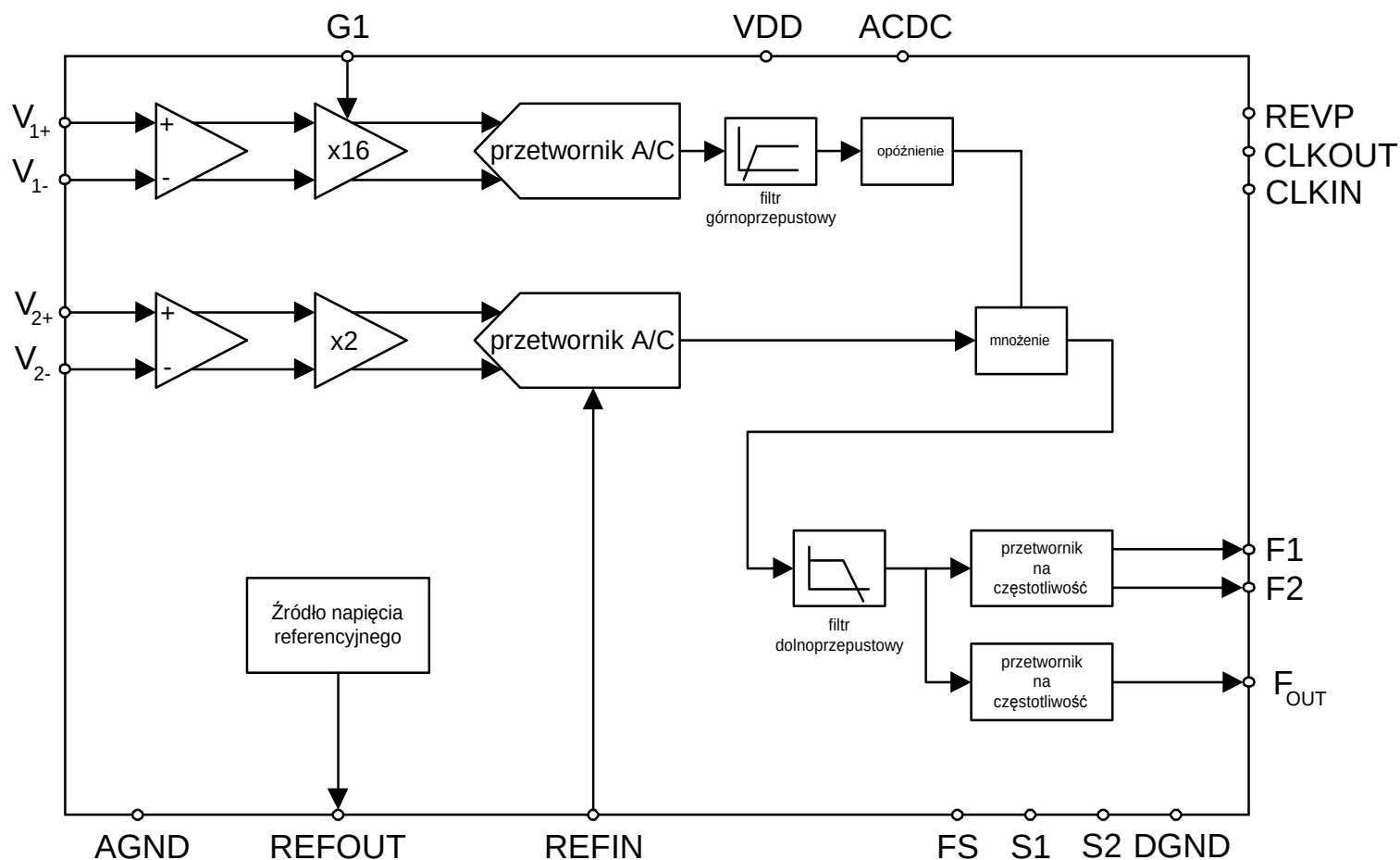
Schemat blokowy licznika energii elektrycznej **analogowo-cyfrowego**

Elektroniczne liczniki energii elektrycznej mikroprocesorowe



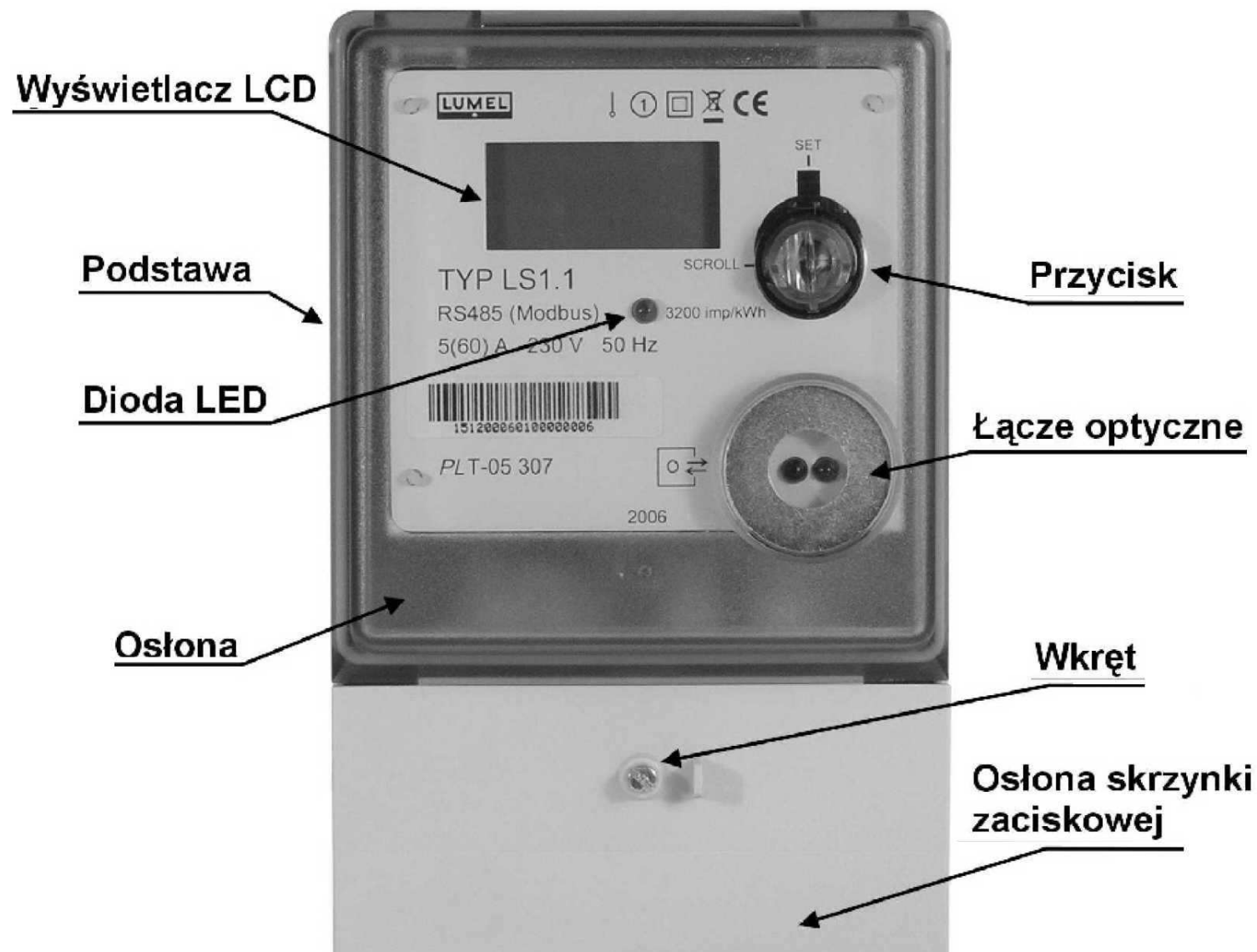
Schemat blokowy **cyfrowego** licznika energii elektrycznej

Scalone układy liczników energii elektrycznej

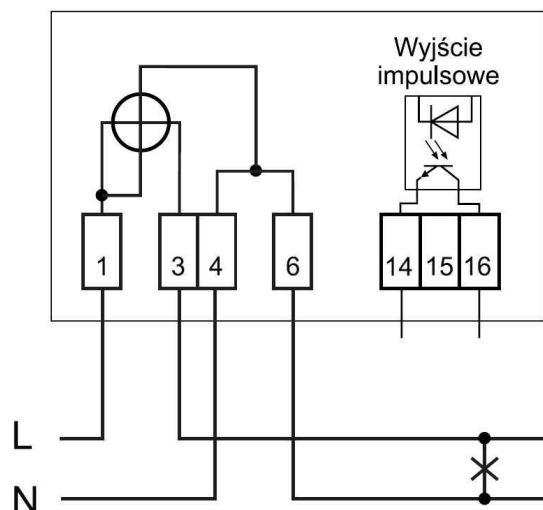


Schemat blokowy budowy układu AD7750 firmy Analog Devices

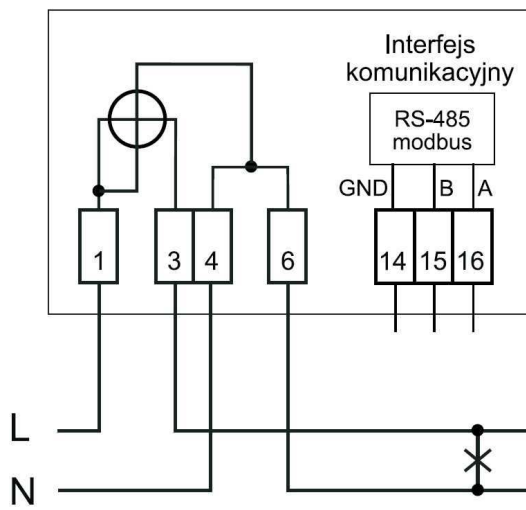
Przykładowy mikroprocesorowy licznik energii elektrycznej



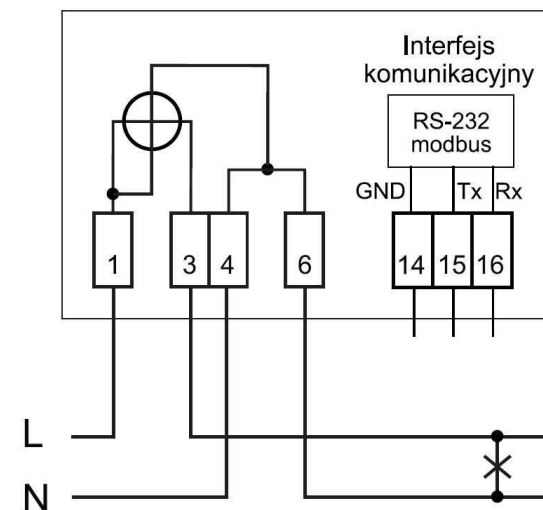
Podłączanie mikroprocesorowego licznika energii elektrycznej



Licznik z wyjściem impulsowym

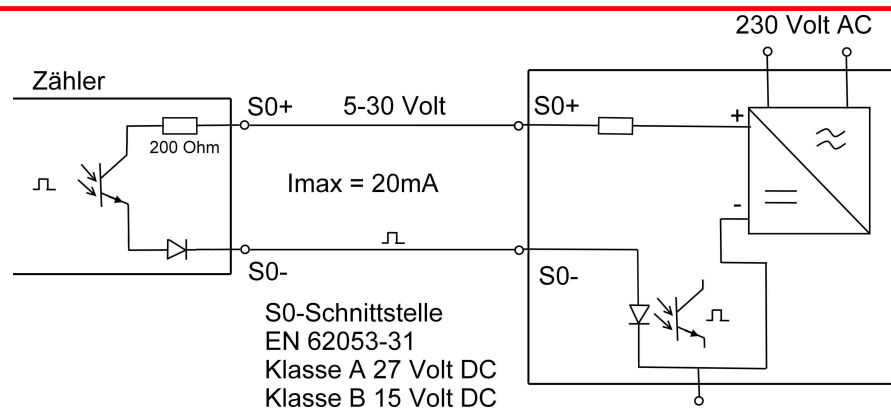


Licznik z interfejsem komunikacyjnym RS-485 i protokołem Modbus



Licznik z interfejsem komunikacyjnym RS-232 i protokołem Modbus

Wyjście impulsowe S0 w standardzie EN 62053-31



Eligiusz Pawłowski,
METROLOGIA EINS

Wyjście optyczne w standardzie IEC 1107

IEC1107/USB2.0 and IEC1107/RS232 Optical Port Readers

ISO 9001:2008



Features:

- ❑ Mounting to meter by magnet
- ❑ IEC 1107 standard
- ❑ Small dimensions and weight
- ❑ Requires no adjustment
- ❑ RS232 or USB 2.0 communication port

Zjazd 10, wykład 17

Przetwarzanie sygnału impulsowego z licznika energii elektrycznej

1. Pawłowski Eligiusz, Cyfrowe przetwarzanie impulsowego sygnału częstotliwościowego ze statycznego licznika energii elektrycznej, XI Konferencja WZEE 2013 Wybrane Zagadnienia Elektrotechniki i Elektroniki, 27-30 wrzesień , Rzeszów - Czarna - 2013
2. Pawłowski Eligiusz, Zastosowanie statycznego licznika energii elektrycznej w układzie przetwornika mocy czynnej na impulsowy sygnał częstotliwościowy, VII Kongres Metrologii, Metrologia fundamentem postępu w naukach stosowanych, 28.06.-01.07. 2016, Lublin-Nałęczów : materiały konferencyjne - 2016, s. 129-130
3. Pawłowski Eligiusz, The use of a static electrical energy meter as a transducer of active power to a pulse frequency signal, PRZEGLAD ELEKTROTECHNICZNY - 2016, nr 11, vol. 92, s. 99-102

Podsumowanie

1. Wskazania liczników energii elektrycznej są podstawą do rozliczeń finansowych za dostarczoną energię elektryczną
2. Liczniki energii elektrycznej podlegają obowiązkowej prawnej kontroli metrologicznej
3. Stosowane są obecnie indukcyjne liczniki energii elektrycznej sukcesywnie zastępowane licznikami elektronicznymi
4. Układy pomiarowe liczników energii elektrycznej są takie same jak dla watomierzy
5. Liczniki elektroniczne wyposażone są w układy wyjściowe umożliwiające zdalny odczyt wskazań, konfigurację i sprawdzanie błędów licznika

