

**Artur SKÓRKOWSKI, Tadeusz SKUBIS**  
POLITECHNIKA ŚLĄSKA, INSTYTUT METROLOGII, ELEKTRONIKI I AUTOMATYKI  
ul. Akademicka 10, 44-100 Gliwice

## Analiza wpływu niepoprawnego uziemienia przekładników prądowych w układzie Arona na działanie i wskazania 3-fazowego elektronicznego licznika energii elektrycznej

Dr inż. Artur SKÓRKOWSKI

Pracuje na stanowisku adiunkta w Instytucie Metrologii, Elektroniki i Automatyki na Wydziale Elektrycznym Politechniki Śląskiej. Główne kierunki działalności naukowo-badawczej to: miernictwo precyzyjne (konstruowanie i badania indukcyjnych dzielników napięcia), obróbka danych pomiarowych, systemy pomiarowe, interfejsy bezprzewodowe, przyrządy wirtualne (oprogramowanie w środowisku LabVIEW).



e-mail: artur.skorkowski@polsl.pl

Prof. dr hab. inż. Tadeusz SKUBIS

Studia ukończył na Wydziale Elektrycznym Politechniki Śląskiej w roku 1970. Stopień doktora nauk technicznych uzyskał w roku 1975, stopień doktora habilitowanego w roku 1995 w dyscyplinie Elektrotechnika, a tytuł profesora w roku 2005. Specjalizuje się w podstawowych problemach metrologii, badaniach kompatybilności elektromagnetycznej, elektrycznych pomiarach dokładnych wielkości fizycznych, zwłaszcza składowych impedancji. Jest autorem ponad 150 prac naukowych, książek, i patentów.



e-mail: tadeusz.skubis@polsl.pl

### Streszczenie

W pracy przedstawiono wpływ błędnego połączenia obwodów wtórnych przekładników prądowych na działanie i wskazania układu pomiarowo-rozliczeniowego energii elektrycznej. Uziemienie końców uzwojeń stron wtórnych przekładników prądowych zamiast początków skutkuje zmianą rozprywu prądów w torach prądowych licznika. Przeanalizowano sposób określenia współczynnika korekcyjnego dla błędnie połączonego układu oraz wielkości mających wpływ na jego wartość.

**Słowa kluczowe:** przekładnik prądowy, układ Arona, 3-fazowy licznik energii elektrycznej, współczynnik korekcyjny.

### Analysis of influence of current transformer incorrect ground connections in Aron circuit on power measurement results

#### Abstract

Influence of incorrect connection of current transformer secondary circuits in Aron circuit on the operation of 3-phase electronic measuring and billing system of electrical energy in this paper has been described. Grounding the ends of secondary windings of current transformers instead of beginnings ones causes the current flow change in the measuring system, what was never reported before. Such a mistake connection can happen during the energy meter installation, and is difficult to the detection. It results in significant change of measurement results, lowering the cost of energy to be paid. The explanation of the grounding connection influence into measurement results is given in the paper. The correction factor for long time working incorrectly grounded system is calculated.

**Keywords:** current transformer, Aron system, 3-phase energy meter, correction factor.

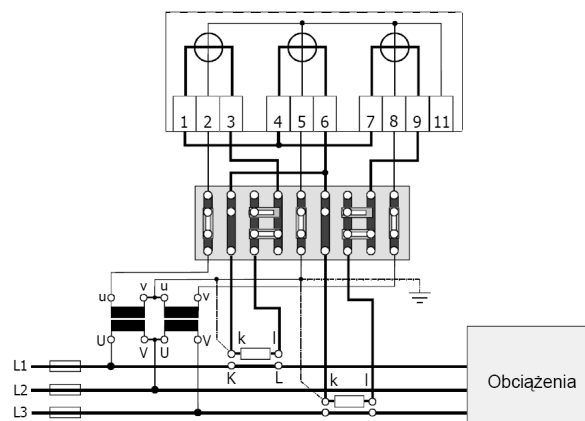
## 1. Wprowadzenie

W pracy przeanalizowano wpływ błędnego połączenia obwodów wtórnych przekładników prądowych na działanie i wskazania układu pomiarowo – rozliczeniowego energii elektrycznej. Na rys. 1 przedstawiono prawidłowy układ połączeń licznika 3-fazowego firmy Landis+Gyr z siecią średniego napięcia przez przekładniki prądowe i napięciowe w układzie Arona [1].

W układzie połączonym poprawnie zaciski „k” uzwojeń wtórnych przekładników prądowych są połączone i ponadto uziemione, a punkt połączenia znajduje się na wspólnym zacisku nr 6 licznika.

Przedstawiony na rys. 1 schemat połączeń licznika 3-fazowego, 4-przewodowego z nie podłączonym zaciskiem N, w sieci średniego napięcia z przekładnikami prądowymi w układzie Arona, ukazuje dodatkowo wewnętrzne połączenie początków torów napięciowych licznika oraz zewnętrzne połączenie torów prądowych. Przy takiej konfiguracji połączeń w pomiarowych torach

prądowych licznika płyną prądy fazowe, natomiast w pomiarowych torach napięciowych są sygnały proporcjonalne do napięć fazowych. W każdym z trzech torów pomiarowych mocy (energii) licznika mierzona jest moc (energia) jednej fazy, a licznik wskazuje ich sumę. Jest to istotna różnica w porównaniu do klasycznego układu Arona, w którym stosowane są tylko dwa mechanizmy pomiarowe mocy (energii), np. dwa watomierze albo dwa mechanizmy licznikowe, których suma wskazań jest równa mierzonej mocy (energii) czynnej obciążenia.



Rys. 1. Schemat połączeń licznika 3-fazowego do sieci 3 - przewodowej średniego napięcia z przekładnikami prądowymi w układzie Arona (końcówki k, l)

Fig. 1. 3-phase energy meter connected to 3 - wire power net with measuring current transformers in Aron configuration (terminals k, l)

Analizowany błąd połączeń w układzie polega na uziemieniu zacisków „l” zamiast „k” uzwojeń wtórnych przekładników prądowych. W układzie pomiarowym Arona z dwoma mechanizmami pomiarowymi mocy (energii) takie połączenie nie powoduje błędów grubych pomiaru. Jednak w układzie z licznikiem o 3. mechanizmach pomiarowych, powoduje to błąd grubo. Skutkiem tego połączenia w układzie przed licznikiem jest połączenie równoległe uzwojeń wtórnych przekładników prądowych (zaciski „l” są połączone przez uziemienie, a zaciski „k” przez zwarcie na zacisku nr 6). Błędne połączenie przedlicznikowe obwodów prądowych skutkuje zmianą rozprywu prądów w pomiarowych torach prądowych licznika.

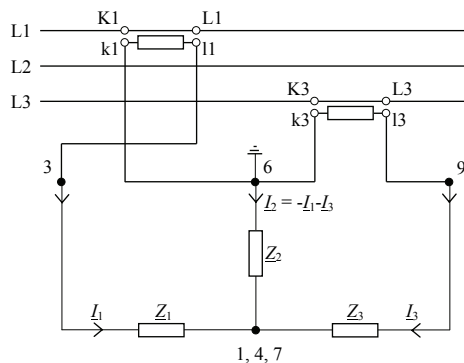
Przekładniki napięciowe w układzie V zostały połączone z zaciskami wejściowymi licznika w sposób poprawny, a więc pomiarowe tory napięciowe licznika otrzymują sygnały poprawne.

Przez analizę teoretyczną wykazano dalej, że określone powyżej błędne połączenie obwodów prądów wtórnych nie wpływa na składnik wyniku z drugiego toru pomiarowego mocy (energii)

(o zaciskach 4, 5, 6) natomiast ma wpływ na składniki wyniku torów pierwszego (o zaciskach 1, 2, 3) i trzeciego (o zaciskach 7, 8, 9).

## 2. Poprawny układ połączeń

W prawidłowo połączonym układzie Arona dwa przekładniki prądowe, ze względów bezpieczeństwa, powinny mieć uziemione początki „k1” i „k3” strony wtórnej uzwojeń [2, 4, 5]. Na rys. 2 przedstawiono poprawny układ zastępczy połączeń obwodów prądowych licznika. Z przedstawionego schematu połączeń wynika, że każdy z 3 pomiarowych torów prądowych licznika (o impedancjach zastępczych  $Z_1$ ,  $Z_2$ ,  $Z_3$ , o niewielkich wartościach) przewodzi prąd fazowy jednej fazy układu 3-fazowego 3-przewodowego.



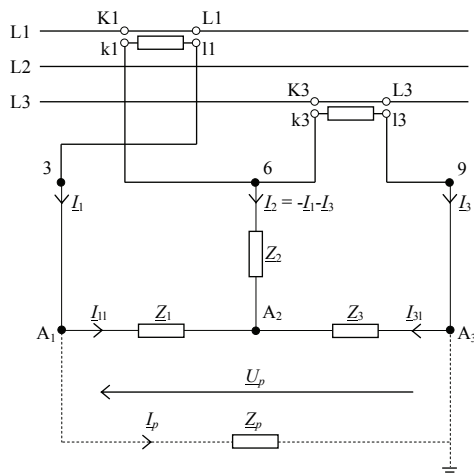
Rys. 2. Układ zastępczy poprawnego układu połączeń obwodów prądowych licznika i przekładników prądowych

Fig. 2. Equivalent system of correctly connected current circuits of the energy meter and current transformers

## 3. Niepoprawny układ połączeń

Niepoprawne uziemienie stron wtórnych przekładników prądowych (uziemienie końców l1 i l3 zamiast początków k1 i k3) wywołało w układzie następujące skutki (rys. 3):

- początki „k1” i „k3” uzwojeń prądowych przekładników pozostały zwarte w punkcie 6, który został odłączony od ziemi,
- końce „l1” i „l3” uzwojeń prądowych przekładników zostały zwarte i uziemione.
- w wyniku tych połączeń zostały połączone równolegle uzwojenia wtórne przekładników prądowych.



Rys. 3. Układ zastępczy niepoprawnego układu połączeń obwodów prądowych licznika i przekładników prądowych

Fig. 3. Equivalent system of incorrectly connected current circuit of the energy meter and current transformers

## 4. Analiza rozplywu prądów w obwodach prądowych 3-fazowego licznika energii elektrycznej przy niepoprawnym uziemieniu przekładników prądowych

Na rys. 3 przedstawiono układ zastępczy niepoprawnego układu połączeń obwodów prądowych licznika i przekładników prądowych. Przeanalizowano rozplyw prądów w torach prądowych licznika o impedancjach zastępczych  $Z_1$ ,  $Z_2$ ,  $Z_3$  przy zwarciu punktów  $A_1$  i  $A_3$  przewodem o impedancji  $Z_p$ .

Jedynie w drugim torze prądowym licznika płynie prąd fazowy drugiej fazy, natomiast w torach prądowych pierwszym i trzecim płyną prądy  $I_{1l} < I_1$  oraz  $I_{3l} < I_3$ , których rozplyw wynika z działania niskoimpedancyjnego dzielnika prądowego, złożonego z impedancji  $Z_1$  i  $Z_3$  torów prądowych licznika i impedancji  $Z_p$  przewodu zwierającego końce „l1” i „l3”. Należy zauważyć, że prądy wtórne  $I_2$ ,  $I_3$  przekładników są wymuszone przez obciążenie sieci (źródła prądowe), zatem ich wartości nie zależą od połączeń między przekładnikami a licznikiem, o ile oczywiście pary końcówek przekładników „k1” i „l1” oraz „k2” i „l2” są połączone przez małe impedancje.

Przez impedancje torów prądowych licznika  $Z_1$  i  $Z_3$  płyną części prądów  $I_1$  i  $I_3$  zdefiniowane następująco:

*a* - część prądu  $I_1$  płynąca od punktu  $A_1$  do punktu  $A_2$  przez impedancję  $Z_1$ ,

*b* - część prądu  $I_3$  płynąca od punktu  $A_3$  do punktu  $A_2$  przez impedancję  $Z_3$ .

Ze schematu przedstawionego na rys. 3 wynika, że prąd:

$(1-a)I_1$  - płynie od punktu  $A_1$  do punktu  $A_2$  przez impedancje  $Z_p$  i  $Z_3$ ,

$(1-b)I_3$  - płynie od punktu  $A_3$  do punktu  $A_2$  przez impedancje  $Z_p$  i  $Z_1$ .

Prądy torów prądowych 1 i 3 licznika oraz prąd w przewodzie zwierającym punkty  $A_1$  i  $A_3$  można wyrazić równaniami:

$$I_{1l} = aI_1 + (1-b)I_3, \quad (1a)$$

$$I_{3l} = bI_3 + (1-a)I_1, \quad (1b)$$

$$I_p = (1-a)I_1 - (1-b)I_3 \quad (1c)$$

Napięcie  $U_p$  na połączonych równolegle gałęziach  $Z_1 + Z_3$  oraz  $Z_p$  wynosi:

$$I_{1l}Z_1 - I_{3l}Z_3 = I_pZ_p \quad (2)$$

Po podstawieniu równań (1a), (1b) i (1c) do równania (2) otrzymuje się:

$$\begin{aligned} [aI_1 + (1-b)I_3]Z_1 - [bI_3 + (1-a)I_1]Z_3 &= \\ = [(1-a)I_1 - (1-b)I_3]Z_p \end{aligned} \quad (3a)$$

$$\begin{aligned} I_1(aZ_1 - Z_3 + aZ_3) + I_3(Z_1 - bZ_1 - bZ_3) &= \\ = I_1(1-a)Z_p - I_3(1-b)Z_p \end{aligned} \quad (3b)$$

Równanie (3b) musi być spełnione niezależnie dla obu prądów  $I_1$  i  $I_3$ , ponieważ są one wymuszone przez oddzielne źródła i nie wpływają na siebie. Obowiązuje zasada superpozycji. Można to przedstawić w postaci układu równań:

$$\begin{cases} I_1[a(Z_1 + Z_3) - Z_3] = I_1(1-a)Z_p \\ I_3[Z_1 - b(Z_1 + Z_3)] = -I_3(1-b)Z_p \end{cases} \quad (4)$$

$$\begin{cases} a(\underline{Z}_1 + \underline{Z}_3 + \underline{Z}_p) = \underline{Z}_3 + \underline{Z}_p \\ b(\underline{Z}_1 + \underline{Z}_3 + \underline{Z}_p) = \underline{Z}_1 + \underline{Z}_p \end{cases} \quad (5)$$

Stąd otrzymuje się zależności na współczynniki  $\underline{a}$  i  $\underline{b}$ :

$$\underline{a} = \frac{\underline{Z}_3 + \underline{Z}_p}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_3 + \underline{Z}_p}, \quad (6a)$$

$$\underline{b} = \frac{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_p}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_3 + \underline{Z}_p} \quad (6b)$$

Współczynniki  $\underline{a}$  i  $\underline{b}$  są ze sobą związane co można wyrazić równoważnymi równaniami:

$$\frac{\underline{a}}{\underline{b}} = \frac{\underline{Z}_3 + \underline{Z}_p}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_p} \quad (7a)$$

$$\frac{\underline{Z}_1}{\underline{Z}_3} = \frac{1 - \underline{a}}{1 - \underline{b}} \quad (7b)$$

W przypadku braku zwarcia pomiędzy punktami  $A_1$  i  $A_3$ :

$$\underline{Z}_p = \infty \Rightarrow \underline{a} = 1; \underline{b} = 1,$$

natomiast dla idealnego zwarcia punktów  $A_1$  i  $A_3$ :

$$\underline{Z}_p = 0; \underline{Z}_1 = \underline{Z}_3 = \underline{Z} \Rightarrow \underline{a} = 0,5; \underline{b} = 0,5.$$

Podstawiając równania (6a), (6b) do równań (1a), (1b) otrzymuje się zależności na prądy torów prądowych 1 i 3 licznika:

$$\underline{I}_{1l} = \frac{\underline{Z}_3(\underline{I}_1 + \underline{I}_3) + \underline{Z}_p \underline{I}_1}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_3 + \underline{Z}_p}, \quad (8a)$$

$$\underline{I}_{3l} = \frac{\underline{Z}_1(\underline{I}_1 + \underline{I}_3) + \underline{Z}_p \underline{I}_3}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_3 + \underline{Z}_p}. \quad (8b)$$

W licznikach ze zwartymi punktami  $A_1$  i  $A_3$  prądy torów prądowych 1 i 3 zależą od:

- impedancji torów prądowych  $\underline{Z}_1$  i  $\underline{Z}_3$ ,
- impedancji  $\underline{Z}_p$  przewodu zwierającego punkty  $A_1$  i  $A_3$ .

Z równań (8a), (8b) wynika, że prąd 1. i 3. toru prądowego licznika jest zależny od obu prądów wtórnych  $I_1$  i  $I_3$  przekładników. Są to równania określone liczbami zespolonymi, zatem zmieniają się moduły i fazy  $\gamma_1$  i  $\gamma_3$  prądów  $I_{1l}$  oraz  $I_{3l}$ , w zależności m.in. od impedancji  $\underline{Z}_p$ .

Równania kątów  $\gamma_1$  i  $\gamma_3$  zostały wyprowadzone przy następujących założeniach:

- obciążenie sieci jest symetryczne,
- zasilanie jest symetryczne,
- impedancje torów prądowych licznika są jednakowe (dla  $\underline{Z}_1 = \underline{Z}_3$  zachodzi związek  $\underline{a} = \underline{b}$ ).

Na rys. 4 przedstawiono wykres wektorowy obrazujący zależności kątowe między napięciami i prądami wejściowymi licznika. Na rysunku tym przyjęto przykładowo  $\underline{a} = 0,4e^{-j30^\circ}$ .

Kąty  $\gamma_1$  i  $\gamma_3$  można wyrazić następującymi równaniami:

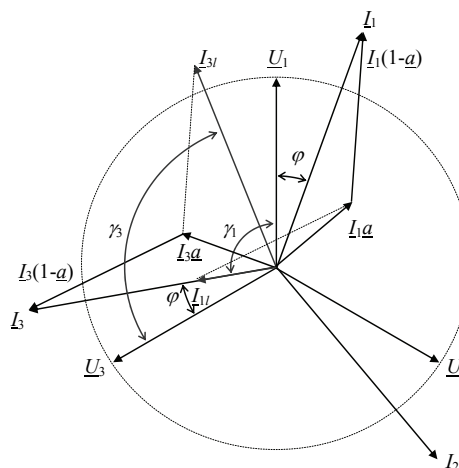
$$\gamma_1 = \angle(\underline{I}_{1l}, \underline{U}_1) = \angle(\underline{I}_{1l}, \underline{I}_1) + \varphi, \quad (9a)$$

$$\gamma_3 = \angle(\underline{I}_{3l}, \underline{U}_3) = \angle(\underline{I}_{3l}, \underline{I}_3) + \varphi \quad (9b)$$

Natomiast kąty  $\angle(\underline{I}_{1l}, \underline{I}_1)$  i  $\angle(\underline{I}_{3l}, \underline{I}_3)$  można wyznaczyć z równań (1a) i (1b) uwzględniając:

$$\begin{aligned} \underline{I}_3 &= \underline{I}_1 e^{-j120^\circ} = \underline{I}_1 (\cos 120^\circ + j \sin 120^\circ) = \\ &= \underline{I}_1 (-\sin 30^\circ + j \cos 30^\circ) = \underline{I}_1 (-0,5 + j0,5\sqrt{3}) \end{aligned} \quad (10a)$$

$$\begin{aligned} \underline{I}_1 &= \underline{I}_3 e^{-j120^\circ} = \underline{I}_3 [\cos(-120^\circ) + j \sin(-120^\circ)] = \\ &= \underline{I}_3 (-\sin 30^\circ - j \cos 30^\circ) = \underline{I}_3 (-0,5 - j0,5\sqrt{3}) \end{aligned} \quad (10b)$$



Rys. 4. Wykres wektorowy napięć i prądów wejściowych licznika  
Fig. 4. Vector diagram of input voltages and input currents in energy meter

Po podstawieniu równań (10a) i (10b) do równań (1a) i (1b) otrzymuje się:

$$\begin{aligned} \underline{I}_{1l} &= \underline{I}_1 \left[ \underline{a} + (1 - \underline{a}) \left( -\frac{1}{2} + j \frac{\sqrt{3}}{2} \right) \right] = \\ &= \underline{I}_1 \left[ \underline{a} - \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \underline{a} + j \frac{\sqrt{3}}{2} - j \frac{\sqrt{3}}{2} \underline{a} \right] = \\ &= \underline{I}_1 \left[ \frac{3}{2} \underline{a} - \frac{1}{2} + j \frac{\sqrt{3}}{2} - j \frac{\sqrt{3}}{2} \underline{a} \right] \end{aligned} \quad (11a)$$

$$\begin{aligned} \underline{I}_{3l} &= \underline{I}_3 \left[ \underline{a} + (1 - \underline{a}) \left( -\frac{1}{2} - j \frac{\sqrt{3}}{2} \right) \right] = \\ &= \underline{I}_3 \left[ \underline{a} - \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \underline{a} - j \frac{\sqrt{3}}{2} + j \frac{\sqrt{3}}{2} \underline{a} \right] = \\ &= \underline{I}_3 \left[ \frac{3}{2} \underline{a} - \frac{1}{2} - j \frac{\sqrt{3}}{2} + j \frac{\sqrt{3}}{2} \underline{a} \right] \end{aligned} \quad (11b)$$

Po podstawieniu:

$$\underline{a} = 0,4e^{-j30^\circ} = 0,4[\cos(-30^\circ) + j \sin(-30^\circ)] = 0,2\sqrt{3} - j0,2$$

otrzymuje się:

$$\begin{aligned} \underline{I}_{1l} &= \underline{I}_1 [0,3\sqrt{3} - j0,3 - 0,5 + j0,5\sqrt{3} - j0,3 - 0,1\sqrt{3}] = \\ &= \underline{I}_1 [0,2\sqrt{3} - 0,5 - j0,6 + j0,5\sqrt{3}] \end{aligned} \quad (12a)$$

$$\begin{aligned} \underline{I}_{3l} &= \underline{I}_3 [0,3\sqrt{3} - j0,3 - 0,5 - j0,5\sqrt{3} + j0,3 + 0,1\sqrt{3}] = \\ &= \underline{I}_3 [0,4\sqrt{3} - 0,5 - j0,5\sqrt{3}] \end{aligned} \quad (12b)$$

Na podstawie równań (12a) i (12b) można wyliczyć kąty  $\alpha(L_{11}, L_1)$  i  $\alpha(L_{31}, L_3)$ :

$$\alpha(L_{11}, L_1) = -\alpha(L_1, L_{11}) = -\arctg \frac{-0,6 + 0,5\sqrt{3}}{0,2\sqrt{3} - 0,5} = -120^\circ \quad (13a)$$

$$\alpha(L_{31}, L_3) = -\alpha(L_3, L_{31}) = -\arctg \frac{-0,5\sqrt{3}}{0,4\sqrt{3} - 0,5} = 77^\circ \quad (13b)$$

Podstawiając równania (13a) i (13b) oraz  $\varphi = 20^\circ$  do równań (9a) i (9b) otrzymuje się ostatecznie:

$$\gamma_1 = \alpha(L_{11}, \underline{U}_1) = \alpha(L_{11}, L_1) + \varphi = -100^\circ, \quad (14a)$$

$$\gamma_3 = \alpha(L_{31}, \underline{U}_3) = \alpha(L_{31}, L_3) + \varphi = 97^\circ \quad (14b)$$

## 5. Współczynnik korekcji

Współczynnik korekcyjny  $k$  może być wyznaczony dla układu pomiarowego z błędnie uziemionymi przekładnikami prądowymi w przypadku, gdy można określić współczynniki  $\underline{a}$  i  $\underline{b}$  wyrażone zależnościami ogólnymi (6a) i (6b), które dla obciążenia symetrycznego są takie same. W dalszej części pracy zostanie wyznaczony przykładowy współczynnik korekcyjny dla symetrycznego zasilania i obciążenia w przypadku idealnego zwarcia punktów  $A_1$  i  $A_3$  ( $\underline{a} = 0,5$ ) oraz dla typowego przypadku zweryfikowanego doświadczalnie ( $\underline{a} = 0,65$ ).

W tabeli 1 przedstawiono wielkości wejściowe licznika w układzie połączonym poprawnie, natomiast w tabeli 2, 3 i 4 przedstawiono te same wielkości dla licznika z błędnie uziemionymi stronami wtórnymi przekładników prądowych.

Na podstawie mocy sumarycznych  $\Sigma P$  przedstawionych w tabelach 1, 2, 3, 4 można wyznaczyć współczynnik korekcyjny, który jest określany jako stosunek mocy całkowitej mierzonej w układzie poprawnie połączonym  $\Sigma P_i$  do mocy całkowitej mierzonej w układzie błędnie połączonym  $\Sigma P_k$ :

$$k = \frac{\Sigma P_i}{\Sigma P_k} \quad (15)$$

Tab. 1. Wielkości wejściowe licznika w układzie poprawnie połączonym

Tor pomiarowy licznika	Prąd fazowy $I_i$	Napięcie fazowe $U_i$	Kąt fazowy $\alpha(I_i, U_i)$	Moc $P_i$
1 (lewy)	$I_1$	$U_1$	$\varphi$	$P_1 = I_1 U_1 \cos \varphi$
2 (środkowy)	$I_2 = -I_1 - I_3$	$U_2$	$\varphi$	$P_2 = I_2 U_2 \cos \varphi$
3 (prawy)	$I_3$	$U_3$	$\varphi$	$P_3 = I_3 U_3 \cos \varphi$
				$\Sigma P_i = 3 I U \cos \varphi$

Tab. 2. Wielkości wejściowe licznika w układzie błędnie połączonym dla  $\underline{a} = 0,5$  i  $\varphi = 20^\circ$

Tor pomiarowy licznika	Prąd fazowy $I_k$	Napięcie fazowe $U_i$	Kąt fazowy $\alpha(I_k, U_i)$	Moc $P_k$
1 (lewy)	$0,5 I_1$	$U_1$	$-60^\circ + \varphi$	$0,41 P_1$
2 (środkowy)	$I_2 = -I_1 - I_3$	$U_2$	$\varphi$	$I_2 U_2 \cos \varphi$
3 (prawy)	$0,5 I_3$	$U_3$	$60^\circ + \varphi$	$0,09 P_3$
				$\Sigma P_k = 1,50 I U \cos \varphi$

Tab. 3. Wielkości wejściowe licznika w układzie błędnie połączonym dla  $\underline{a} = 0,65$  i  $\varphi = 20^\circ$

Tor pomiarowy licznika	Prąd fazowy $I_k$	Napięcie fazowe $U_i$	Kąt fazowy $\alpha(I_k, U_i)$	Moc $P_k$
1 (lewy)	$0,56 I_1$	$U_1$	$-32,54^\circ + \varphi$	$0,58 P_1$
2 (środkowy)	$I_2 = -I_1 - I_3$	$U_2$	$\varphi$	$I_2 U_2 \cos \varphi$
3 (prawy)	$0,56 I_3$	$U_3$	$32,54^\circ + \varphi$	$0,36 P_3$
				$\Sigma P_k = 1,94 I U \cos \varphi$

Tab. 4. Wielkości wejściowe licznika w układzie błędnie połączonym dla  $\underline{a} = 0,65$  i  $\varphi = 30^\circ$

Tor pomiarowy licznika	Prąd fazowy $I_k$	Napięcie fazowe $U_i$	Kąt fazowy $\alpha(I_k, U_i)$	Moc $P_k$
1 (lewy)	$0,56 I_1$	$U_1$	$-32,54^\circ + \varphi$	$0,59 P_1$
2 (środkowy)	$I_2 = -I_1 - I_3$	$U_2$	$\varphi$	$I_2 U_2 \cos \varphi$
3 (prawy)	$0,56 I_3$	$U_3$	$32,54^\circ + \varphi$	$0,27 P_3$
				$\Sigma P_k = 1,86 I U \cos \varphi$

Współczynnik korekcyjny dla symetrycznego zasilania i obciążenia w przypadku idealnego zwarcia punktów  $A_1$  i  $A_3$  ( $\underline{a} = 0,5$ ) oraz  $\varphi = 20^\circ$  wynosi  $k = 2$ . Współczynnik korekcyjny dla typowego przypadku błędnego uziemienia przekładników prądowych zweryfikowany doświadczalnie dla ( $\underline{a} = 0,65$ ) oraz  $\varphi = 20^\circ$  wynosi  $k = 1,55$  natomiast dla  $\varphi = 30^\circ$  wynosi  $k = 1,61$ .

## 6. Wnioski

W pracy dokonano analizy wpływu błędnego połączenia obwodów wtórnych przekładników prądowych na działanie i wskazania układu pomiarowo – rozliczeniowego energii elektrycznej. Przedstawiono ogólny sposób określenia wpływu błędnego uziemienia przekładników prądowych w układzie Arona współpracującym z 3-fazowym licznikiem energii na wskazania tego licznika.

Przykładowe analizy i wyliczenia wykazały iż współczynnik korekcyjny silnie zależy od impedancji torów prądowych licznika oraz impedancji zwarcia końców stron wtórnych przekładników prądowych przez niepoprawne uziemienie.

## 7. Literatura

- [1] Podręcznik użytkownika: Liczniki energii elektrycznej w standardzie IEC przemysłowe i komercyjne Landis+Gyr Dialog ZMD400 AT / CT - ZFD400 AT / CT.
- [2] Kuśmierz Z.: Pomiary mocy i energii w układach elektroenergetycznych. Warszawa, WNT, 1994.
- [3] Otomański P., Odon A.: Wpływ czynników zakłócających na dokładność pomiaru energii elektrycznej. PAK 2008 nr 12, s. 842-844.
- [4] Chwaleba A., Poniński M., Siedlicki A.: Metrologia Elektryczna, WNT, Warszawa 1998.
- [5] Polska Norma PN-EN 62052-11 Urządzenia do pomiarów energii elektrycznej (prądu przemiennego) Wymagania ogólne, badania i warunki badań. Część 11: Urządzenia do pomiarów.
- [6] Trójfazowy kalibrator mocy i tester aparatury energetycznej typu C300, Instrukcja obsługi, 2008, Calmet, Polska, www.calmet.com.pl.

otrzymano / received: 28.07.2012

przyjęto do druku / accepted: 03.09.2012

artykuł recenzowany / revised paper