

Miernictwo elektryczne i elektroniczne

Metrologia jest specjalnością obejmującą teorię mierzenia i problemy technicznej realizacji procesu pomiarowego.

Wielkości aktywne – można mierzyć bez dodatkowego źródła energii (np. napięcie, natężenie prądu, moc, temperatura).

Wielkości pasywne – trzeba mierzyć z dodatkowym źródłem energii (np. rezystancja, pojemność)

Jednostki miary: podstawowe, pochodne

Miernik - przyrząd pozwalający określić wartość mierzonej wielkości (np. napięcia elektrycznego, ciśnienia, wilgotności), zazwyczaj przy pomocy podziałki ze wskazówką lub wyświetlacza cyfrowego. Szersze pojęcie to **przyrządy pomiarowe**, obejmujące również urządzenia do rejestracji wartości, generatory pomiarowe, wzorce, analizatory itp.

Najczęściej spotykane mierniki, to:

amperomierz

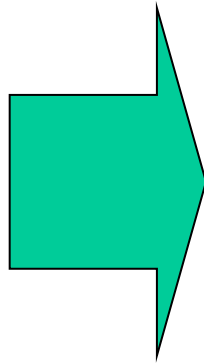
woltomierz

omomierz

galwanometr

watomierz

częstościomierz



multimetr (miernik uniwersalny)

Parametry przyrządów pomiarowych

- **Nazwa przyrządu**
 - rodzaj mierzonej wielkości, np. amperomierz, woltomierz, ciśnieniomierz, czasomierz
- **Zakres pomiarowy przyrządu**
 - to zbiór wartości wielkości wzorcowej, odtwarzany przez przyrząd, scharakteryzowany przez kres dolny i kres górny zbioru.
- **Klasa niedokładności (dokładności) przyrządu**
 - Klasa niedokładności to umownie przyjęta wartość błędu dopuszczalnego w dowolnym punkcie zakresu pomiarowego przyrządu w warunkach odniesienia, przy czym błąd ten, podany w procentach, jest odniesiony do zakresu pomiarowego przyrządu analogowego.
- **Błędy dodatkowe przyrządu**
 - są to błędy wskazania, występujące przy stosowaniu przyrządu w warunkach odmiennych od warunków odniesienia.
- **Właściwości dynamiczne przyrządu**
 - określają zdolność przyrządu do dokonywania pomiaru wielkości zmieniających się w czasie.
- **Rezystancja wejściowa (wewnętrzna)**
 - charakteryzuje obciążenie źródła wielkości mierzonej przez przyrząd, co może powodować zmianę wartości wielkości mierzonej.
- **Inne właściwości przyrządu**
 - parametry sygnałów wyjściowych, od których zależy możliwość współpracy z innymi urządzeniami, parametry zasilania, gabaryty, właściwości ergonomiczne, właściwości estetyczne i inne

Metody pomiarowe

– **Metoda bezpośrednia**

- Wynik otrzymujemy bezpośrednio z odczytu jego wskazań bez wykonywania obliczeń (np. Pomiar rezystancji omomierzem)

– **Metoda pośrednia**

- Wartość wielkości mierzonej otrzymuje się pośrednio na podstawie bezpośrednich pomiarów innych wielkości związanych z nią zależnością (pomiar rezystancji za pomocą amperomierza i woltomierza).

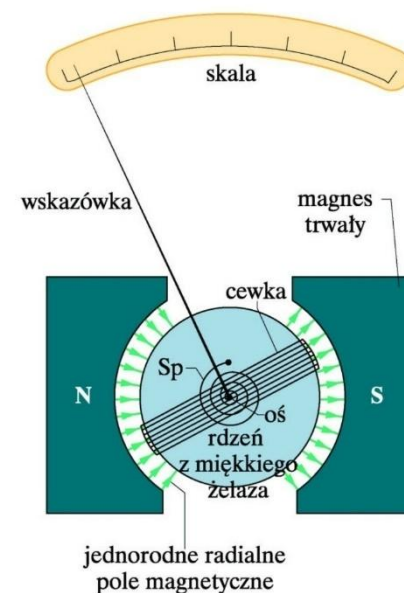
– **Metoda z wzorcem**

- W układzie musi się znajdować wzorzec wielkości mierzonej

Rodzaje mierników

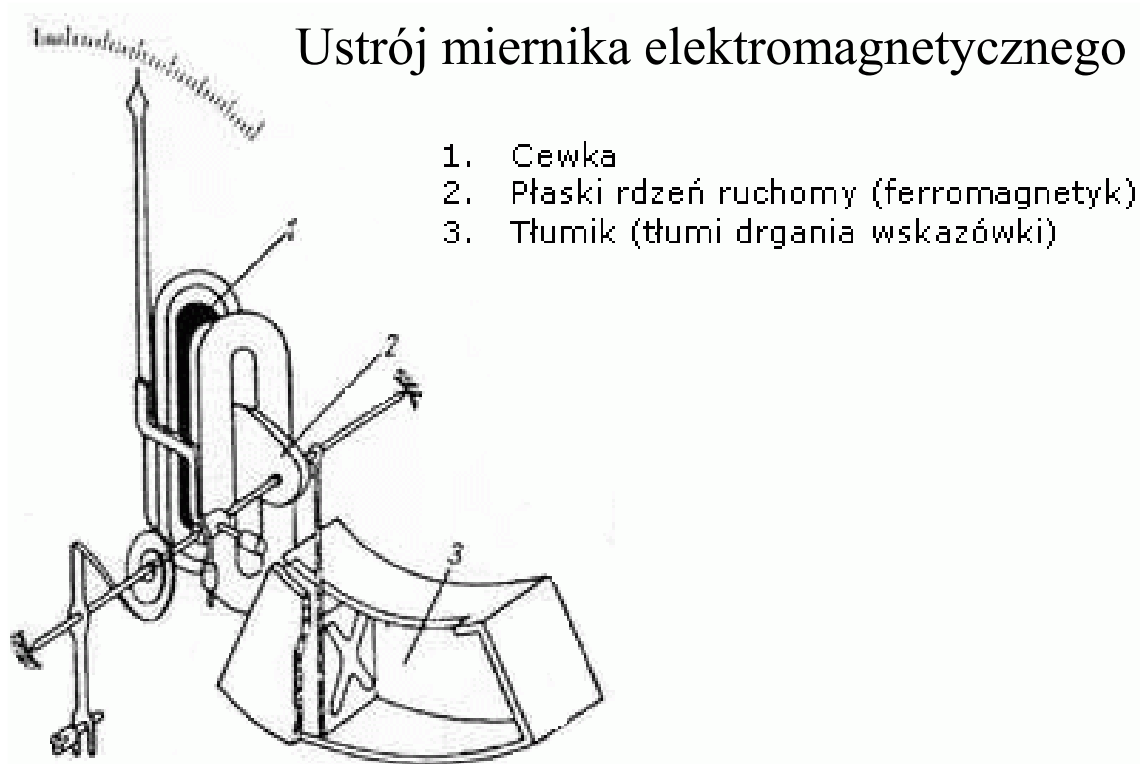
Mierniki analogowe - zmieniający się w sposób ciągły sygnał wejściowy jest odwzorowany na ciągły odczyt, mogący przyjmować teoretycznie nieskończenie wiele wartości, którymi są wychylenia wskazówki miernika określone względem skali przyrządu.

Miernik magnetoelektryczny - mierzony prąd elektryczny płynie przez ruchomą, umieszczoną w polu magnesu stałego cewkę. Zależny od natężenia prądu moment sił elektrodynamicznych obraca cewkę a wraz z nią wskazówkę miernika. Organ ruchomy przetwornika magnetoelektrycznego ma stosunkowo dużą bezwładność i duży (od kilku do kilkunastu sekund) okres drgań własnych, dlatego może być stosowany tylko do przetwarzania wartości stałych lub zmieniających się bardzo wolno. Dla częstotliwości powyżej 20 Hz miernik pokazuje wartość średnią, dlatego te mierniki można wykorzystywać jedynie do pomiarów prądu stałego.

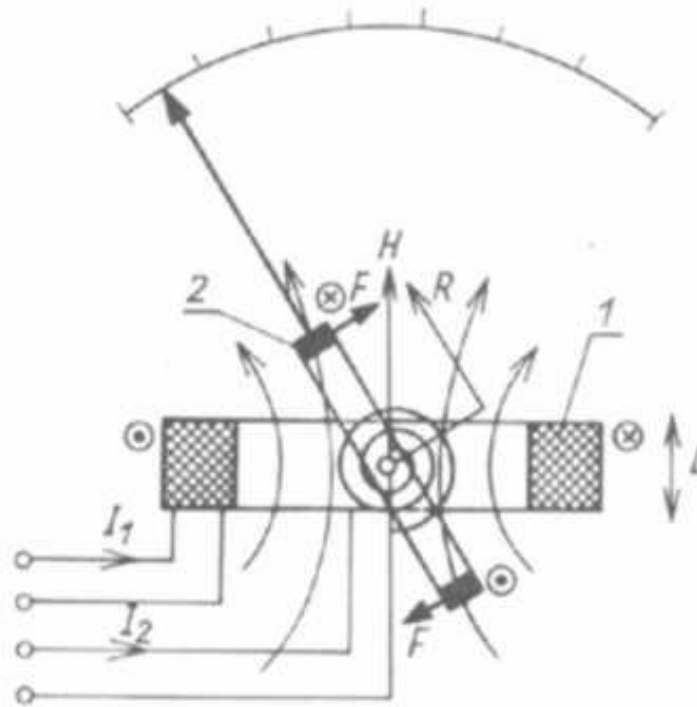


Części składowe miernika magnetoelektrycznego. W zależności od rodzaju obwodu zewnętrznego, przyrząd ten może być używany jako woltomierz lub amperomierz

Mierniki elektromagnetyczne - mierzony prąd płynie przez uzwojenia elektromagnesu w szczelinie którego zawieszony jest ruchomy rdzeń ferromagnetyczny. Pod wpływem powstałego pola magnetycznego rdzeń magnesuje się i jest wciągany przez cewkę elektromagnesu. Moment siły (zależny od kwadratu natężenia mierzonego prądu) działającej na ruchomy rdzeń obraca go i zespoloną z rdzeniem wskazówkę. Można wykorzystywać je zarówno do pomiarów prądu stałego jak i przemiennego. Ze względu na stosunkowo dużą moc pobieraną nie stosuje się ich w układach prądu stałego, lecz prawie wyłącznie do pomiarów w obwodach prądu zmiennego.



Miernik elektrodynamiczny - wykorzystuje siły występujące między przewodami, przez które płyną prądy. W polu magnetycznym wytworzonym przez prąd płynący przez cewkę nieruchomą umieszczona jest cewka ruchoma. Mierniki te można wykorzystać do pomiarów zarówno prądów stałych jak i przemiennych. Wadą wysoki koszt produkcji i mała odporność na przeciążenia oraz wpływ czynników zewnętrznych na pomiary. Znajdują zastosowanie jako watomierze.



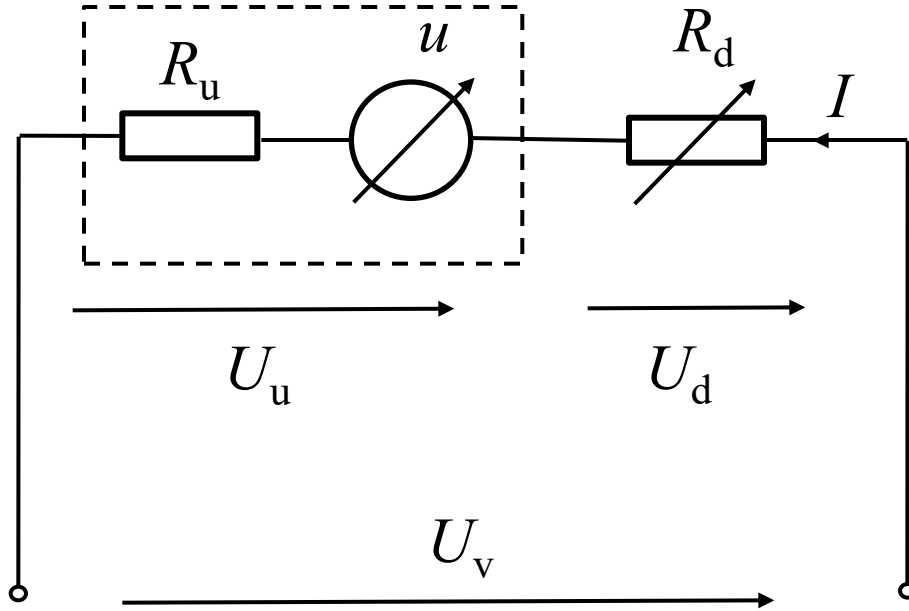
Ustrój miernika elektrodynamicznego

- 1- cewka nieruchoma
- 2- cewka ruchoma
- I_1, I_2 prądy zasilające
- F - siła oddziaływania
- H - natężenie pola magnetycznego
- R - korektor zera

Mierniki analogowe



Budowa woltomierza



Całkowite napięcie mierzone jest równe:

$$U_v = U_u + U_d.$$

Zakres pomiarowy: $U_{max} = I_{u\ max}(R_u + R_d)$

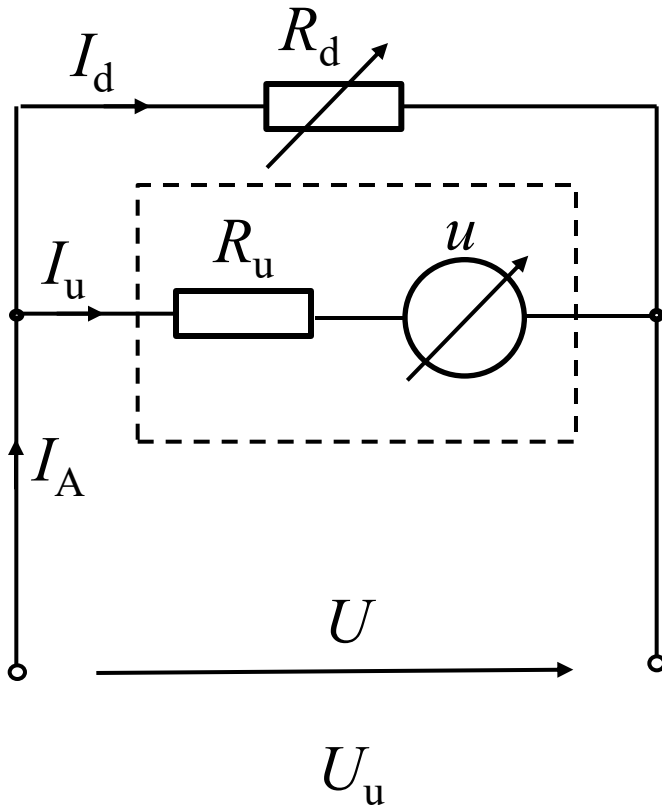
np. $I_{u\ max} = 2\ \text{mA}$

$$R_u = 2\ \Omega$$

$$R_d = 500\ \text{k}\Omega$$

Zakr. $U_{V\ max} = 1000\ \text{V}$

Budowa amperomierza



Całkowity prąd mierzony wynosi:

$$I_A = I_u + I_d$$

$$I_A = I_u \left(1 + \frac{R_u}{R_d} \right)$$

gdzie

Zakres pomiarowy:

$$I_{Amax} = I_{umax} \left(1 + \frac{R_u}{R_d} \right)$$

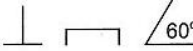
np. $I_{u\max} = 2 \text{ mA}$

$$R_u = 2 \text{ } \Omega$$

$$R_d = 0,1 \text{ } \Omega$$

zakr. $I_{A\max} = 42 \text{ mA}$

Symbole urządzeń pomiarowych, przeznaczenia i właściwości mierników analogowych

Obwód prądu stałego i/lub urządzenie pomiarowe prądu stałego	
Obwód prądu przemiennego i/lub urządzenie pomiarowe prądu przemiennego	
Obwód prądu stałego i przemiennego i/lub urządzenie pomiarowe prądu stałego i przemiennego	
Napięcie probiercze 500 V	
Napięcie probiercze większe od 500 V (np. 2 kV)	
Przyrząd nie podlegający próbie wytrzymałości elektrycznej izolacji	
Znak ostrzegawczy wysokiego napięcia	
Przyrząd pomiarowy o podzielnicy: pionowej, poziomej, pod kątem 60°	
Wskaźnik klasy dokładności (np. 1,5), z wyjątkiem przypadków, gdy wartość umowna jest równa długości podziałki, wartości mierzonej lub obszarowi pomiarowemu	1,5
Wskaźnik klasy (np. 1,5), gdy wartością umowną jest długość podziałki	
Wskaźnik klasy (np. 1,5), gdy wartością umowną jest wartość wskazana	
Przyrząd magnetoelektryczny o ruchomej cewce	
Przyrząd magnetoelektryczny o ruchomej cewce ilorazowy (logometr)	
Przyrząd elektromagnetyczny	
Przyrząd elektromagnetyczny ilorazowy (logometr)	
Przyrząd elektrodynamiczny	
Przyrząd ferrodynamiczny	
Przyrząd elektrostatyczny	
Przyrząd wibracyjny języzkowy	

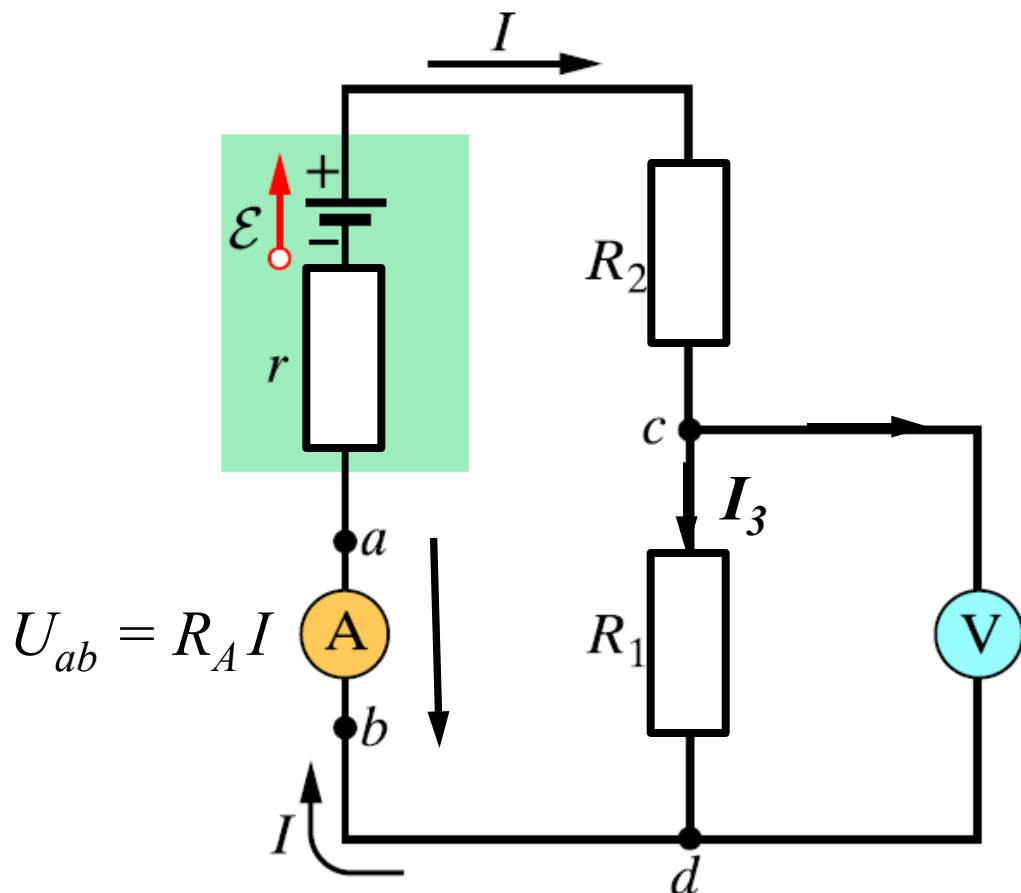
Mierniki cyfrowe

Opierają swe funkcjonowanie na przetwarzaniu ciągłego sygnału wejściowego (najczęściej napięciowego) na postać dyskretną zapisaną w odpowiednim kodzie cyfrowym. Przetwarzanie takie odbywa się poprzez próbkowanie (dające ciąg wartości mierzonych co określony odstęp czasu) a następnie kwantowanie wartości (przypisaniu każdej wartości próbki reprezentującej ją liczby ze skończonego zbioru poziomów sygnału. Ostatnim etapem jest wytworzenie ciągu standardowych impulsów kodujących otrzymaną reprezentację sygnału w kodzie dwójkowym lub dwójkowo dziesiętnym.

Mierniki cyfrowe



Amperomierz i woltomierz w obwodach elektrycznych



$$U_{ab} = R_A I$$

idealnie

$$R_A = 0$$

$$R_V = \infty$$

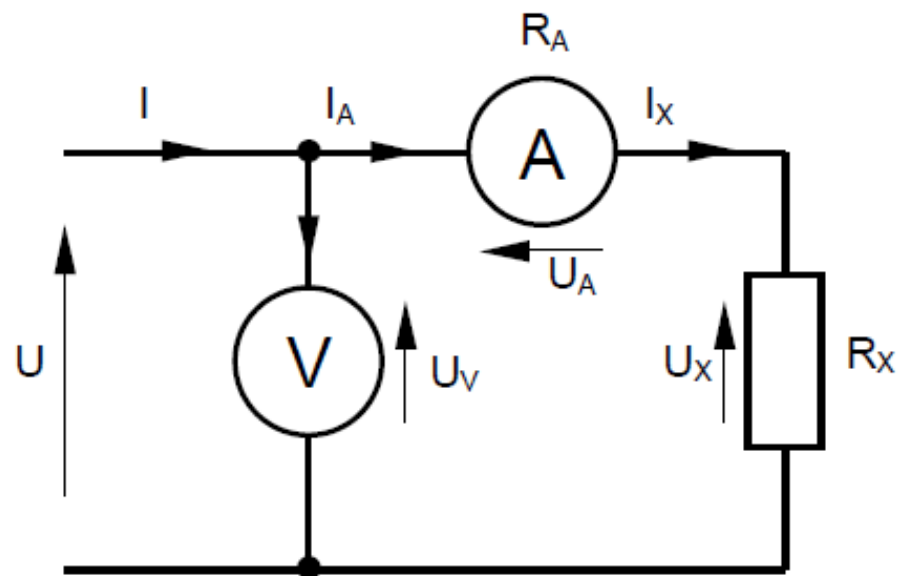
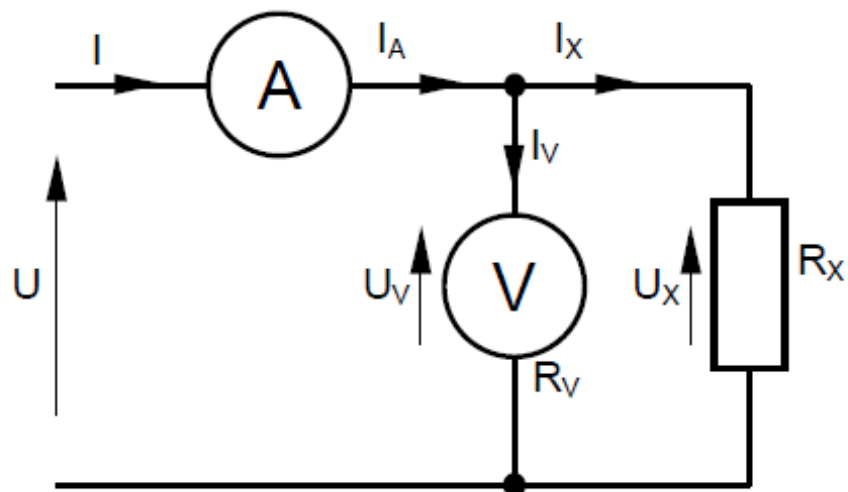
Jeżeli uwzględnić opory woltomierza i amperomierza to: przez woltomierz przepływa dodatkowy prąd I_2 , natomiast na amperomierzu odłoży się dodatkowe napięcie U_{ab} .

Obwód o jednym oczku,
w który włączono amperomierz (A)
i woltomierz (V)

Pomiary rezystancji

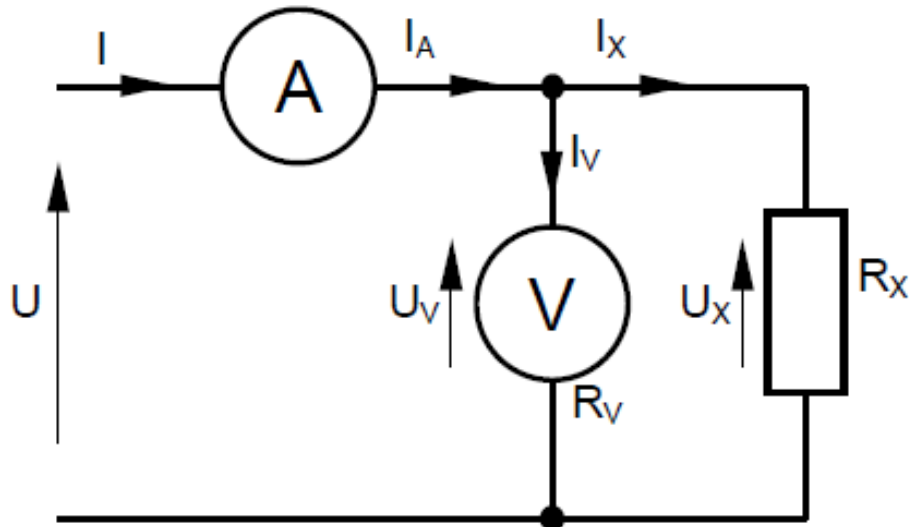
- Metoda bezpośrednia - omomierz
- Metoda pośrednia (techniczna)
- Metoda porównawcza
- Metody mostkowe

Metoda pośrednia (techniczna)



(1) Układ poprawnie mierzonego napięcia

dla małych rezystancji ($R_X \ll R_V$, $I_X \gg I_V$)



$$R_X = \frac{U_X}{I_X} \quad U_X = U_V$$

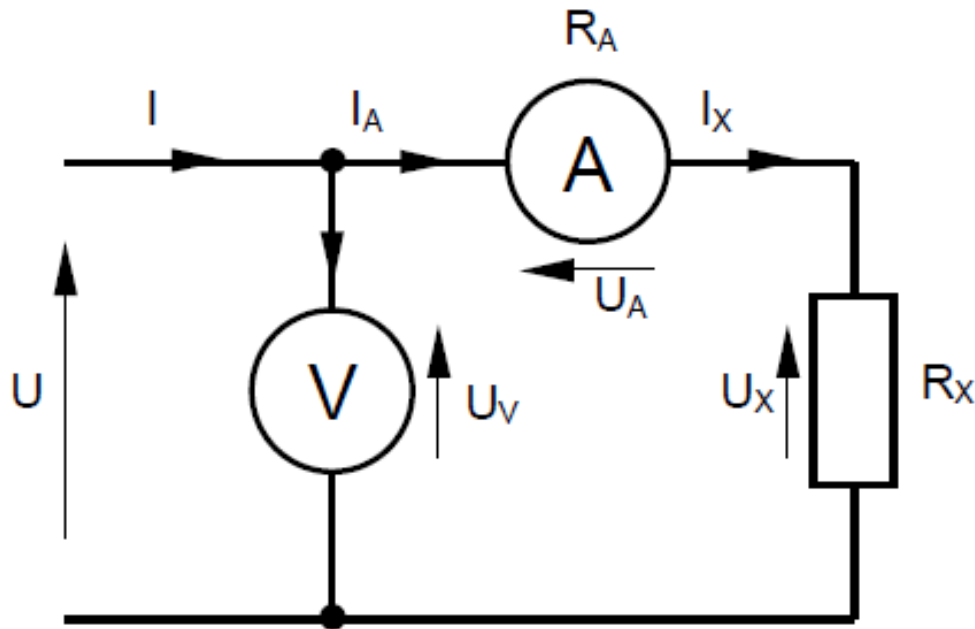
$$R_X = \frac{U_V}{I_X}$$

$$R_X = \frac{U_V}{I_A - I_V} = \frac{U_V}{I_A - \frac{U_V}{R_V}}$$

$$R_X = \frac{U_V \cdot R_V}{R_V I_A - U_V}$$

(2) Układ poprawnie mierzonego prądu

dla dużych rezystancji ($R_X \gg R_A$, $U_X \gg U_A$)



$$R_X = \frac{U_X}{I_X} \quad I_X = I_A$$

$$R_X = \frac{U_X}{I_A}$$

$$R_X = \frac{U_V - U_A}{I_A} = \frac{U_V}{I_A} - \frac{U_A}{I_A}$$

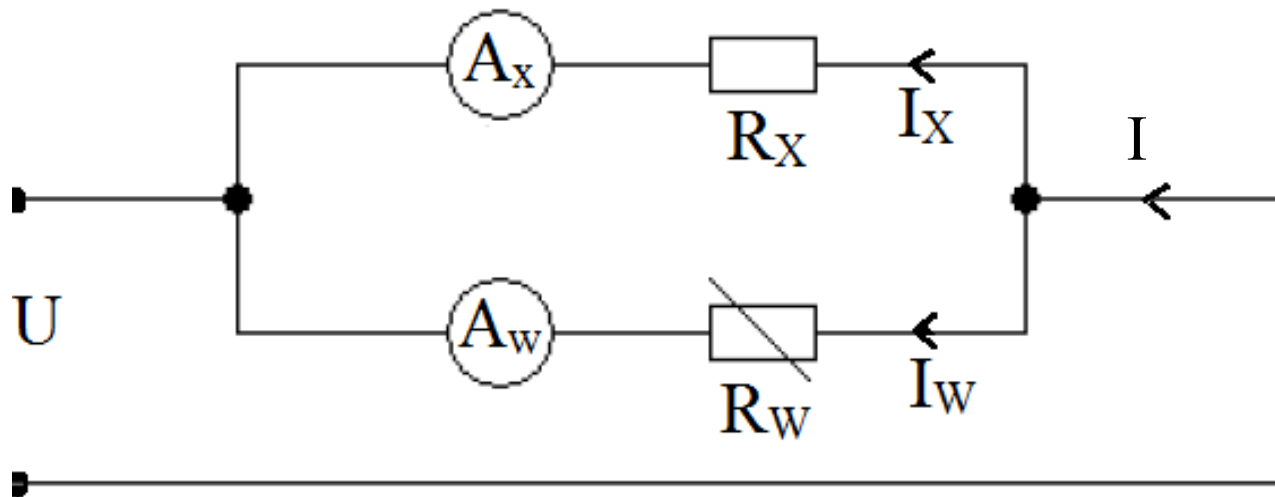
$$R_X = \frac{U_V}{I_A} - R_A$$

Wartość mierzonej rezystancji, przy której błędy są takie same dla obu metod

R_A - opór wewnętrzny amperomierza

R_V - opór wewnętrzny woltomierza

Metoda porównawcza prądowa



$$U = I_X \cdot R_X$$

$$U = I_W \cdot R_W$$

$$R_X = \frac{I_W \cdot R_W}{I_X}$$

Mostek prądu stałego do pomiaru rezystancji

Mostek Wheatstone'a

$1\Omega - 10M\Omega$

$U_{CD} = 0$ oraz $I_G = 0$. W stanie równowagi obowiązują zależności:

$$I_G = 0 \quad \text{więc} \quad I_X = I_2 \quad I_3 = I_4$$

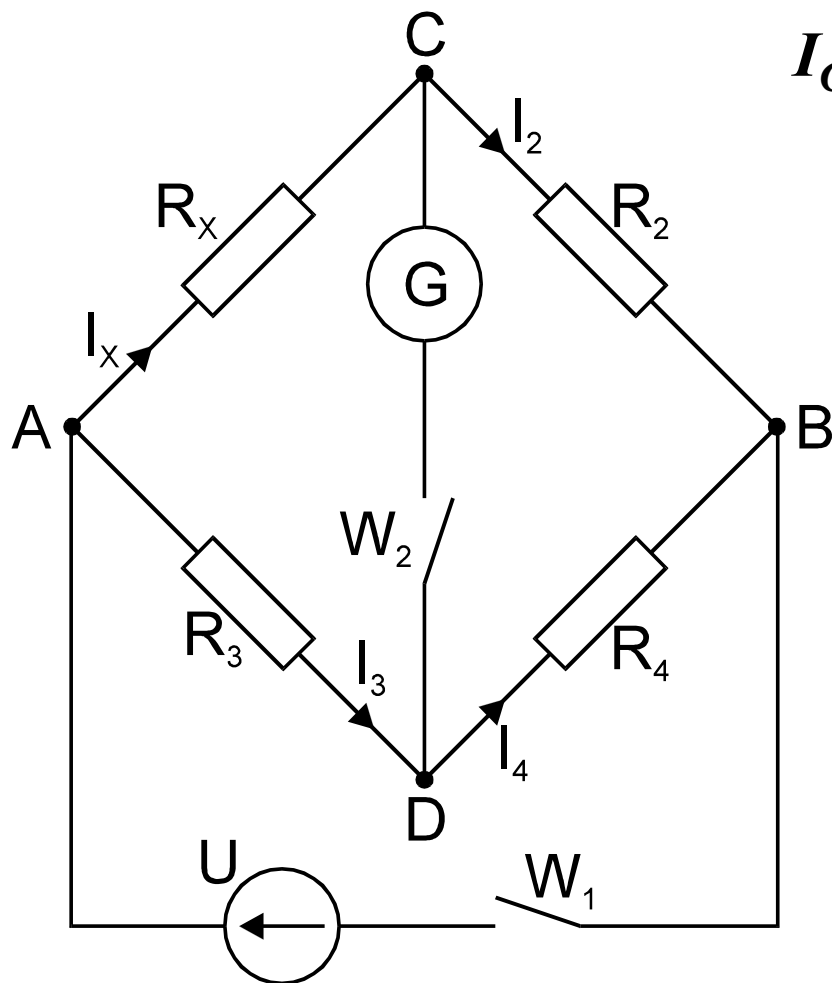
$$U_{CD} = 0 \quad \text{więc}$$

$$U_{RX} = U_{R3} \quad U_{R2} = U_{R4}$$

$$I_X R_X = I_3 R_3 \quad R_2 I_2 = I_4 R_4$$

Dzielimy stronami

$$R_X = \frac{R_3}{R_4} \cdot R_2$$



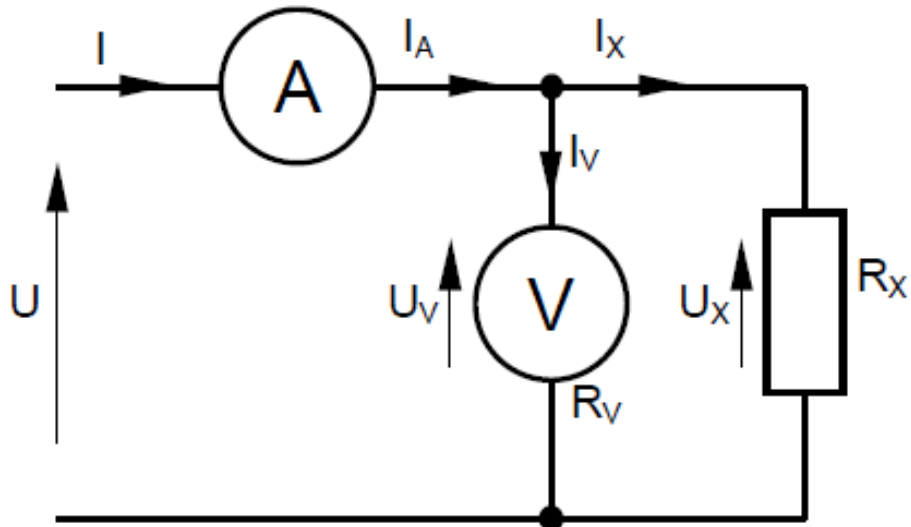
CE



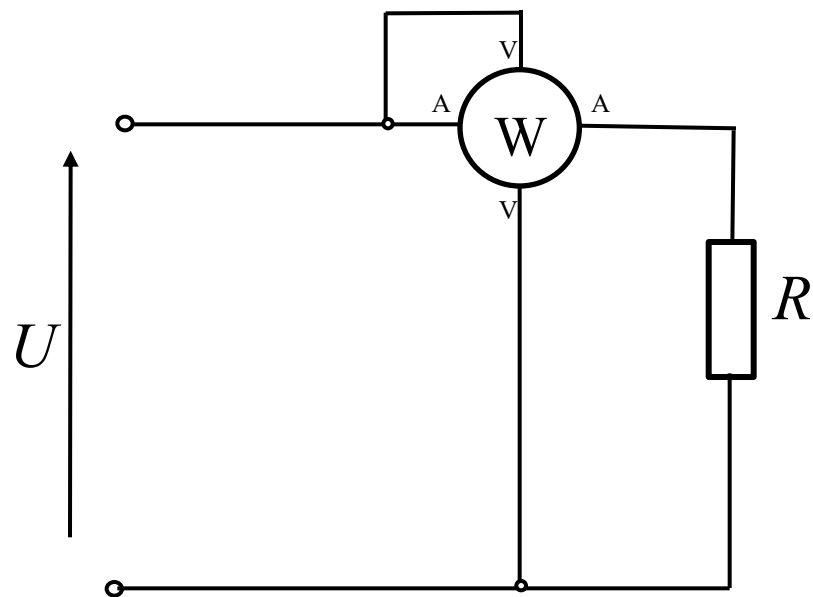
Pomiar mocy prądu stałego

(1) Metoda pośrednia

Przykład układu poprawnie mierzonego napięcia



(1) Metoda bezpośrednia - watomierzem



Pomiary pojemności kondensatorów

- Metoda bezpośrednia – miernik pojemności
- Metoda pośrednia (techniczna)
- Metody mostkowe

Bezpośrednie pomiary pojemności



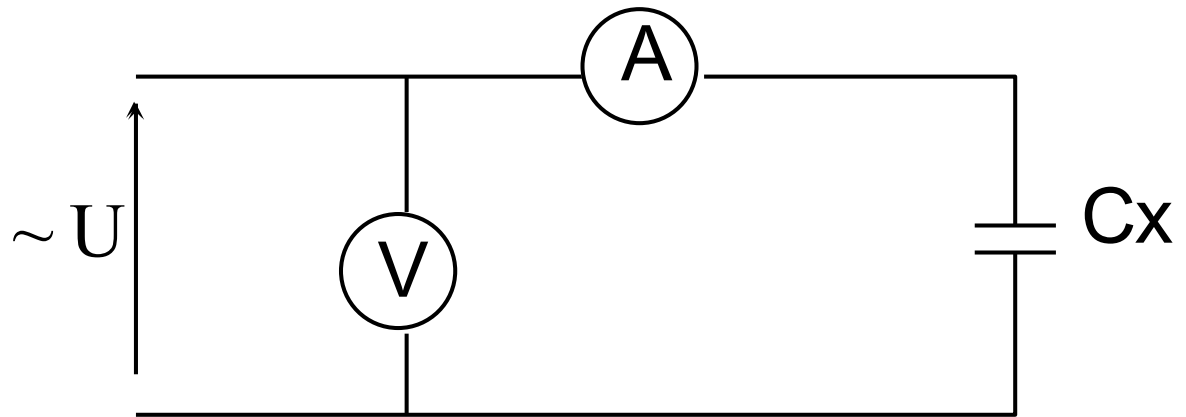
Metoda techniczna

(dla kondensatorów o małej stratności)

Pomiar pojemności kondensatorów metodą techniczną polega na pomiarze wartości skutecznej napięcia sinusoidalnego zasilającego kondensator, prądu płynącego przez kondensator oraz częstotliwości.

$$X_C = \frac{1}{\omega C} [\Omega]$$

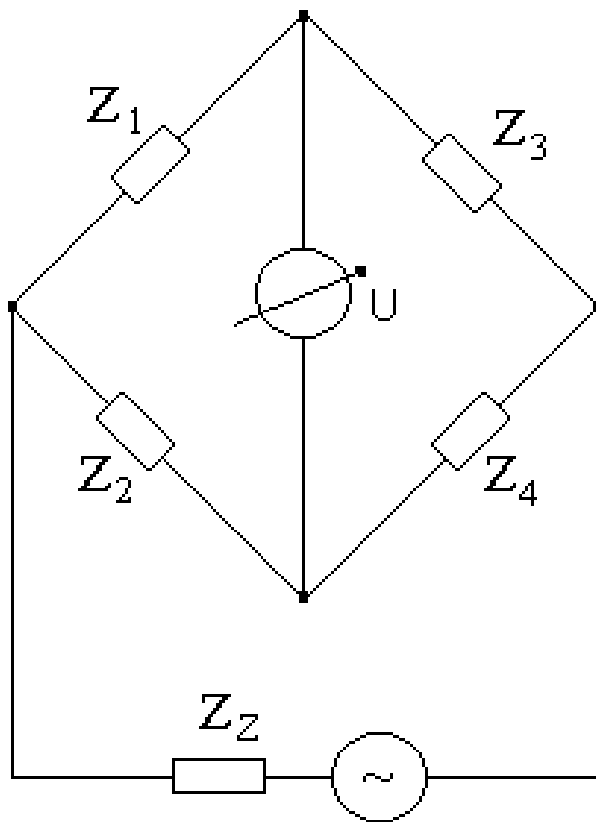
Reaktancja
pojemnościowa



$$X_{C_x} = \frac{U}{I}$$

$$X_{C_x} = \frac{1}{2\pi f C_x} \Rightarrow C_x = \frac{1}{2\pi f X_{C_x}}$$

Mostkowe pomiary pojemności



Ogólny warunek równowagi

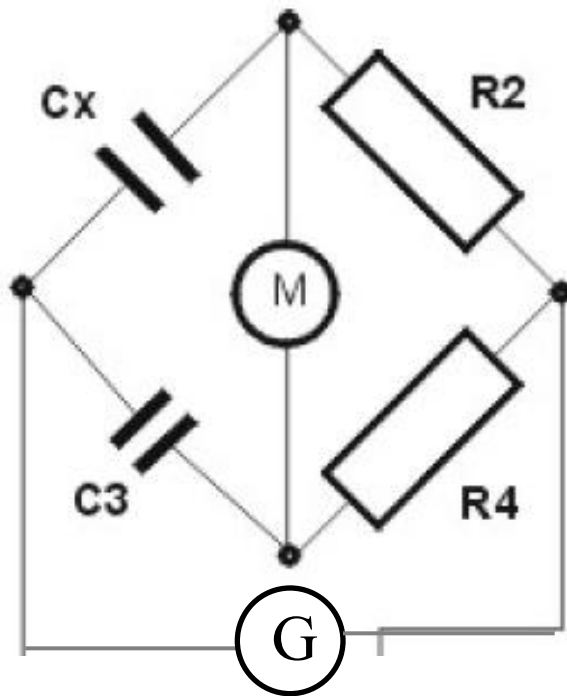
Elektryczny mostek prądu zmiennego

Mostek Wheatstone'a

do pomiaru pojemności

$$Z_X Z_4 = Z_2 Z_3 \quad \text{Podstawmy : } Z_4 = R_4 \quad Z_2 = R_2$$

$$Z_X = \frac{1}{\omega C_X} \quad Z_3 = \frac{1}{\omega C_3}$$



$$C_x = C_3 \frac{R_4}{R_2}$$

Pomiary indukcyjności cewek

- Metoda bezpośrednia – miernik indukcyjności
- Metoda pośrednia (techniczna)
- Metody mostkowe

Cewki

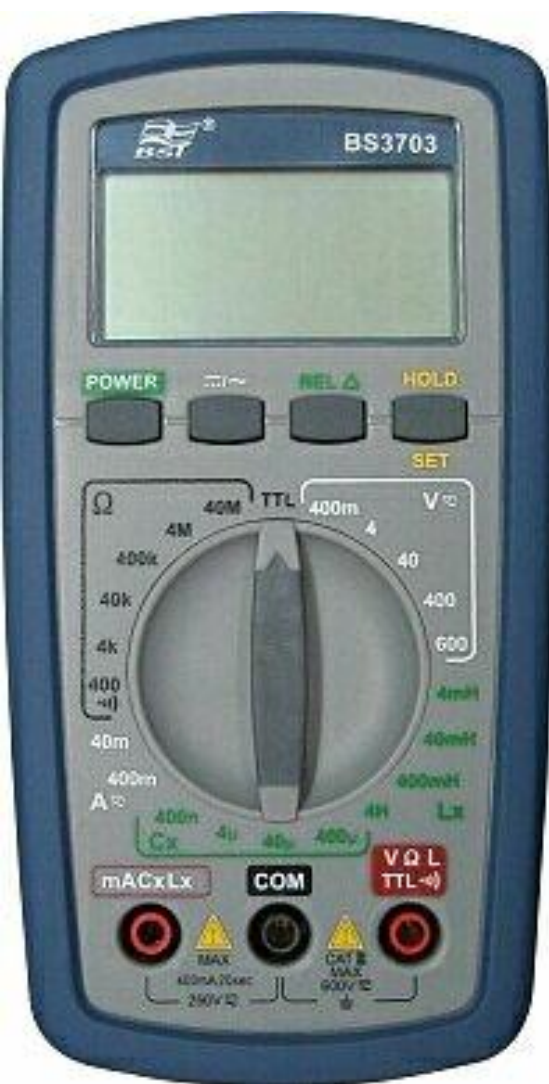
bezrdzeniowe



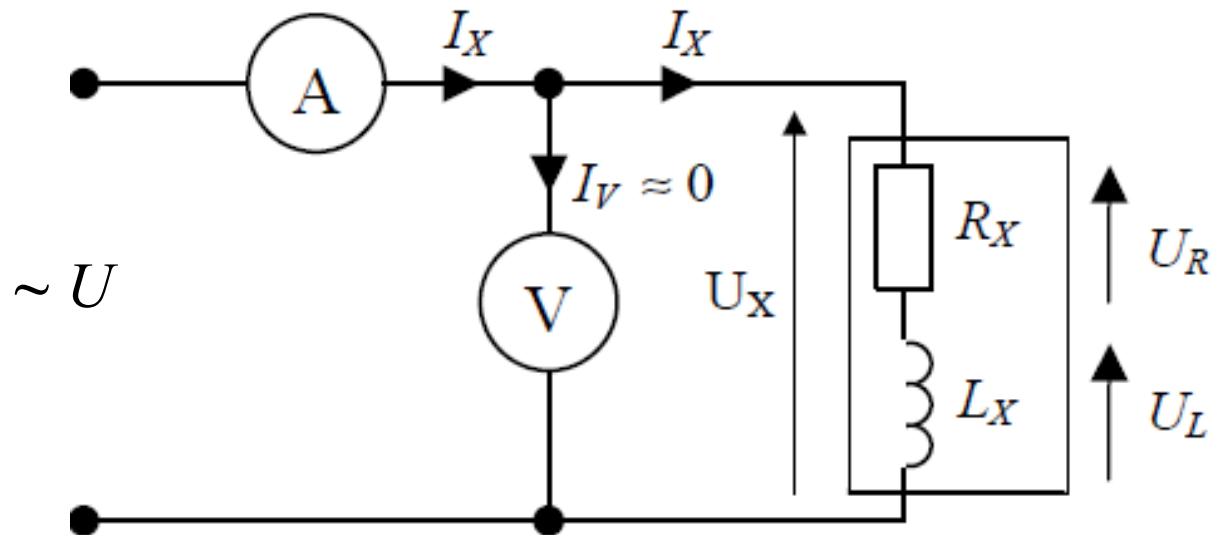
rdzeniowe



Bezpośrednie pomiary indukcyjności



Metoda techniczna



$$|Z_X| = \frac{U_X}{I_X}$$

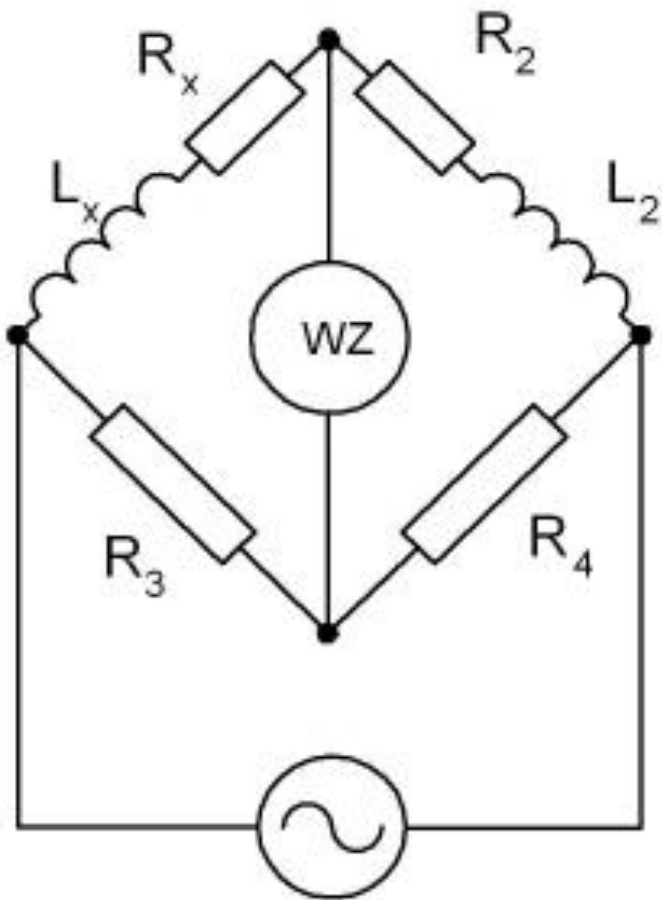
$$L_X = \frac{\sqrt{Z_X^2 - R_X^2}}{2\pi f}$$

dobroć

$$Q = \frac{\omega L_X}{R_X}$$

Mostek Maxwella

dla cewek bezrdzeniowych



$$L_x = L_2 \frac{R_3}{R_4}$$

$$R_x = R_2 \frac{R_3}{R_4}$$

Niepewności (błędy) pomiarów wielkości elektrycznych

- Wyróżniamy następujące rodzaje błędów (niepewności):

- Bezwzględne

- Błąd bezwzględny pomiaru to algebraiczna różnica między wartością zmierzoną (wynikiem pomiaru) X_m , a wartością poprawną (ponieważ rzeczywista nie jest znana) X_p wielkości mierzonej.

$$\Delta X = X_m - X_p$$

- Względne

- Błąd względny jest to iloraz błędu bezwzględnego i wartości poprawnej, często wyrażonych w procentach

$$\delta_X = (\Delta X / X_p) * 100\%$$

Błędy pomiarów wykonywanych przyrządami wskazówkowymi (analogowymi)

1. Błąd podstawowy wskazań
2. Błąd dodatkowy wskazań
3. Błąd odczytu

Błąd podstawowy

Wytwórca określa dla całej serii wyprodukowanych przyrządów największy możliwy błąd wskazań, którego z wysokim prawdopodobieństwem (poziomem ufności $P = 0,9973$) nie przekroczy żaden egzemplarz w żadnym punkcie podziałki.

Względny maksymalny błąd wskazań $\delta_{\max}$

$\Delta_{\max}$ -bezwzględny maksymalny błąd wskazań

Z_p - zakres pomiarowy (mierniki analogowe)

Na koniec nadaje całej serii wyprodukowanych przyrządów wspólną klasę dokładności k wybierając spośród ośmiu znormalizowanych wartości: 0,05%

$k \rightarrow 0,05\% \quad 0,1\% \quad 0,2\% \quad 0,5\% \quad 1\% \quad 1,5\% \quad 2,5\% \quad 5\%$

$$k \geq |\delta \max|$$

$$k = \frac{|\Delta_{\max}|}{Z_p} 100\%$$

Przekształcając powyższy wzór możemy obliczyć błąd bezwzględny

$$|\Delta_{\max}| = \frac{Z_p \cdot k}{100\%}$$

Oraz błąd względny:

Z powyższych wzorów otrzymamy:

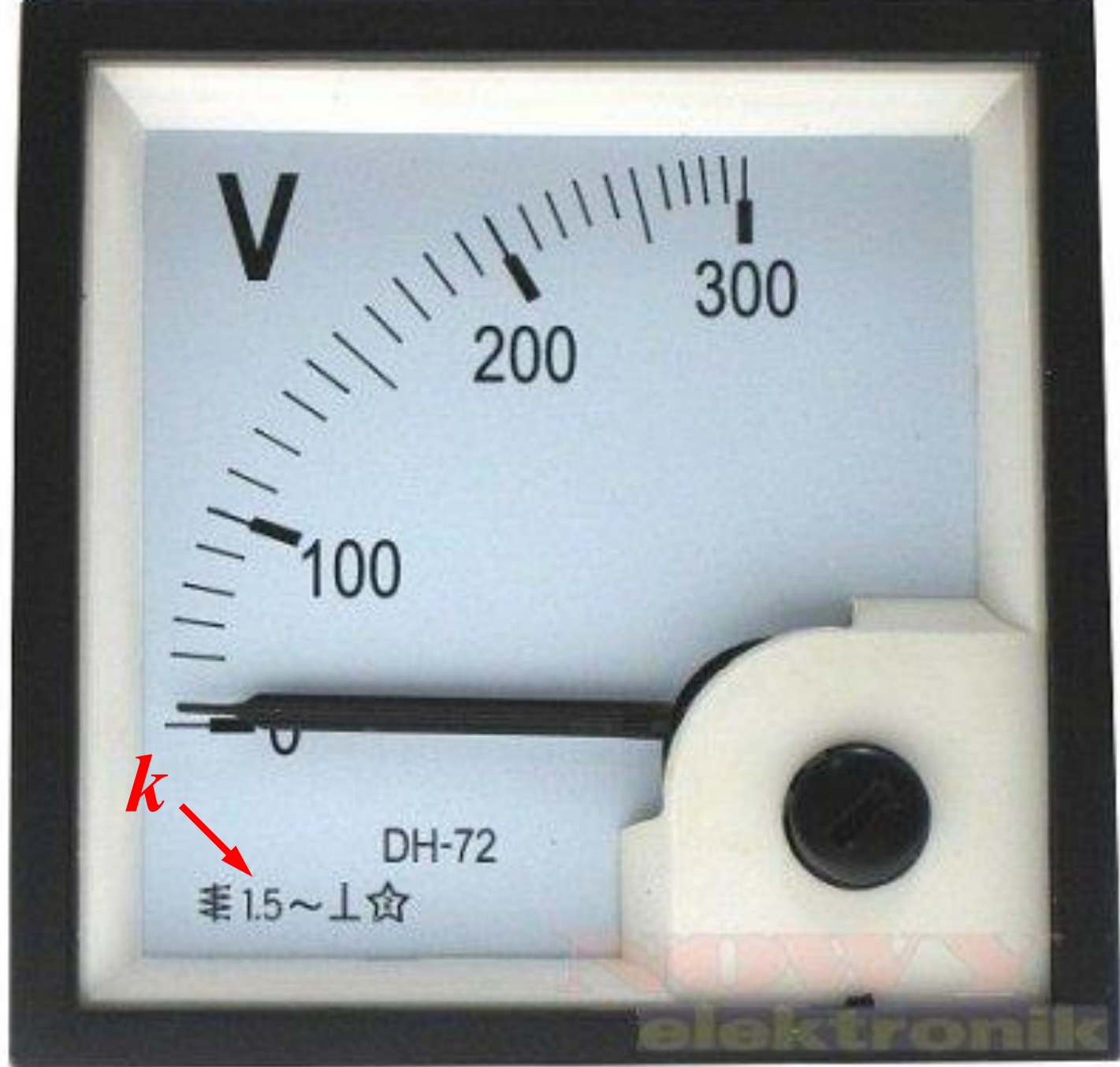
$$|\delta_w| = k \frac{Z_p}{W}$$

$|\delta_w|$ - względny błąd wskazań przyrządu

k - klasa dokładności przyrządu

Z_p - jego zakres pomiarowy

W - wskazanie przyrządu w chwili pomiaru



Błąd dodatkowy

Błąd ten związany jest z przekroczeniem podczas pomiaru znamionowych warunków pracy przyrządu. Znamionowe warunki określone są przez następujące parametry.

1. Temperaturę otoczenia (np. $+10^{\circ}\text{C} \div +30^{\circ}\text{C}$)
2. Wilgotność powietrza (np. do 85%)
3. Natężenie obcych pól magnetycznych (np. do 5 Oe)
4. Częstotliwość znamionową (np. 50 Hz) lub przedział dopuszczalnych częstotliwości (np. 20-50-400 Hz)
5. Współczynnik zawartości harmoniczych, charakteryzujący stopień odkształcenia od sinusoidy krzywej napięcia lub prądu (np. $h \leq 5\%$)
6. Sposób położenia przyrządu podczas pracy (np. pionowe albo poziome, albo pod określonym kątem, np. 30°)

Jeżeli przyrząd jest eksploatowany w normalnych warunkach błąd ten pomijamy

Błąd odczytu

Bezwzględny błąd odczytu dla przyrządu wskazówkowego o równomiernej podziałce (przypadek miernika laboratoryjnego) oblicza się według formuły

$$|\Delta_{od}| = p \frac{Z_p}{d}$$

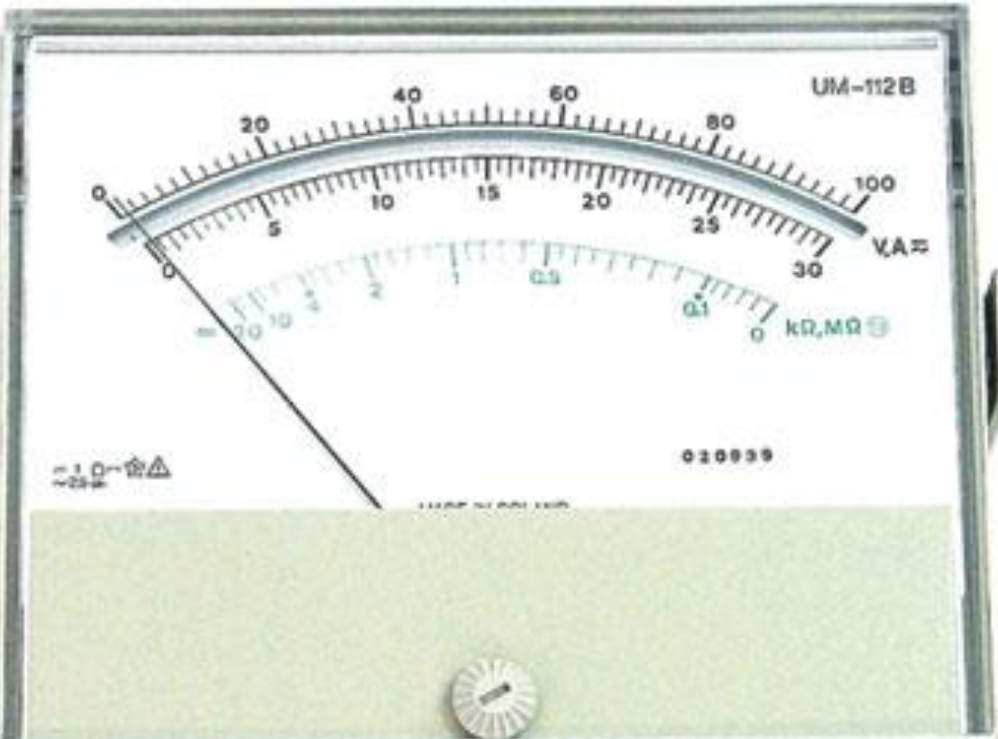
$|\Delta_{od}|$ - bezwzględny błąd odczytu

Z_p - zakres pomiarów

d - liczba działek podziałki

p - współczynnik charakteryzujący wprawę mierzącego

Przyjmuje się p z zakresu od 0,1 do 1, gdzie 1 oznacza jedną działkę na skali.



przykład

$$|\Delta_{od}| = p \frac{Z_p}{d} \quad p = 0,1$$

dla dolnej podziałki

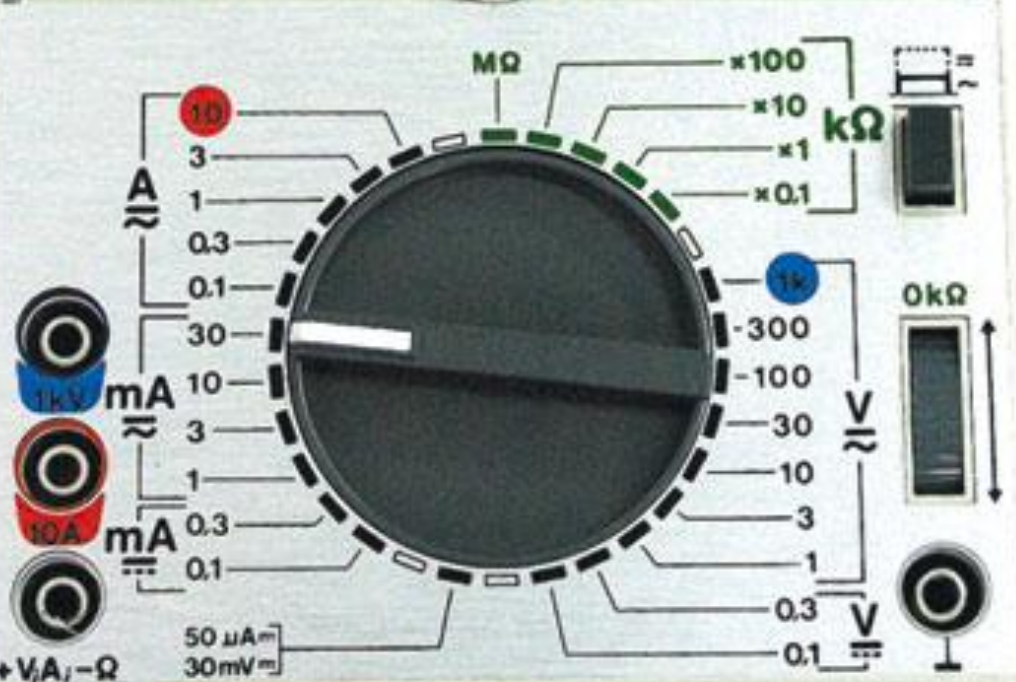
$$\Delta I_{od} = 0,1 \cdot \frac{30mA}{60} = 0,1 \cdot 0,5mA$$

$$\Delta I_{od} = 0,05 \text{ mA}$$

dla górnej podziałki

$$\Delta I_{od} = 0,1 \cdot \frac{30mA}{50} = 0,1 \cdot 0,6mA$$

$$\Delta I_{od} = 0,06 \text{ mA}$$



Względny błąd odczytu δ_{od} oblicza się, odnosząc błąd bezwzględny do wartości wskazywanej W (identycznie jak przy obliczaniu błędu wskazań):

$$|\delta_{od}| = \frac{\Delta_{od}}{W} 100\% \quad \leftarrow |\Delta_{od}| = p \frac{Z_p}{d}$$

$$|\delta_{od}| = \frac{p \cdot Z_p}{d \cdot W} 100\%$$

Całkowity maksymalny (graniczny) błąd pomiaru

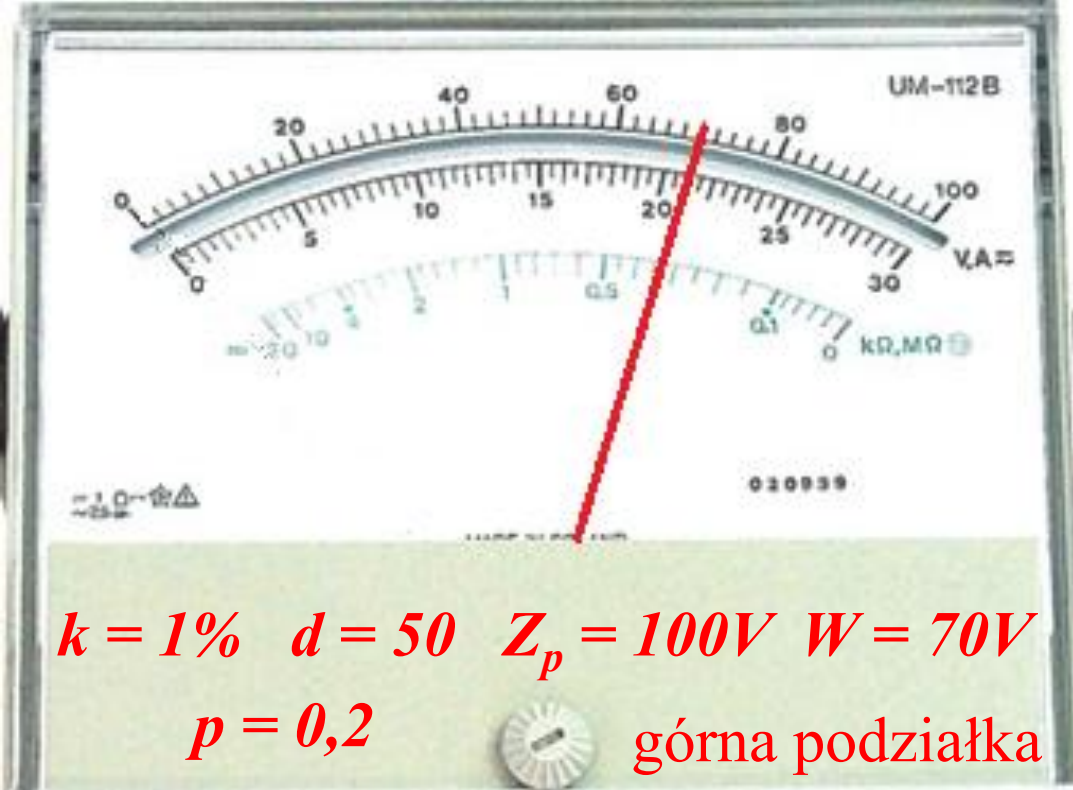
Bezwzględny maksymalny błąd pomiaru

$$|\Delta_{pm}| = |\Delta_{\max}| + |\Delta_{od}| = \left| \frac{k \cdot Z_p}{100\%} \right| + \left| p \frac{Z_p}{d} \right| = Z_p \left(\frac{k}{100\%} + \frac{p}{d} \right)$$

$$W \pm \Delta_{pm}$$

Względny maksymalny błąd pomiaru δ_{pm}

$$|\delta_{pm}| = |\delta_w| + |\delta_{od}| = \left| k \frac{Z_p}{W} \right| + \left| \frac{p \cdot Z_p}{d \cdot W} 100\% \right| = \frac{Z_p}{W} \left(k + \frac{p}{d} 100\% \right)$$



Całkowity błąd pomiaru

przykład

$$|\Delta_{pm}| = Z_p \left(\frac{k}{100\%} + \frac{p}{d} \right)$$

$$\Delta U = 100V \left(\frac{1\%}{100\%} + \frac{0,2}{50} \right)$$

$$\Delta U = 100V (0,01 + 0,004)$$

$$\Delta U = 100V \cdot 0,014 = 1,4V$$

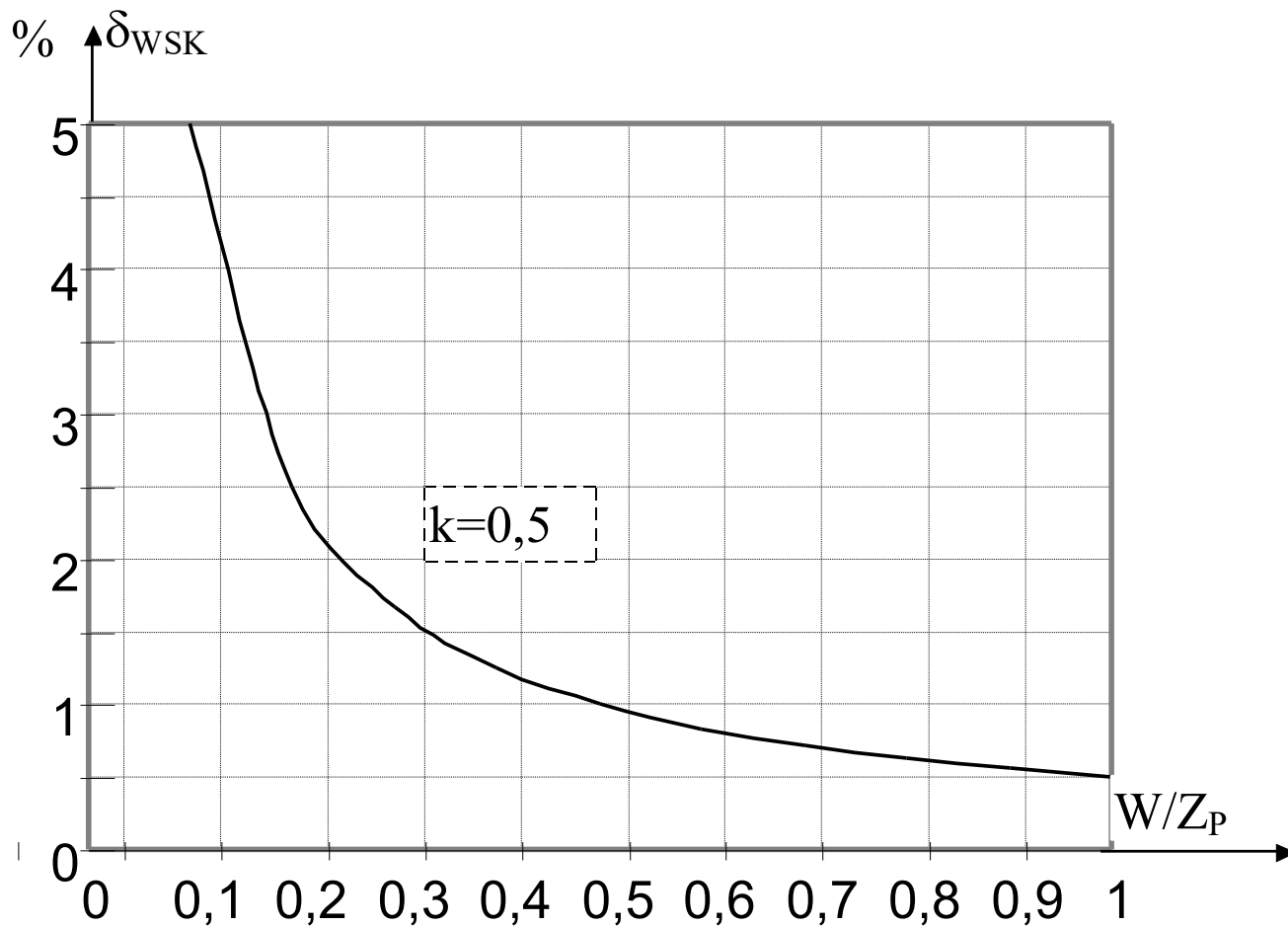
$$\Delta U = 1,4V$$

$$U = 70V \pm 1,4V$$

$$\delta_U = \frac{\Delta U}{U} = \frac{1,4V}{70V} = 0,02$$

$$\delta_U = 1,429 \cdot (1\% + 0,004 \cdot 100\%) = 1,425 \cdot 1,4\% \approx \underline{2,0\%} \quad \delta_{U\%} = 0,02 \cdot 100\% = 2\%$$

Aby uzyskać najdokładniejszy pomiar dobieramy zawsze najmniejszy zakres pomiarowy



Względny błąd wskazań w funkcji zmiennej Wskazanie/Zakres pom dla przyrządu wskazówkowego klasy 0,5

Błędy pomiarów wykonywanych miernikami cyfrowymi



Dokładność cyfrowych przyrządów pomiarowych określana jest w sposób bardziej złożony niż elektrycznych mierników wskazówkowych. Nie istnieje tu pojęcie klasy dokładności, tak charakterystycznej dla przyrządów wskazówkowych. Poza tym brak jest jednolitego sposobu podawania przez różnych wytwórców granicznych błędów wskazań charakteryzujących dokładność ich wyrobów. Sposób określania błędów jest w dodatku różna dla poszczególnych funkcji pomiarowych w ramach tego samego przyrządu (np. inny dla pomiaru napięć stałych, a inny dla napięć zmiennych).

Multimetr cyfrowy typu V561

Błąd pomiaru napięć stałych (DC)

Na wstępie przytaczamy dosłownie informację podaną przez wytwórcę:

Błąd pomiaru: 0,5% w.m. $\pm$ 1 cyfra

co oznacza, że graniczny (maksymalny) błąd bezwzględny wskazań ΔU_X wyraża się następująco:

$\Delta U_X = 0,5\%$ wartości zmierzonej $\pm$ wartość napięcia odpowiadająca ostatniej cyfrze maksymalnego wskazania $W_{\max}$ na nastawionym zakresie pomiarowym

gdzie 1 cyfra związana jest z tzw. *błędem dyskretyzacji*

Dla omawianego multimetru wytwórca podaje jako maksymalne następujące wskazanie:

$$W_{\max} = 1999$$

To maksymalne wskazanie odpowiada różnym wartościom napięcia dla różnych zakresów pomiarowych, a więc także różnym wartościom napięcia odpowiadającym ostatniej cyfrze wyświetlanego wyniku pomiaru. Przedstawia to pokazana niżej Tablica 1.

Tablica 1

Zakres pomiarowy U_n	Wartość napięcia odpowiadająca maksymalnemu wskazaniu (zakresowi pomiarowemu)	Wartość napięcia odpowiadająca ostatniej cyfrze wyświetlanego wyniku
200 mV	199,9 mV	0,1 mV
2 V	1,999 V	0,001 V
20 V	19,99 V	0,01 V
200 V	199,9 V	0,1 V
1000 V	1999 V (teoretycznie)	1,0 V

Przykład 1. Oblicz względny błąd maksymalny (graniczny), z jakim mierzone jest napięcie $U_X = 12 \text{ V}$ na zakresie pomiarowym $U_n = 20 \text{ V}$

Rozwiązanie

Biorąc pod uwagę dane producenta, napiszemy:

$$\Delta U_X = 0,5 \% \text{ w.m. } \pm 1 \text{ cyfra}$$

$$U_{\text{nas}}: \text{ w.m. } = 12 \text{ V}$$

1 cyfra odpowiada 0,01 V, stąd:

$$\begin{aligned} \Delta U_X &= 0,5\% \cdot 12 \text{ V} \pm 0,01 \text{ V} = \\ &= 0,005 \times 12 \text{ V} \pm 0,01 \text{ V} = \\ &= 0,06 \text{ V} \pm 0,01 \text{ V} \end{aligned}$$

Zakładając skrajnie niekorzystny z punktu widzenia dokładności pomiaru przypadek, przyjmiemy, że **błąd dyskretyzacji 0,01 V** ma znak dodatni, skąd ostatecznie:

$$\Delta U_X = 0,07 \text{ V}$$

Znajomość tego błędu pozwala na określenie przedziału, w którym z wysoką ufnością ($P = 0,9973$) zawiera się wartość rzeczywista mierzonego napięcia:

$$U = 12 \text{ V} \pm 0,07 \text{ V}$$

Poszukiwany błąd względny natomiast wyniesie:

$$\delta_{U_X} = \frac{|\Delta U_X|}{U_X} 100\% = \frac{0,07 \cdot [V]}{12 \cdot [V]} 100\% = 0,58\%$$

Przykład 4. Oblicz względny błąd maksymalny (graniczny), z jakim mierzone jest napięcie $U_X = 230 \text{ V}$ o częstotliwości $f = 50 \text{ Hz}$ na zakresie pomiarowym $U_n = 1000 \text{ V}$.

Rozwiązanie

$$\begin{aligned}\Delta U_X &= \pm 0,5\% \cdot 230 \text{ V} \pm 0,2\% \cdot 1000 \text{ V} = \\ &= \pm 0,005 \times 230 \text{ V} \pm 0,002 \times 1000 \text{ V} = \\ &= \pm 1,15 \text{ V} \pm 2 \text{ V} = \pm 3,15 \text{ V}\end{aligned}$$

$$U = 230 \text{ V} \pm 3,15 \text{ V}$$

Poszukiwany błąd względny natomiast wyniesie:

$$\delta_{U_X} = \frac{|\Delta U_X|}{U_X} 100\% = \frac{3,15 \cdot [\text{V}]}{230 \cdot [\text{V}]} 100\% = 1,365\% \approx 1,36\%$$

Oporniki dekadowe



$$\Delta R = kl_1 \cdot nastawa_1 + kl_2 \cdot nastawa_2 + kl_3 \cdot nastawa_3 + \dots$$

$$\Delta R = \frac{kl_1 \% \cdot nastawa_1}{100\%} + \frac{kl_2 \% \cdot nastawa_2}{100\%} + \frac{kl_3 \% \cdot nastawa_3}{100\%} + \dots$$

$$\delta_r = \frac{\Delta R}{R}$$

Przykład

Jeżeli na oporniku wielodekadowym zostanie nastawiona rezystancja **43,7 Ω**



$$\Delta R = \frac{0,05\% \cdot 40 \Omega}{100\%} + \frac{0,1\% \cdot 3 \Omega}{100\%} + \frac{0,5\% \cdot 0,7 \Omega}{100\%}$$

$$\Delta R = 0,02 \Omega + 0,003 \Omega + 0,0035 \Omega = 0,0265 \Omega$$

$$\delta_r = \frac{\Delta R}{R} = \frac{0,0265 \Omega}{43,7 \Omega} \approx 0,00061$$

$$\delta_{r\%} = 0,00061 \cdot 100\% = 0,061\%$$

Przykłady

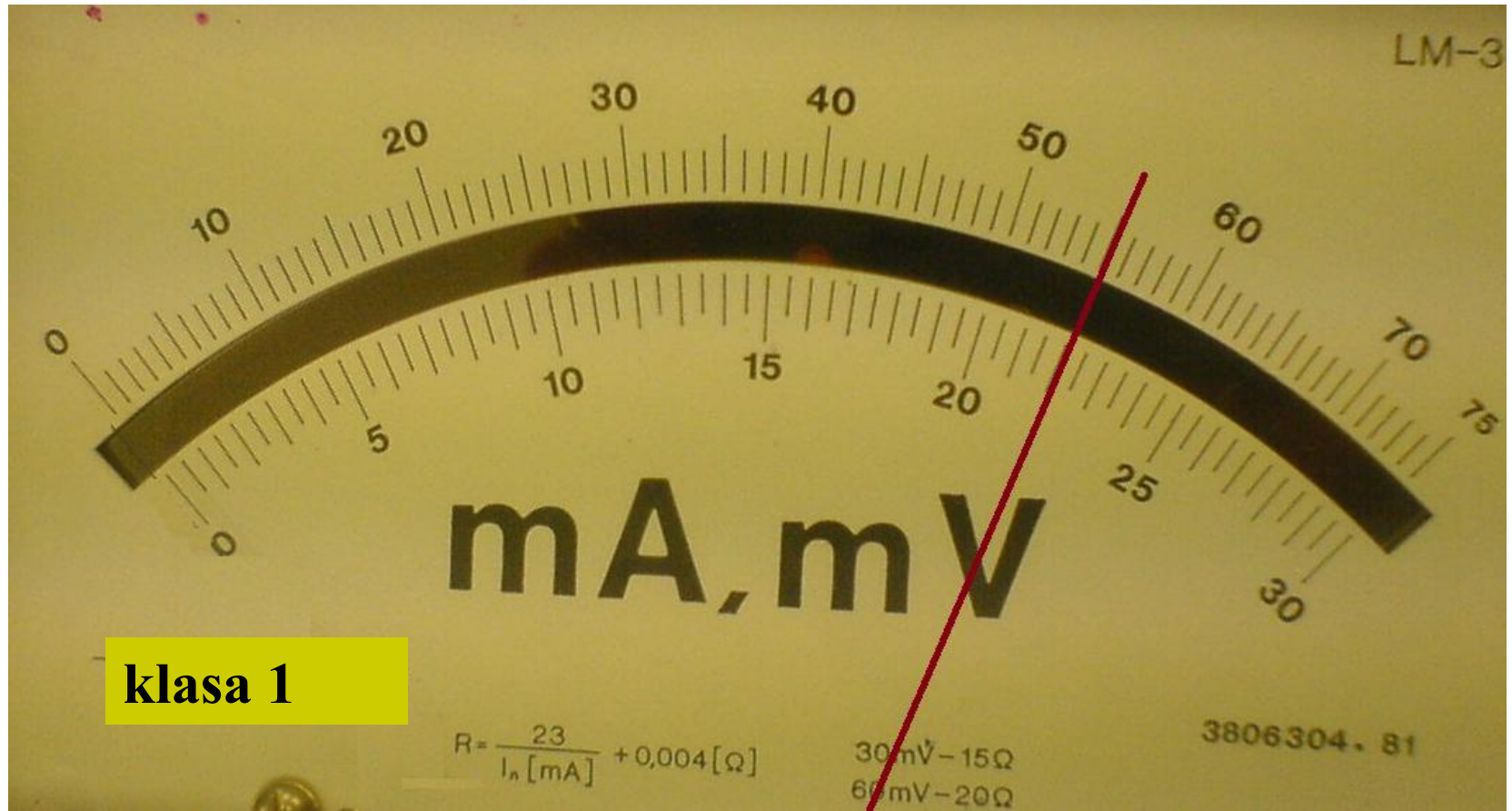
Oblicz maksymalną bezwzględną niepewność pomiaru ΔU napięcia dla miernika wykonującego poniższy pomiar (11,05 V).



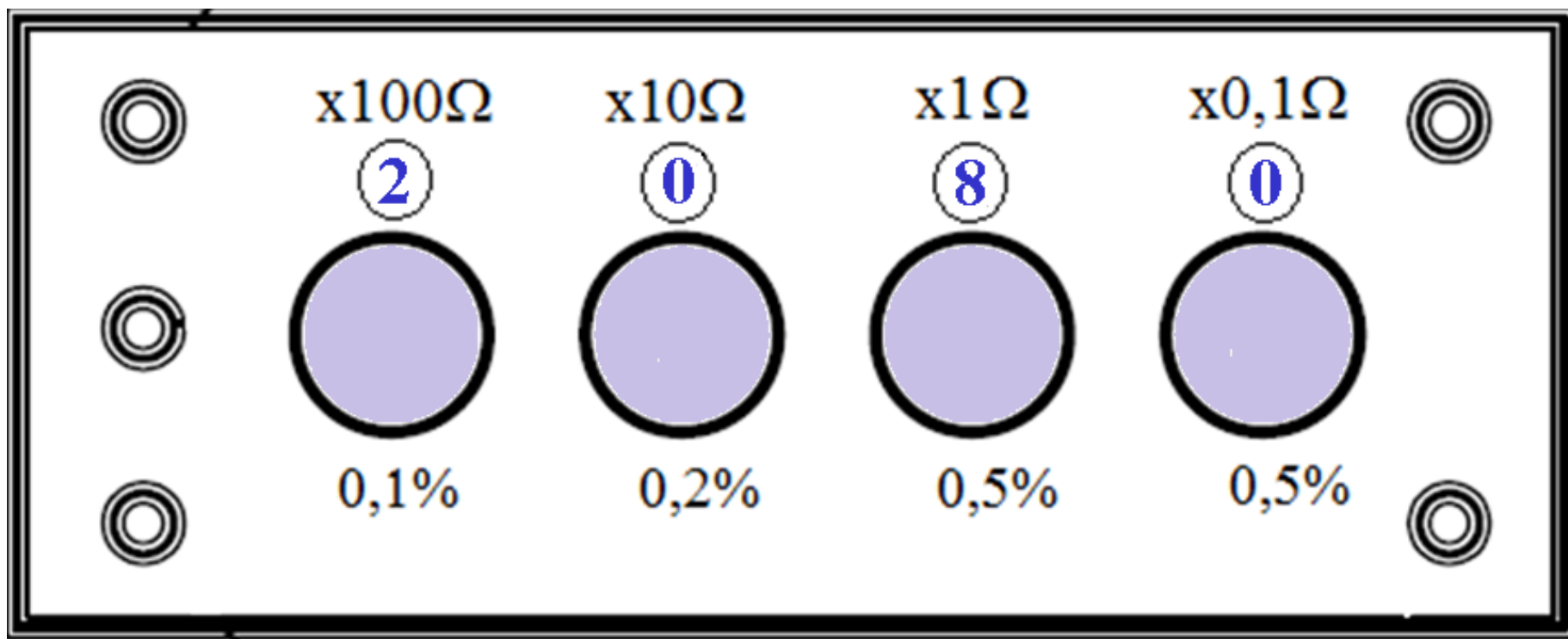
Dokładność podana przez producenta w instrukcji obsługi:

$\pm 2,0\%$ wskazania ± 3 cyfry

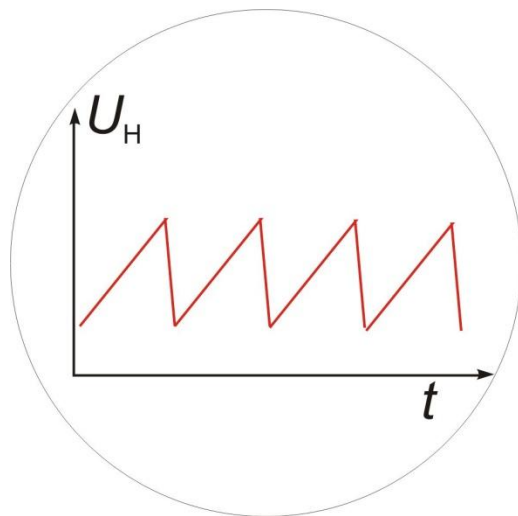
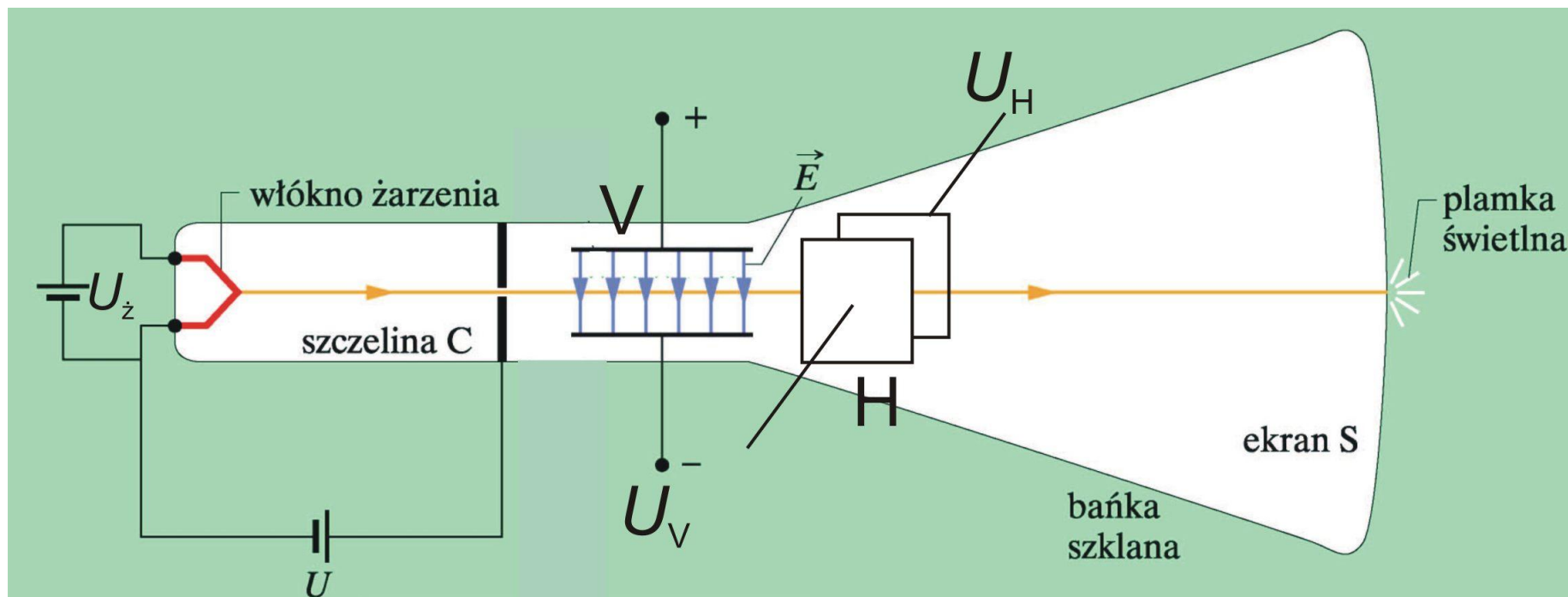
Oblicz maksymalną bezwzględną niepewność pomiaru ΔI natężenia prądu dla miernika wykonującego poniższy pomiar jeżeli:
Zakres wynosi **7,5 mA**, odczyt następuje z górnej podziałki,
współczynnik charakteryzujący wprawę mierzącego $p = 1$.



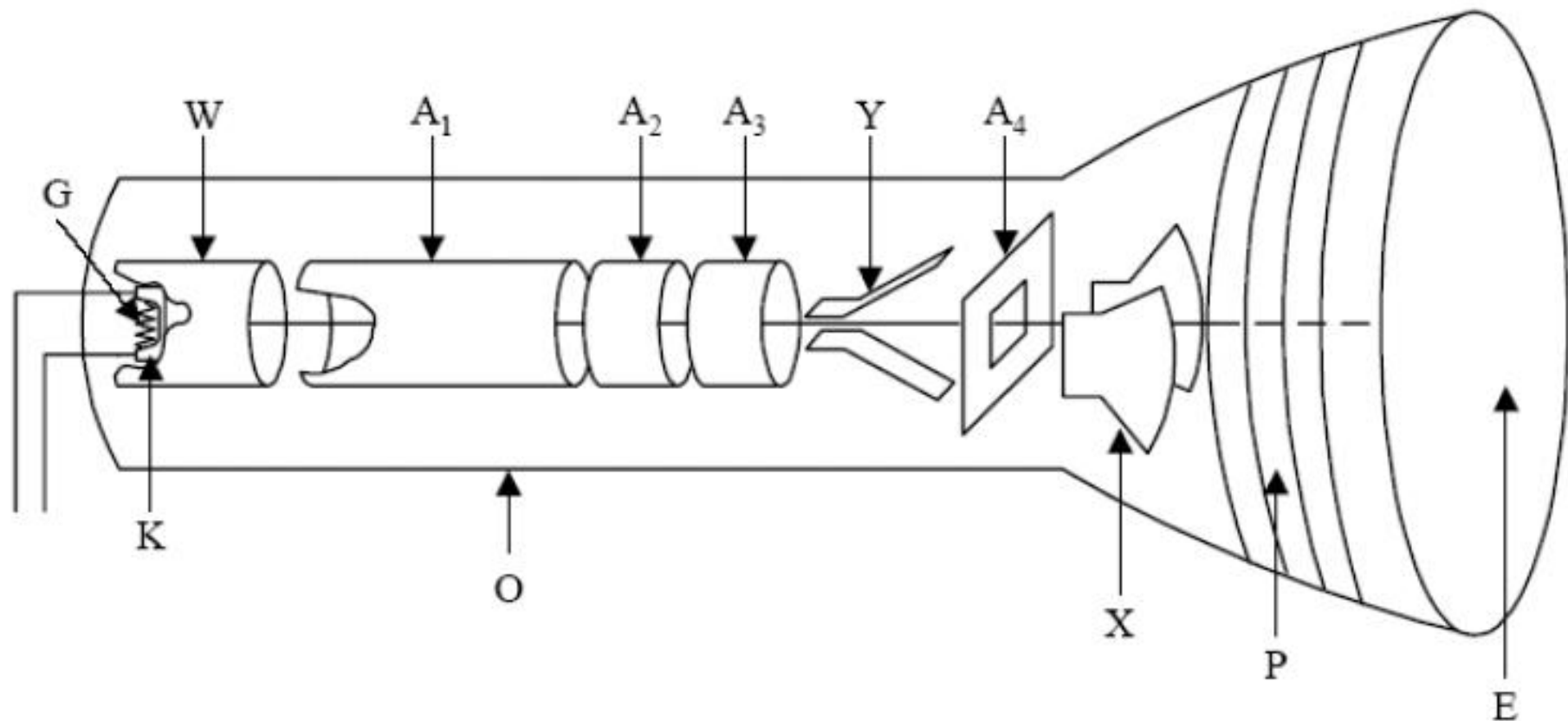
Oblicz R oraz maksymalną bezwzględną niepewność pomiaru ΔR dla poniższych nastaw na oporniku dekadowym.



Lampa oscyloskopowa



Budowa lampy oscyloskopowej



K – katoda żarzona (Ż), **G** – grzejnik katody,

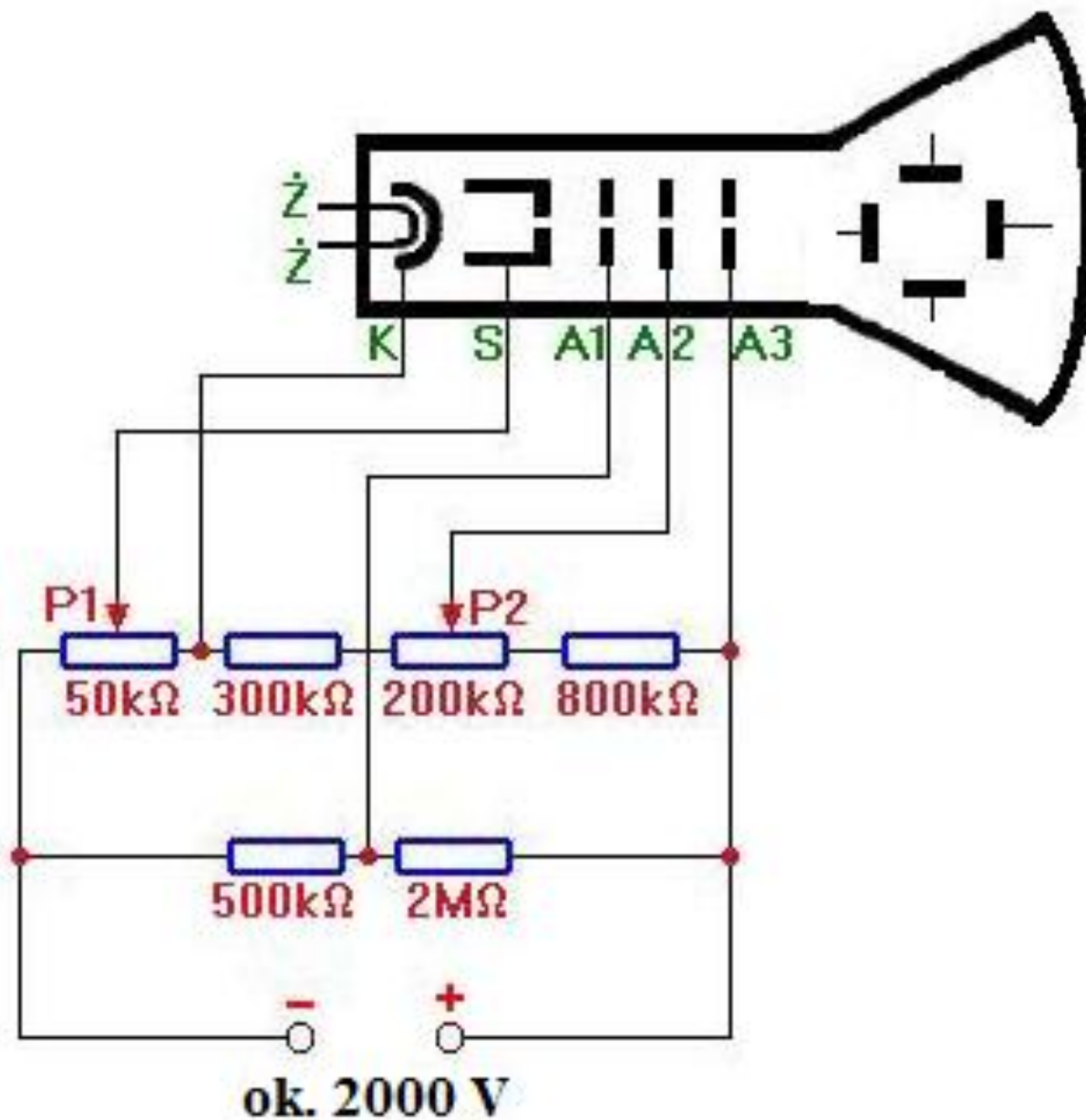
W - siatka sterująca (cylinder Wehnelta)

A₁ , **A₂** i **A₃** - anody cylindryczne, **A₄** – elektroda ekranująca,

Y – płytki odchyłania pionowego, **X** – płytki odchyłania poziomego,

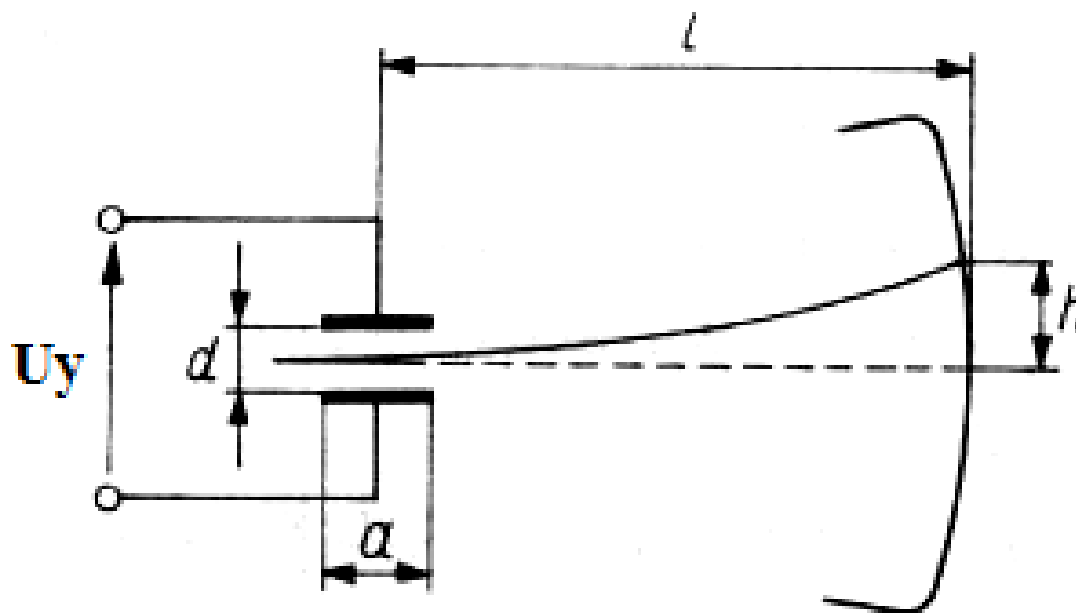
E – ekran, **O** – osłona szklana, **P** – powłoka grafitowa.

Zasilanie lampy oscyloskopowej



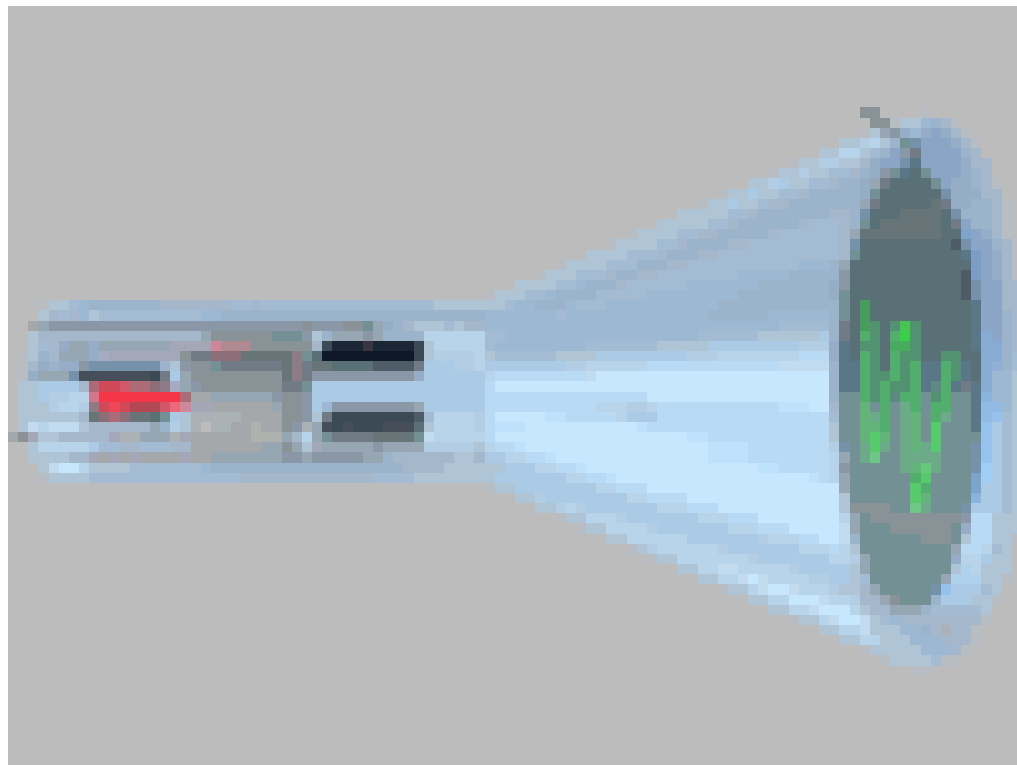
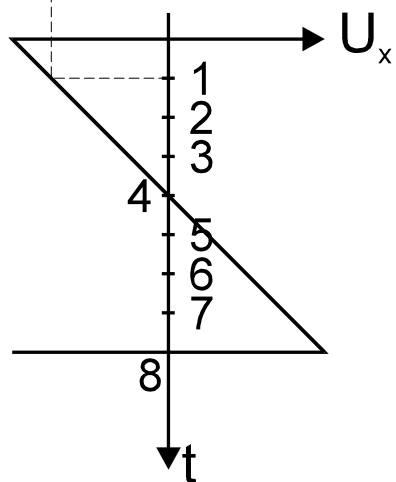
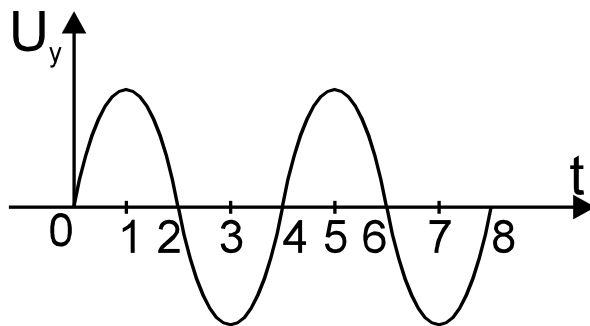
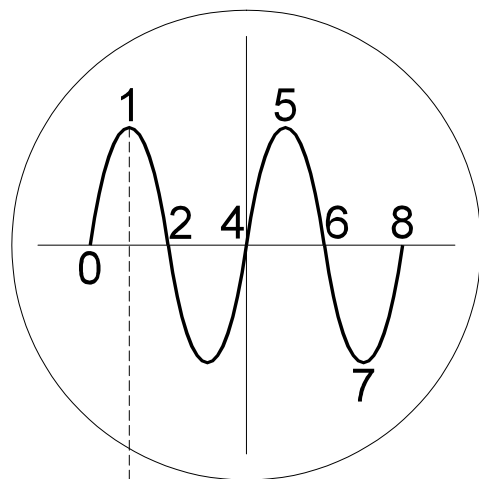
Czułość lampy oscyloskopowej

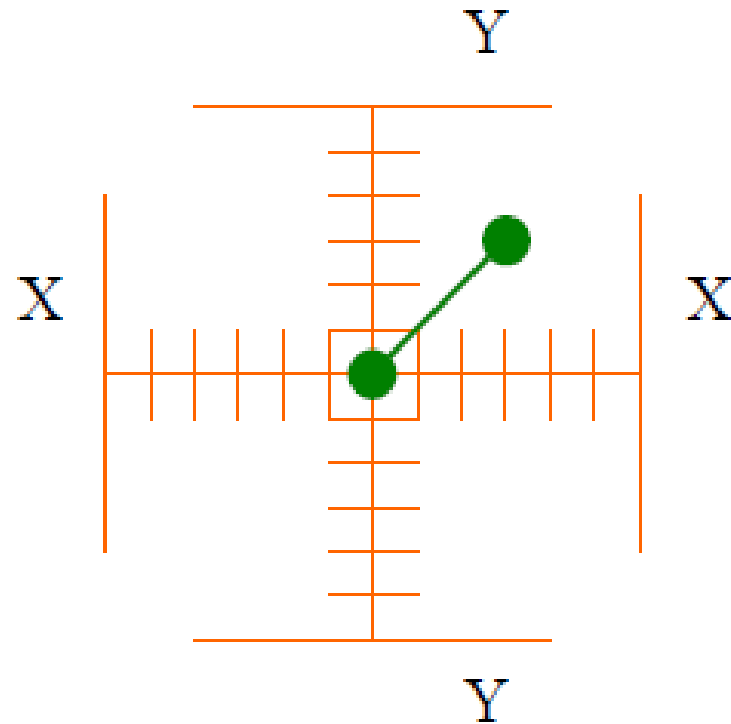
U_a – napięcie ostatniej z anod przyspieszających



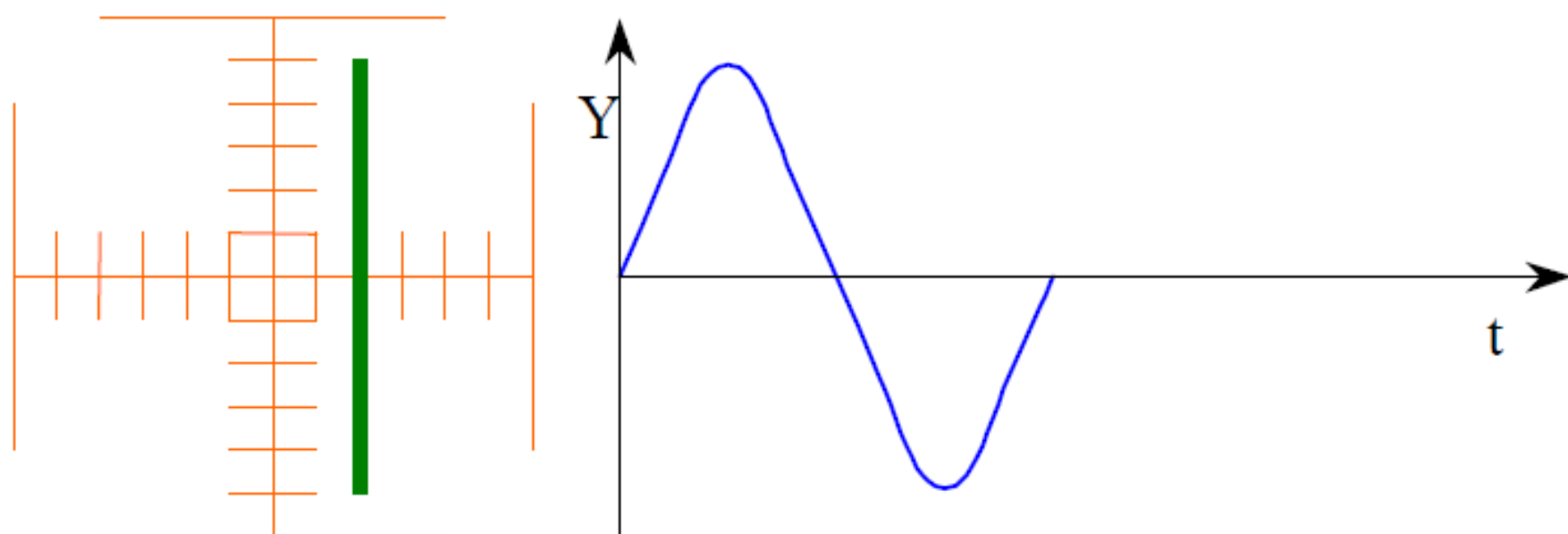
Czułość współcześnie stosowanych lamp wynosi $0,1 \div 1 \text{ mm/V}$.

Zasada powstawania obrazu w lampie oscyloskopowej.

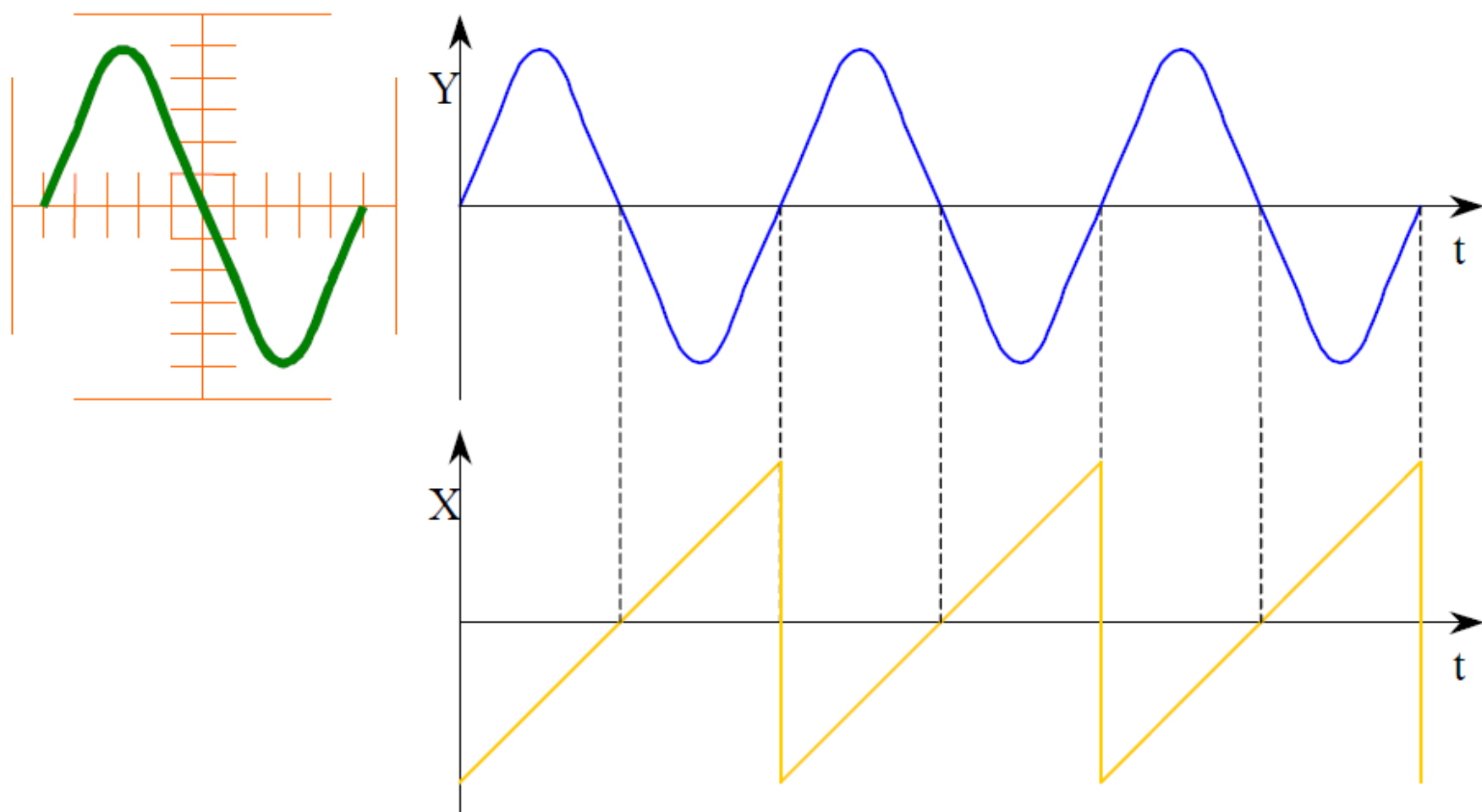




Położenie plamki świetlnej w zależności od przyłożonego na płytki X i Y napięcia stałego

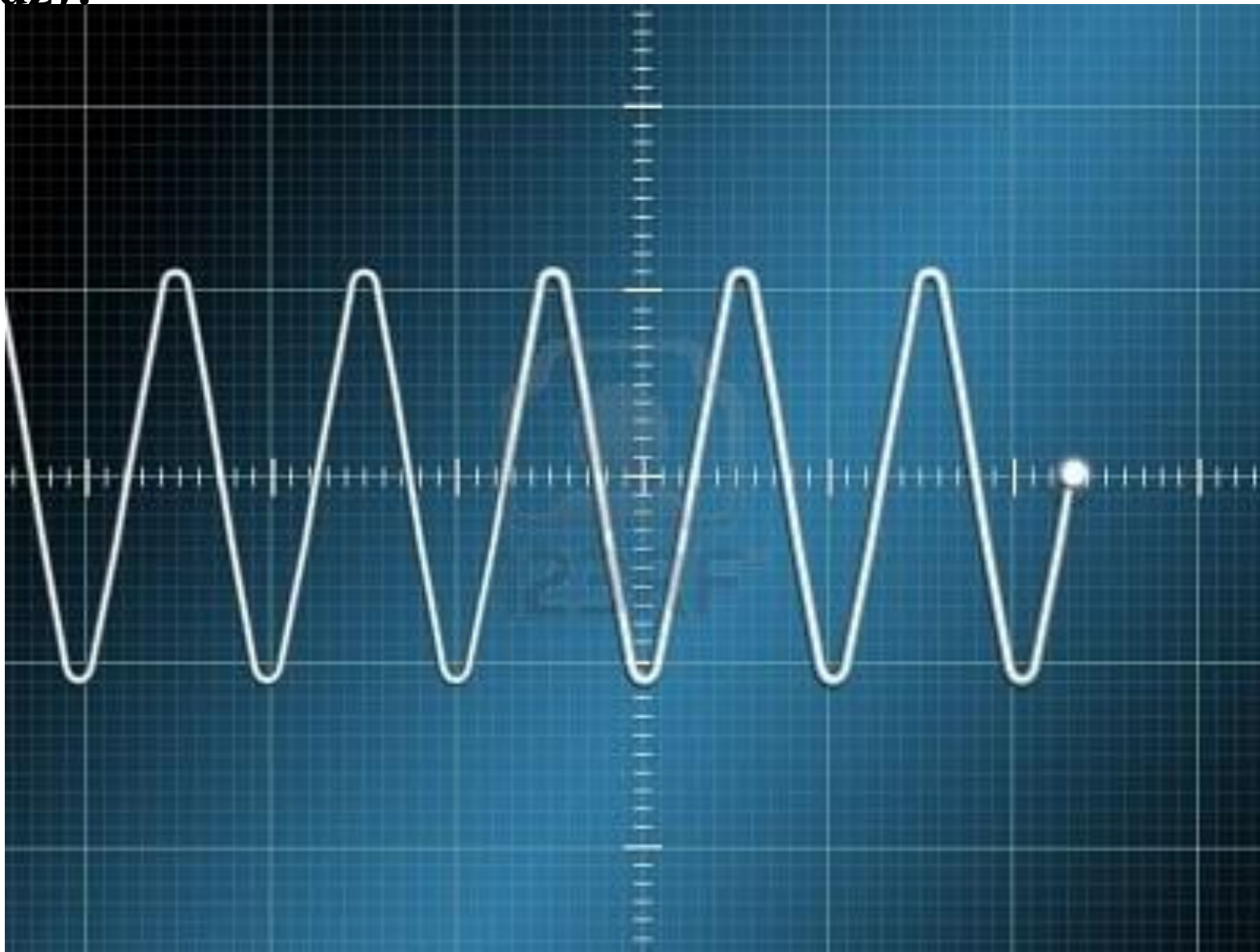


Położenie plamki świetlnej w zależności od przyłożonego na płytki Y napięcia zmiennego



Powstawanie **stałego obrazu** przebiegu
napięcia przyłożonego na płytki Y

1) Jaka jest wartość amplitudy oraz napięcia międzyszczytowego dla poniższego przebiegu (nastawa $2V/dz$)?



**2) Znajdź okres oraz częstotliwość dla
poniższego przebiegu. Nastawa 0,5 ms / dz.**

