

Z tego podrozdziału dowiesz się:

- w jakim celu rozszerza się zakresy pomiarowe mierników,
- w jaki sposób dokonuje się rozszerzenia zakresu pomiarowego w poszczególnych miernikach,
- jakie są podstawowe zależności opisujące posobniki, boczniki, przekładniki prądowe i napięciowe.

## Wiadomości ogólne o miernikach i ich zakresach pomiarowych

### 2.8.1

Mierniki elektryczne są budowane na określone zakresy pomiarowe, przykładowo:

- amperomierze: 0,3; 0,6; 5; 10; 15; 20; 30 A;
- woltomierze: 0,15; 0,3; 0,75; 1,5; 3; 7,5; 15; 30; 75; 150; 300; 750 V.

Występują również inne, mniejsze zakresy pomiarowe, rzędu mili- lub mikroamperów czy woltów. Zatem aby dokonać pomiaru wartości prądu czy napięcia, wystarczy użyć przyrządu o zakresie nieco większym niż oczekiwana wartość wielkości pomiarowej. Dobieramy miernik, ustawiamy zakres pomiarowy, załączamy i już mamy pomiar.

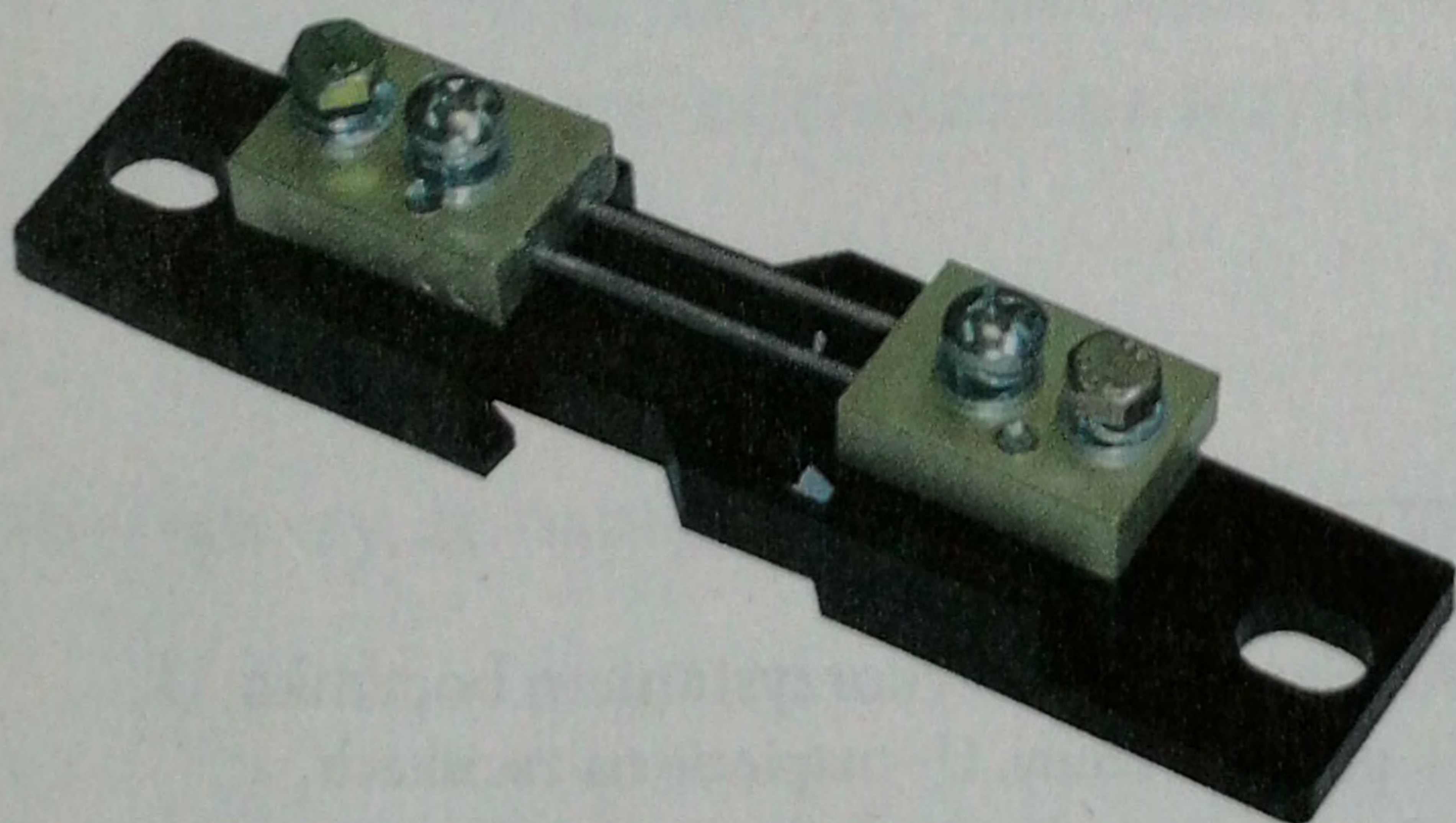
W przypadku gdy zakładana wartość wielkości mierzonej jest większa niż zakres miernika, jakim dysponujemy, lub wartości te są tak duże, że nie można ich mierzyć bezpośrednio, wtedy należy rozszerzyć możliwości pomiarowe naszych przyrządów.

## Rozszerzanie zakresu pomiarowego miernika prądu za pomocą bocznika

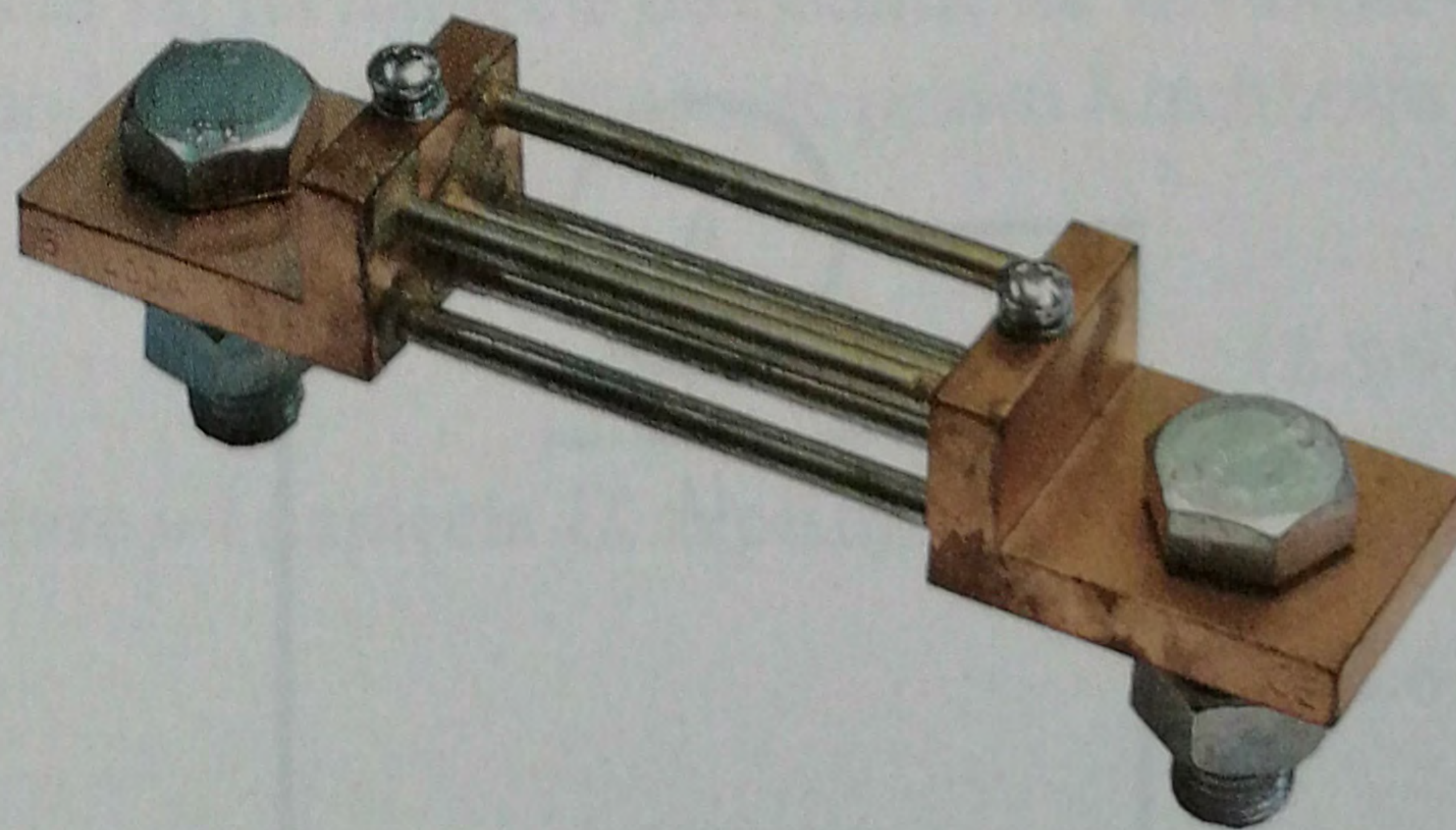
### 2.8.2

Do powiększania zakresów pomiarowych stosuje się rezystory zwane **bocznikami** do amperomierzy i **posobnikami** do woltomierzy.

Prądy o wartości do około 10 mA mogą w całości przepływać przez ustrój miernika np. magnetoelektrycznego. Gdy prąd mierzony ma wartość większą, przykładowo 20 A, stosuje się amperomierze z bocznikami zazwyczaj znajdującymi się w przyrządzie. Natomiast



Rys. 2.31 Bocznik pomiarowy typu B2



Rys. 2.32 Bocznik pomiarowy typu B6



**Rys. 2.33**  
Bocznik prądowy SH-2

dla większych wartości prądów stosuje się amperomierze z bocznikami zewnętrznymi (rys. 2.31, 2.32, 2.33). Amperomierz jest w zasadzie miliwoltomierzem magnetoelektrycznym połączonym równolegle z opornikiem o małej rezystancji, wykonanym niezwykle precyzyjnie i zwanym bocznikiem. Przepływający prąd wywołuje spadek napięcia na rezystorze bocznikującym i powoduje wychylenie wskazówki miliwoltomierza, który jest wyskalowany w amperach.

Prezentowany na rysunku 2.31 przyrząd jest bocznikiem prądu stałego stosowanym do rozszerzenia zakresów pomiarowych amperomierzy magnetoelektrycznych, watomierzy i liczników energii.

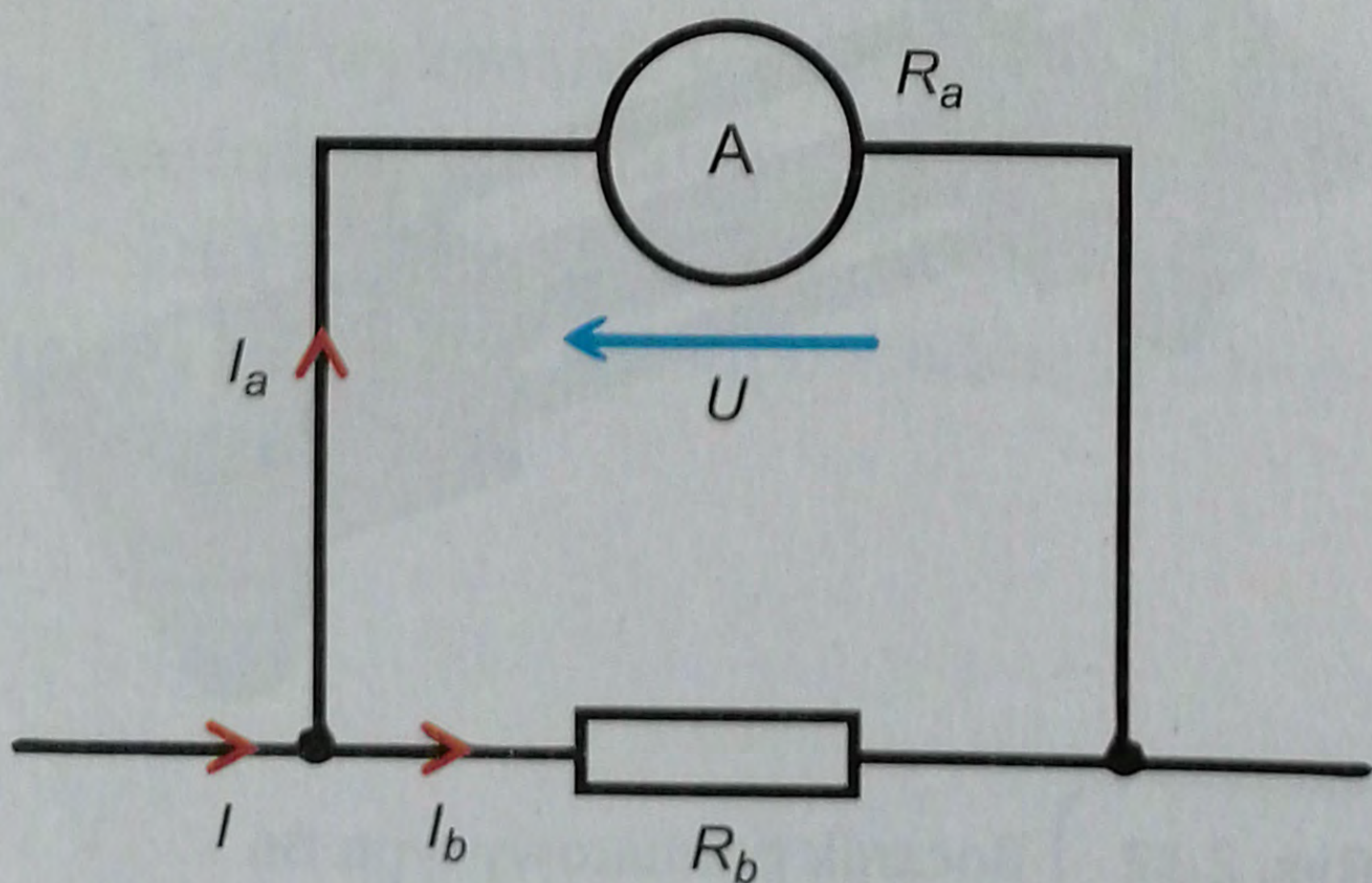
Jego cechy charakterystyczne to:

- spadek napięcia 60 mV,
- klasa dokładności 0,5,
- mocowanie zatrzaskowe na szynie lub do podłoża.

Amperomierze są wykonywane często jako wielozakresowe, zawierające oporniki z odczepami dla poszczególnych zakresów pomiarowych. W zależności od wykonania amperomierze mają znamionowy spadek napięcia podawany poniżej podziałki miernika na jego tarczy albo podzielnicy.

Bocznik jest wykonywany z drutu lub taśmy manganinowej, w celu zachowania stałej rezystancji. W zależności od wartości prądu znamionowego boczniki są wykonywane w różnych kształtach i rozmiarach.

Aby lepiej zrozumieć działanie boczników prądowych, przyjrzyjmy się rysunkowi 2.34, na którym zobrazowano połączenie ustroju pomiarowego (miliwoltomierza) z rezystorem bocznikującym.



**Rys. 2.34**  
Pomiar prądu z wykorzystaniem bocznika  
 $I$  – prąd mierzony,  $U$  – napięcie na zaciskach amperomierza,  $I_a$  – prąd płynący przez amperomierz,  $I_b$  – prąd płynący przez bocznik,  $R_b$  – rezystancja bocznika,  $R_a$  – rezystancja amperomierza

Stosując prawo Ohma i Kirchhoffa, dla rysunku 2.34 możemy zapisać równania

$$R_b = \frac{U}{I_b} \quad (2.8.1)$$

$$U = I_a R_a \quad (2.8.2)$$

$$I_b = I - I_a \quad (2.8.3)$$

Celem zastosowania bocznika jest uzyskanie możliwości pomiaru prądu  $I$ , który jest  $n_a$  razy większy niż prąd przepływający przez amperomierz  $I_a$ .

Zapiszmy zatem

$$n_a = \frac{I}{I_a} \quad (2.8.4)$$

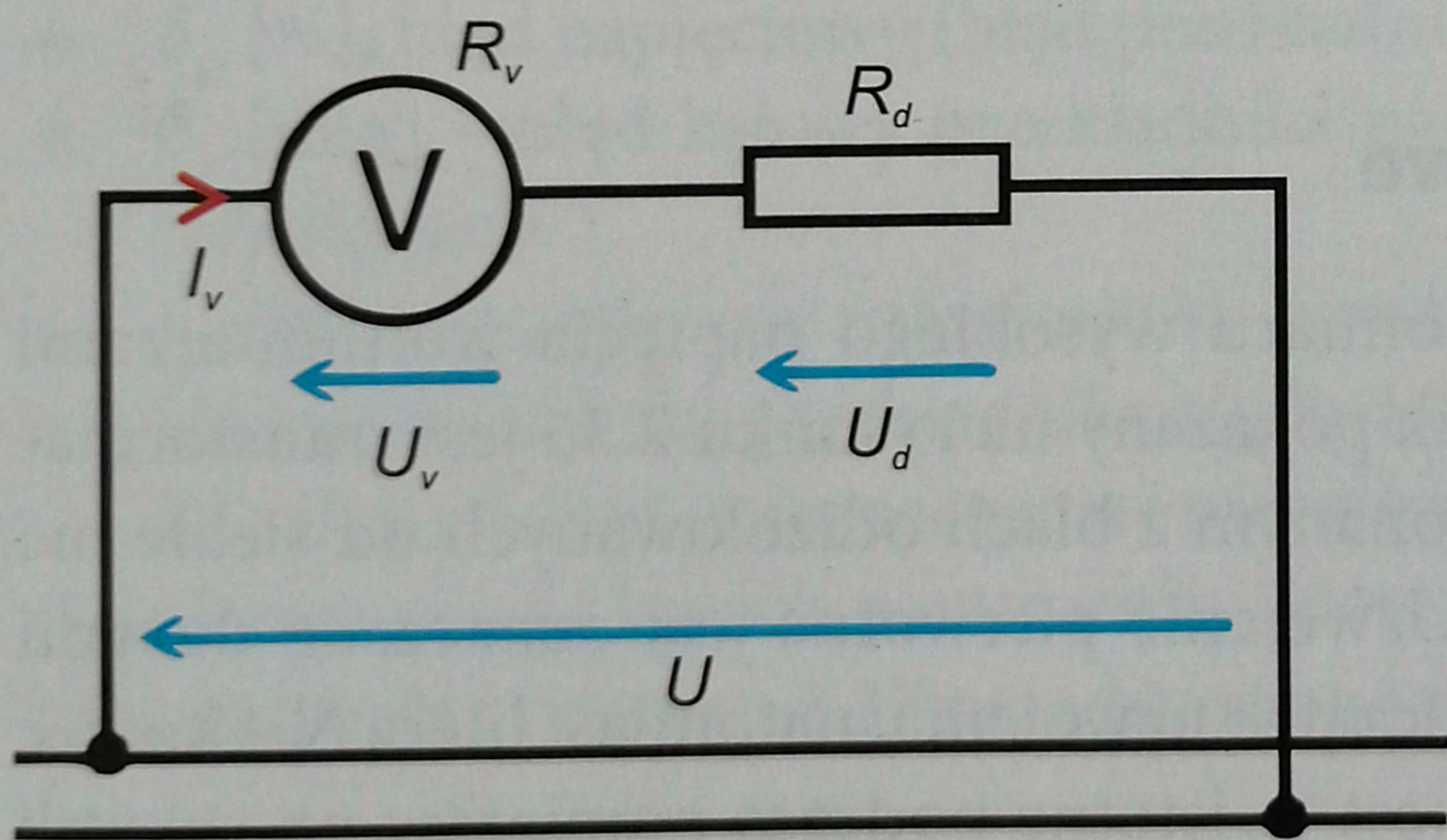
Po uwzględnieniu powyższych zależności otrzymujemy wzór pozwalający prawidłowo dobrać wartość rezystancji bocznika

$$R_b = \frac{R_a}{n_a - 1}$$

## Rozszerzanie zakresu pomiarowego napięcia za pomocą posobnika

2.8.3

Posobnik jest to bardzo dokładnie wykonany rezystor łączony szeregowo z woltomierzem w celu rozszerzenia zakresu pomiarowego przyrządu (rys. 2.35).



Rys. 2.35

Rozszerzenie zakresu pomiarowego woltomierza za pomocą posobnika

$U$  – napięcie mierzone,  $U_v$  – napięcie woltomierza,  $U_d$  – napięcie na rezystorze dodatkowym (na posobniku),  $R_v$  – rezystancja woltomierza,  $R_d$  – rezystancja posobnika

Zauważmy, że napięcie mierzone  $U$  rozkłada się na napięcie odkładane na woltomierzu  $U_v$  oraz napięcie odkładane na rezystorze dodatkowym  $U_d$ . Stosując prawo Kirchhoffa, możemy zapisać

$$U_d = U - U_v \quad (2.8.5)$$

Przyjmąwszy, że napięcie  $U_v$  jest  $n$ -krotnie mniejsze od napięcia  $U$ , zapisujemy

$$U = nU_v \quad (2.8.6)$$

$$n = \frac{U}{U_v} \quad (2.8.7)$$

$$U_d = U_v (n-1) \quad (2.8.8)$$

Uwzględniając prawo Ohma, otrzymujemy

$$IR_d = IR_v (n-1) \quad (2.8.9)$$

Celem zastosowania posobnika jest rozszerzenie zakresu pomiarowego woltomierza. Wziąwszy pod uwagę powyższe zależności, możemy wyznaczyć wartość rezystancji posobnika ze wzoru

$$R_d = R_v (n-1) \quad (2.8.10)$$

## 2.8.4 Rozszerzanie zakresu pomiarowego za pomocą przekładników

Innym sposobem rozszerzania zakresów pomiarowych jest stosowanie transformatorów specjalnych. Do powiększenia zakresu woltomierzy stosuje się **przekładniki napięciowe**, natomiast **przekładnik prądowy** służy do zwiększenia możliwości pomiarowych amperomierzy. Należy jednak pamiętać, że przekładniki prądowe i napięciowe są stosowane w obwodach prądu przemiennego.

Transformatory te są wykorzystywane do rozszerzenia zakresów pomiarowych do pomiarów prądu, napięcia, mocy i energii elektrycznej.

Jeżeli zastosujemy jednocześnie przekładniki prądowe i napięciowe, to będziemy mieli do czynienia z pośrednim pomiarem energii. W przypadku zastosowania jednego rodzaju transformatorów specjalnych, tylko prądowych lub tylko napięciowych, pomiar energii jest dokonywany w sposób półpośredni.

## 2.8.5 Przekładniki napięciowe

Przekładniki napięciowe stosuje się do pomiaru wysokiego napięcia woltomierzami o małym zakresie pomiarowym. Przekładnik pokazany na rysunku 2.36 jest transformatorem pomiarowym, który na rdzeniu wykonanym z blach odizolowanych od siebie ma nawinięte uzwojenie pierwotne i wtórne. Uzwojenie pierwotne jest oznaczane dużymi literami  $M, N$ , przy czym litera  $M$  oznacza początek uzwojenia, natomiast litera  $N$  – koniec uzwojenia. Musimy o tym pamiętać, gdyż jest to istotne podczas pomiarów np. energii elektrycznej trójfazowej. Nie wolno zamieniać początku i końca uzwojenia zarówno pierwotnego, jak i wtórnego. Uzwojenie wtórne jest oznaczane małymi literami  $m, n$ . Analogicznie, początek oznacza litera  $m$ , koniec – litera  $n$ .

Dla przekładnika napięciowego zachodzi równość

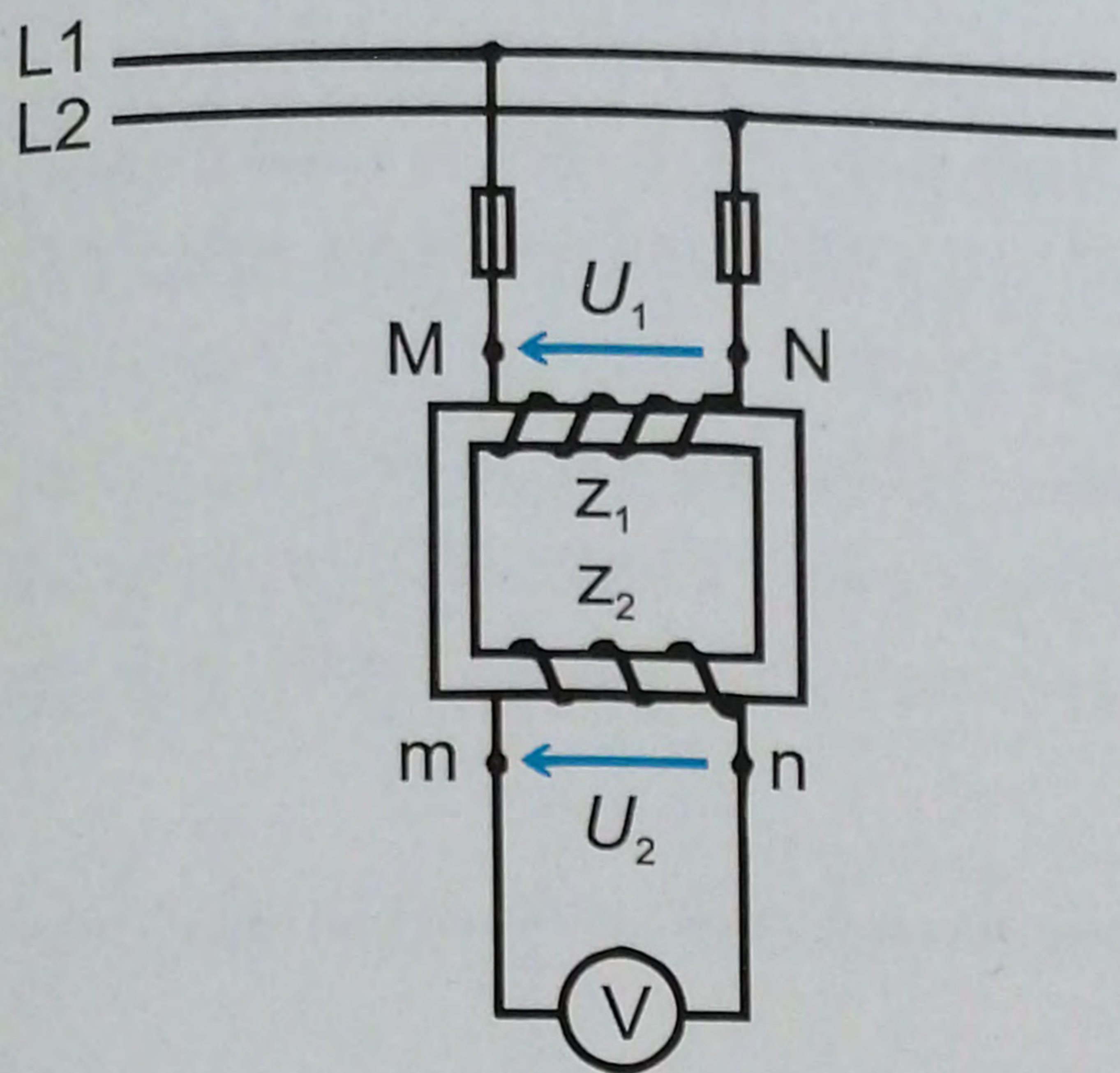
$$K_n = \frac{U_{1n}}{U_{2n}} \quad (2.8.11)$$

gdzie:

$U_{1n}$  – napięcie znamionowe po stronie pierwotnej,

$U_{2n}$  – napięcie znamionowe po stronie wtórnej,

$K_n$  – znamionowa przekładnia napięciowa.



**Rys. 2.36**

Układ przekładnika napięciowego  
 $U_1$  – napięcie po stronie pierwotnej,  $U_2$  – napięcie po stronie wtórnej,  $z_1$  – liczba zwojów uzwojenia pierwotnego,  $z_2$  – liczba zwojów uzwojenia wtórnego,  $M, N$  – początek, koniec uzwojenia pierwotnego,  $m, n$  – początek, koniec uzwojenia wtórnego,  $L1, L2$  – przewody fazowe

**Przekładnia napięciowa** przekładnika informuje nas, ile razy zostało zmniejszone napięcie pierwotne. Przekładnia napięciowa jest parametrem znamionowym przekładnika i znajduje się na jego tabliczce znamionowej. Znajomość tego parametru pozwala obliczyć napięcie po stronie pierwotnej  $U_1$  dzięki pomiarowi napięcia wtórnego  $U_2$

$$U_1 = K_n U_2 \quad (2.8.12)$$

Podstawowe parametry znamionowe przekładników napięciowych znajdziemy na tabliczce znamionowej. Należą do nich:

- $U_{1n}$  [V], napięcie znamionowe pierwotne wyrażane w woltach;
- $U_{2n}$  [V], napięcie znamionowe wtórne wyrażane w woltach;
- $U_{ni}$  [V], znamionowy poziom izolacji wyrażany w woltach;
- $K_n$  przekładnia znamionowa;
- $S_n$  [VA], moc znamionowa wyrażana w woltoamperach;
- $\delta_U$  [%], błąd napięciowy (błąd przekładni) wyrażany w procentach;
- $\delta_\varphi$  [min] – błąd kątowy przekładnika napięciowego podawany w minutach lub centyradianach;
- $f_n$  [Hz], częstotliwość znamionowa wyrażana w hercach;
- klasa dokładności przekładnika napięciowego (np. 0,1; 0,2; 0,5; 1; 3).

W zależności od przeznaczenia i rodzaju przekładnika napięciowego producenci określają jeszcze wiele innych parametrów, które są zamieszczane w katalogach i nie będą tu omówione. Na rysunku 2.37 przedstawiono przekładnik średniego napięcia.

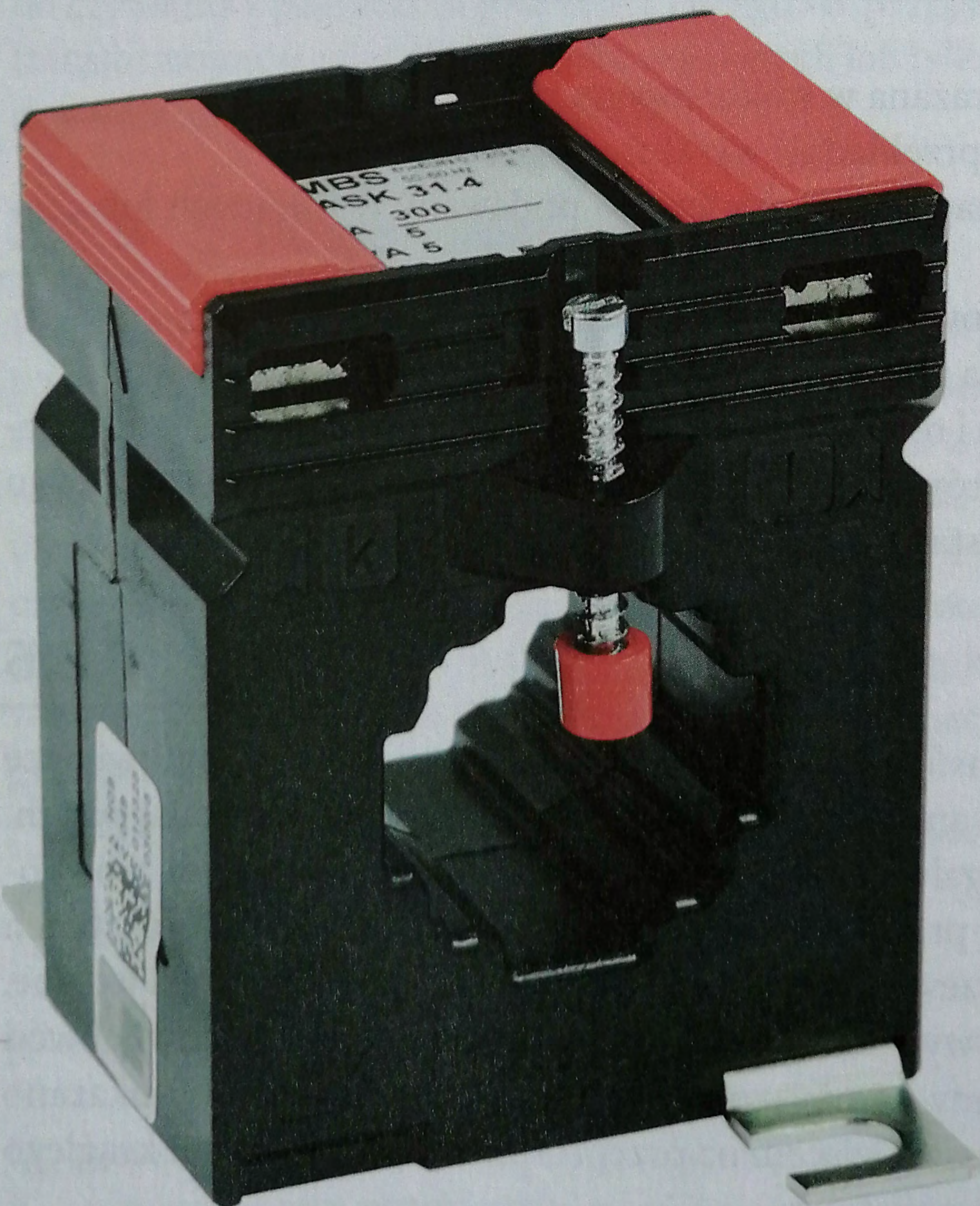
## 2.8.6

### Przekładniki prądowe

Przekładniki prądowe są to transformatory pomiarowe (specjalne), umożliwiające pomiary dużych wartości prądów amperomierzami o małych zakresach pomiarowych. Dodatkowo zapewniają separację galwaniczną między obwodem pomiarowym a obwodem silnoprądowym. Przekładniki prądowe składają się ze rdzenia zbudowanego z blach transformatorowych, na którym przeważnie jest nawinięte uzwojenie pierwotne i wtórne. Niektóre modele przekładników są wykonane tak, że uzwojenie pierwotne stanowi obwód silnoprądowy, w którym dokonujemy pomiaru. Przykład takiego przekładnika pokazano na rysunku 2.38. Widoczny otwór jest miejscem na przeprowadzenie przewodu okrągłego lub szyny prądowej o przekroju prostokątnym.

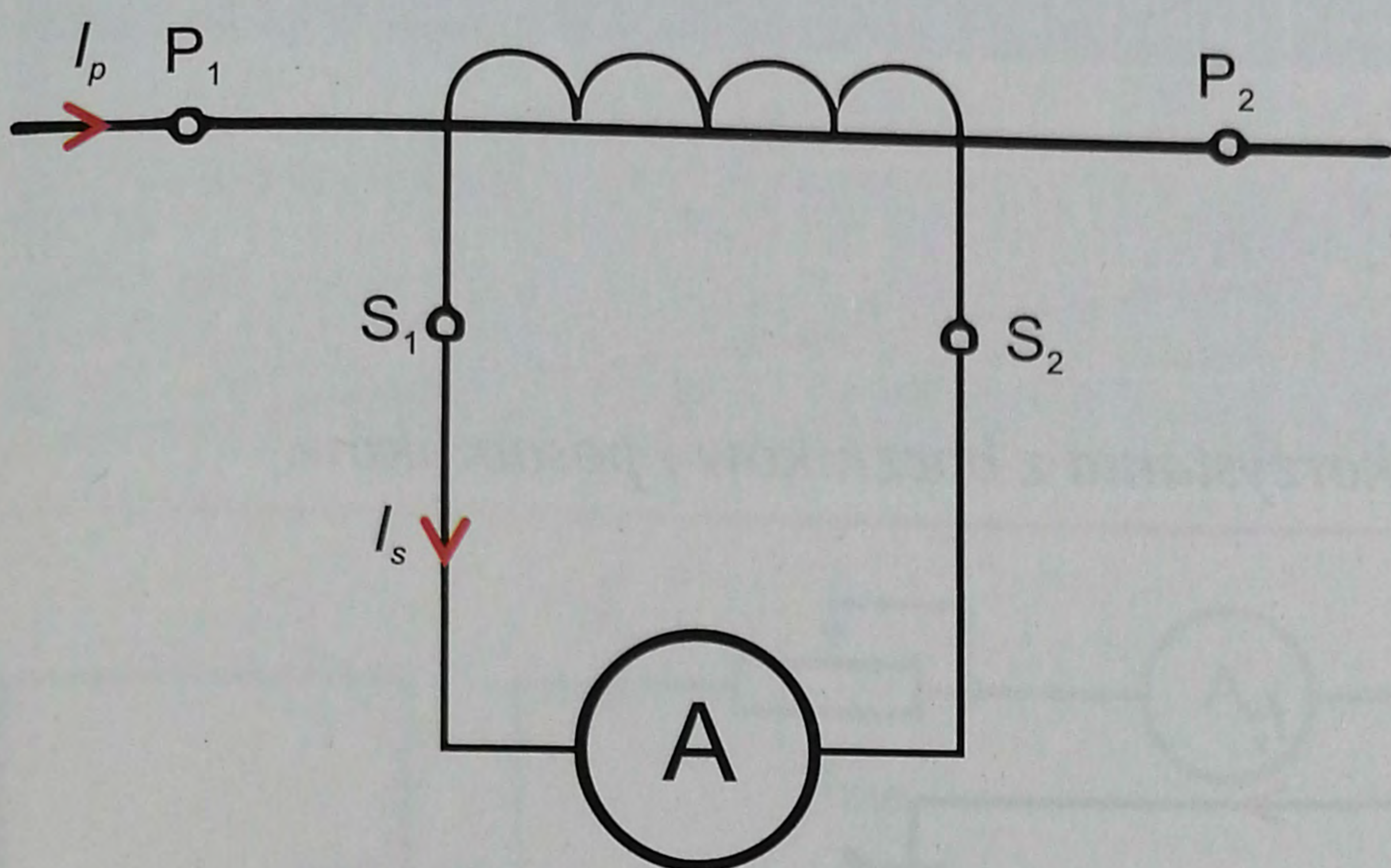


Rys. 2.37 Przekładnik średniego napięcia CTSO17



Rys. 2.38 Przekładnik prądowy ASK

Uzwojenie pierwotne jest oznaczane jako  $P_1, P_2$  ( $P_1$  – początek uzwojenia,  $P_2$  – koniec uzwojenia) – rys. 2.39. Jest ono odizolowane od rdzenia oraz uzwojenia wtórnego oznaczanego małymi literami  $s_1, s_2$  ( $s_1$  – początek uzwojenia,  $s_2$  – koniec uzwojenia). Do chwili obecnej funkcjonują jeszcze starsze oznaczenia:  $K, L$  dla strony pierwotnej oraz  $k, l$  dla strony wtórnej. Izolowanie poszczególnych elementów przekładnika ma za zadanie zapobiec przedostaniu się wysokiego napięcia na stronę wtórną, co spowodowałoby uszkodzenie przyrządów pomiarowych oraz spowodowało zagrożenie dla obsługi.



**Rys. 2.39**

Układ przekładnika prądowego

$I_p$  – prąd po stronie pierwotnej,  $I_s$  – prąd po stronie wtórnej,  $P_1, P_2$  – początek, koniec uzwojenia pierwotnego,  $S_1, S_2$  – początek, koniec uzwojenia wtórnego

Przekładniki prądowe w normalnych warunkach pracują w stanie zwarcia, ich uzwojenie wtórne jest obciążone amperomierzem lub innym urządzeniem pomiarowym o małej impedancji.

Przekładniki prądowe są opisane następującymi zależnościami:

$$\frac{I_p}{I_s} \approx \frac{z_p}{z_s} \quad (2.8.13)$$

Stosunek  $z_p / z_s$  jest nazywany **przekładnią zwojową**, natomiast stosunek  $I_p / I_s$  jest nazywany **przekładnią prądową** przekładnika i oznaczany jako  $K_I$ . Przekładnia znamionowa jest określona zależnością

$$K_n = \frac{I_{pn}}{I_{sn}} \quad (2.8.14)$$

gdzie:

$I_{pn}$  – prąd znamionowy po stronie pierwotnej,

$I_{sn}$  – prąd znamionowy po stronie wtórnej,

$K_n$  – znamionowa przekładnia prądowa.

Wartość mierzonego prądu pierwotnego  $I_p$  określamy na podstawie zmierzonego prądu strony wtórnej  $I_s$  z zależności

$$I_p = K_n I_s \quad (2.8.15)$$

Podstawowe parametry znamionowe przekładników prądowych znajdziemy na tabliczce znamionowej. Należą do nich:

- $I_{pn}$  [A], prąd znamionowy pierwotny wyrażany w amperach (znormalizowany szereg wartości: 10, 15, 20 A);
- $I_{sn}$  [A], prąd znamionowy wtórny wyrażany w amperach (typowe wartości: 1, 2, 5 A);
- $U_{ni}$  [V], znamionowy poziom izolacji wyrażany w woltach;

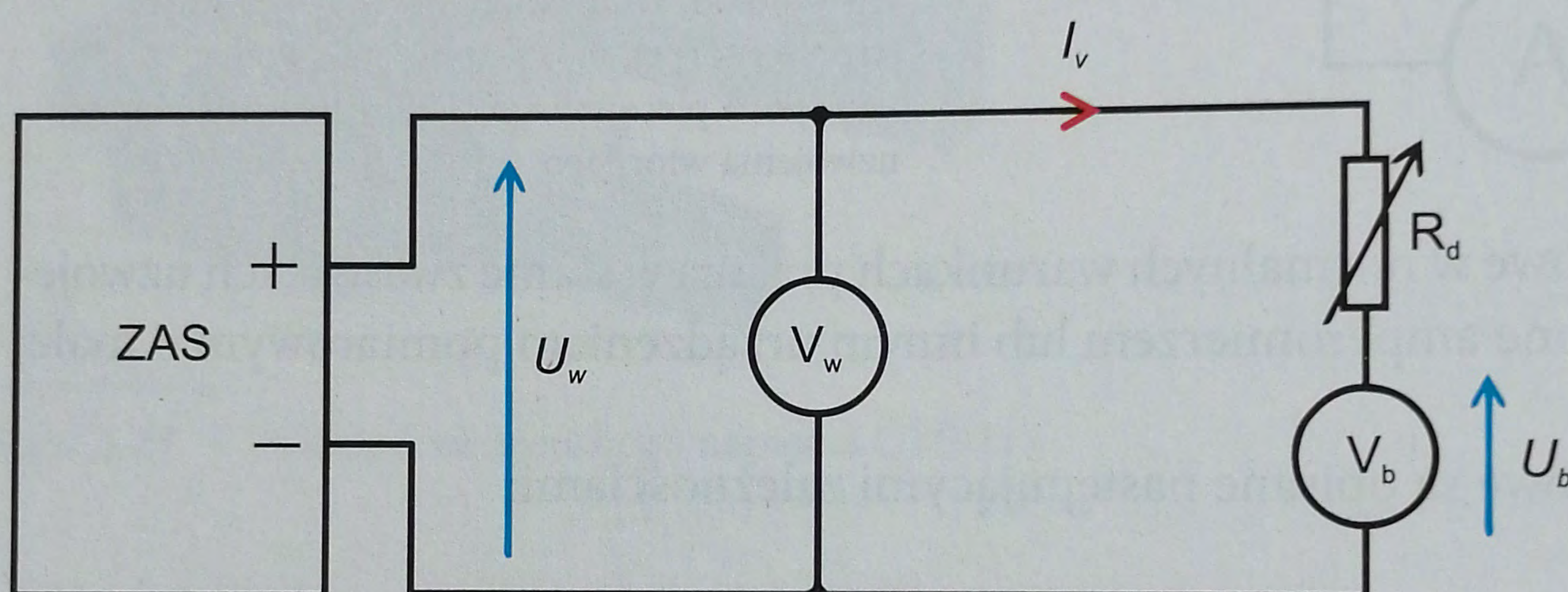
- $K_n$ , przekładnia znamionowa;
- $S_n$  [VA], moc znamionowa wyrażana w woltoamperach;
- $\delta_U$  [%], błąd napięciowy (błąd przekładni) wyrażany w procentach;
- $\delta_\varphi$  [min], błąd kątowy przekładnika napięciowego podawany w minutach lub centy-radianach;
- $f_n$  [Hz], częstotliwość znamionowa wyrażana w hercach;
- klasa dokładności przekładnika napięciowego (np. 0,1; 0,2; 0,5; 1; 3).

## 2.8.7 Ćwiczenia

### Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest nabycie umiejętności korzystania z boczników i posobników.

### Przebieg ćwiczenia



**Rys. 2.40** Rozszerzenie zakresu pomiarowego woltomierza

ZAS – regulowany zasilacz napięcia stałego,  $V_w$ ,  $V_b$  – odpowiednio woltomierz wzorcowy i woltomierz magnetoelektryczny badany,  $R_d$  – rezystor dekadowy (posobnik),  $U_w$ ,  $U_b$  – odpowiednio napięcie woltomierza wzorcowego i badanego,  $I_v$  – prąd płynący przez woltomierz badany

1. Zapoznaj się ze schematem przedstawionym na rysunku 2.40.
2. Odczytaj z danych technicznych przyrządu wartość rezystancji wewnętrznej woltomierza badanego  $R_v$  lub oblicz tę wartość, korzystając z danych na tabliczce przyrządu.
3. Oblicz wartość rezystancji dodatkowej  $R_d$ , tak aby uzyskać rozszerzenie zakresu pomiarowego  $n = 2$ -,  $3$ -,  $4$ -krotne, posługując się zależnością

$$R_d = R_v (n - 1)$$

Zanotuj obliczone wartości.

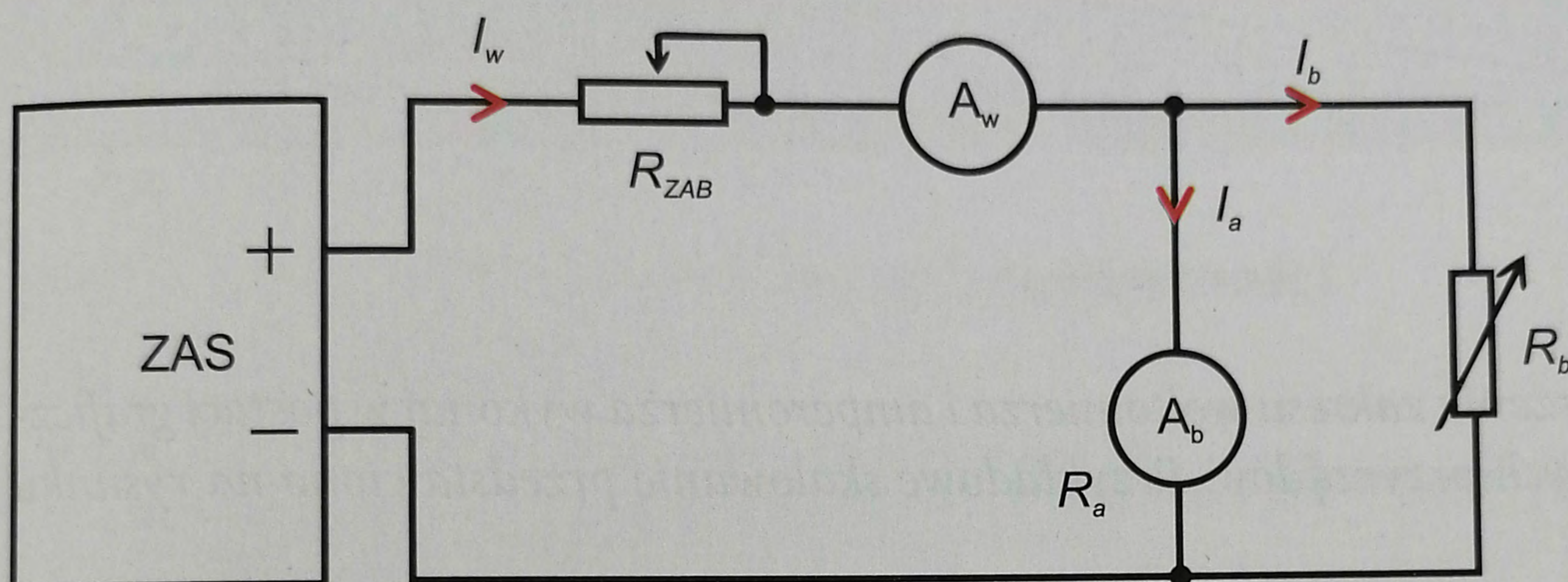
4. Połącz układ pomiarowy zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunku 2.40, zwracając uwagę na to, aby woltomierz wzorcowy miał klasę dokładności wyższą niż woltomierz badany oraz odpowiednio większy zakres pomiarowy, np. dwukrotnie dla rozszerzenia zakresu pomiarowego dwukrotnego (trzykrotnie dla  $n = 3$  itd.).
5. Po sprawdzeniu obliczeń oraz poprawności połączeń w układzie przez prowadzącego, ustaw wartość napięcia na zasilaczu tak, aby  $V_w$  wskazywał wartość pełnego wychylenia. Przy poprawnie dobranej wartości  $R_d$  woltomierz  $V_b$  powinien wskazać pełne wychylenie.
6. W przypadku gdy woltomierze nie wskazują pełnego wychylenia, należy skorygować wartość rezystancji  $R_d$ . Zanotuj skorygowaną wartość rezystancji.



- Regulując wartość napięcia od pełnego wychylenia woltomierzy w dół, wykonaj przynajmniej dziesięć pomiarów i zanotuj w zeszycie (wzór – tabl. 2.5).
- Oblicz pozostałe parametry i zanotuj w zeszycie.

**Tabl. 2.5** Wyniki pomiarów dla rozszerzenia zakresu pomiarowego woltomierza

$U_{Wn}$	$\alpha_{maxW}$	$\alpha_w$	$C_w$	$U_w$	$U_{bn}$	$\alpha_{maxb}$	$\alpha_b$	$C_b$	$U_b$	$R_v$	$I_v$	$R_d$	UWAGI
[V]	[dz]	[dz]	[V/dz]	[V]	[V]	[dz]	[dz]	[V/dz]	[V]	[ $\Omega$ ]	[A]	[ $\Omega$ ]	
WZÓR													



**Rys. 2.41** Rozszerzenie zakresu pomiarowego amperomierza

ZAS – regulowany zasilacz napięcia stałego,  $A_w$ ,  $A_b$  – odpowiednio amperomierz wzorcowy i amperomierz magnetoelektryczny badany,  $R_b$  – rezystor dekadowy (bocznik),  $R_a$  – rezystancja wewnętrzna amperomierza badanego,  $R_{ZAB}$  – rezystor zabezpieczający (ograniczający prąd w obwodzie),  $I_w$ ,  $I_a$ ,  $I_b$  – odpowiednio prąd amperomierza wzorcowego, badanego i bocznika

- Zapoznaj się ze schematem przedstawionym na rysunku 2.41.
- Odczytaj z danych technicznych przyrządu wartość rezystancji wewnętrznej amperomierza badanego  $R_a$  lub oblicz tę wartość, korzystając z danych na tabliczce przyrządu.
- Oblicz wartość rezystancji dodatkowej  $R_b$ , tak aby uzyskać rozszerzenie zakresu pomiarowego  $n_a = 2$ -,  $3$ -,  $4$ -krotne, posługując się zależnością

$$R_b = \frac{R_a}{n_a - 1}$$

Zanotuj obliczone wartości.

- Połącz układ pomiarowy zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunku 2.41, zwracając uwagę na to, aby amperomierz wzorcowy miał klasę dokładności wyższą niż amperomierz badany oraz odpowiednio większy zakres pomiarowy, np. dwukrotnie dla rozszerzenia zakresu pomiarowego dwukrotnego (trzykrotnie dla  $n = 3$  itd.).
- Po sprawdzeniu obliczeń oraz poprawności połączeń w układzie przez prowadzącego załącz układ pomiarowy i ustaw wartość napięcia na zasilaczu oraz wartość rezystancji  $R_{ZAB}$  tak, aby  $A_w$  wskazywał wartość pełnego wychylenia. Przy poprawnie dobranej wartości  $R_b$  amperomierz  $A_b$  powinien wskazać pełne wychylenie.

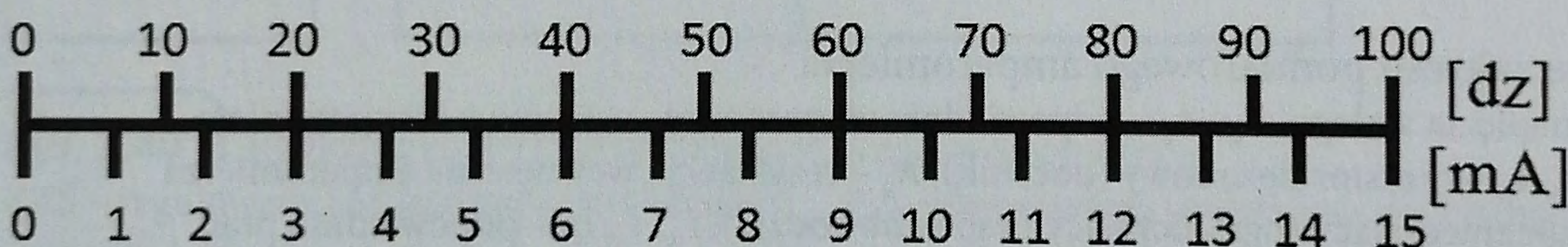
6. W przypadku gdy amperomierze nie wskazują pełnego wychylenia, należy skorygować wartość rezystancji  $R_b$ . Zanotuj skorygowaną wartość rezystancji.
7. Regulując wartość prądu od pełnego wychylenia amperomierzy w dół, wykonaj przynajmniej dziesięć pomiarów i zanotuj w zeszycie (wzór – tabl. 2.6). Regulacji wartości prądu amperomierzy możemy dokonać również przez zwiększanie wartości rezystancji  $R_{ZAB}$ .
8. Oblicz pozostałe parametry i zanotuj w zeszycie.

**Tabl. 2.6** Wyniki pomiarów dla rozszerzenia zakresu pomiarowego amperomierza

$I_{Wn}$	$\alpha_{maxW}$	$\alpha_W$	$C_W$	$I_W$	$I_{bn}$	$\alpha_{maxb}$	$\alpha_b$	$C_b$	$I_a$	$R_a$	$R_b$	$I_b$	UWAGI
[A]	[dz]	[dz]	[A/dz]	[A]	[A]	[dz]	[dz]	[A/dz]	[A]	[ $\Omega$ ]	[ $\Omega$ ]	[A]	
WZÓR													

### Dla ambitnych

Dla przypadku rozszerzenia zakresu woltomierza i amperomierza wykonaj w postaci graficznej skalowanie badanych przyrządów. Przykładowe skalowanie przedstawiono na rysunku 2.42.



**Rys. 2.42** Przykładowe skalowanie miliamperomierza

Na rysunku 2.42 możemy zobaczyć skalę miliamperomierza wyrażoną w działkach [dz], dokładnie taką, jaką ma przykładowy przyrząd, dla którego maksymalna liczba działek  $\alpha_{max} = 100$  dz. Poniżej tej skali rysujemy własną, wynikającą z pomiarów. Dla przykładowych piętnastu równomiernie rozłożonych wyników pomiarów prądu wyrażonego w miliamperach [mA] skalowanie zobaczymy poniżej skali wyrażonej w działkach.

### Podsumowanie

Z przeprowadzonych pomiarów sporządź sprawozdanie. We wnioskach uwzględnij, czy była konieczna korekta obliczonych rezystancji dodatkowych, z czego mogą wynikać różnice w pomiarach i wyliczeniach. Uzasadnij, dlaczego przyrząd wzorcowy powinien być dokładniejszy od przyrządu badanego? Co oznacza fakt, że przyrządy mają rezystancję wewnętrzną?

W przypadku gdy jako wzorcowy był użyty przyrząd cyfrowy, w tablicach pomiarowych należy pominąć kolumny dotyczące przyrządów wzorcowych analogowych ( $\alpha_{max}$ ,  $C_W$ ,  $\alpha_W$  itp.).

## Pytania i polecenia kontrolne

1. Czym są boczniki i posobniki oraz z jakimi przyrządami pomiarowymi się je stosuje?
2. W jakim celu stosuje się boczniki i posobniki?
3. Opisz budowę boczników i posobników.
4. Narysuj symbol przekładnika prądowego, omów zasadę jego działania i wymień podstawowe parametry.
5. Narysuj symbol przekładnika napięciowego, omów zasadę jego działania i wymień podstawowe parametry.
6. Czy ważne jest prawidłowe oznaczenie początków i końców przekładników? Odpowiedź uzasadnij.

## Samoocena nabytych wiadomości i umiejętności

### Sprawdź, czy potrafisz:

- zdefiniować boczniki i posobniki oraz wyjaśnić, z jakimi przyrządami pomiarowymi współpracują;
- rozpoznać i opisać przekładnik napięciowy i prądowy;
- wyjaśnić zasadność (konieczność) rozszerzania zakresów pomiarowych mierników;
- określić wartość napięcia, prądu, mocy czy energii mierzonej za pomocą przyrządów z rozszerzonym zakresem pomiarowym.

Jeżeli wykonanie wszystkich podanych poleceń nie sprawiło Ci trudności, gratulujemy – założone cele zostały osiągnięte i możesz przejść do podrozdziału 2.9.

Jeśli jednak nie udało Ci się wykonać choćby jednego z podanych poleceń, musisz powrócić jeszcze do odpowiedniej partii materiału w podrozdziale 2.8.