



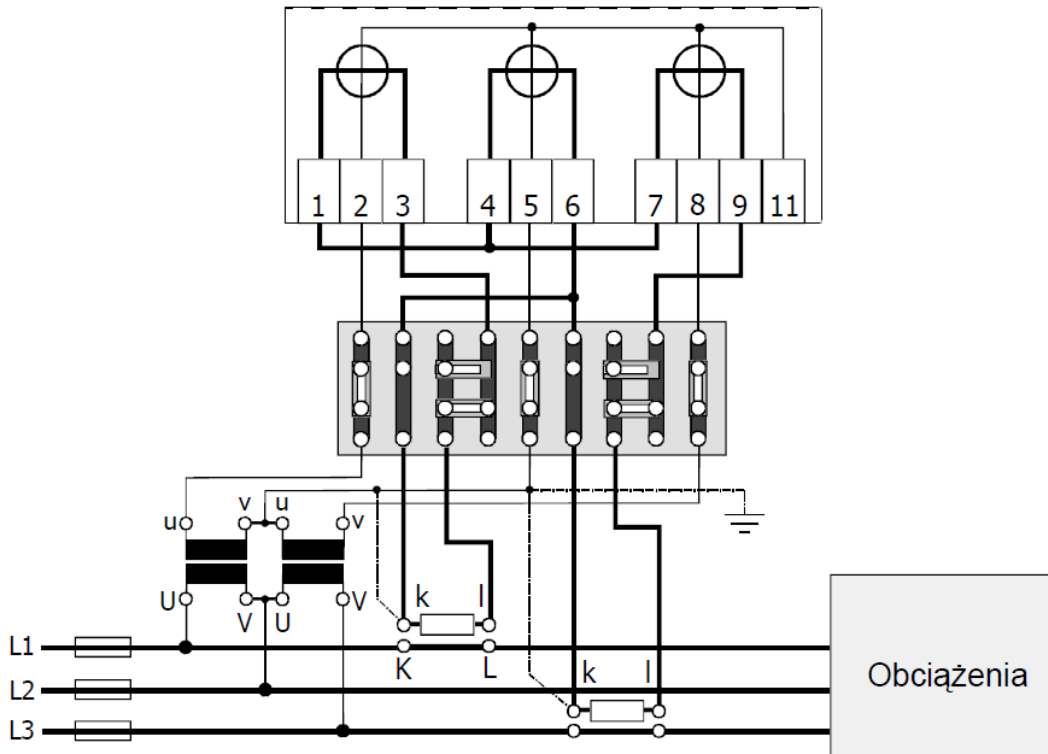
Artur SKÓRKOWSKI, Tadeusz SKUBIS
POLITECHNIKA ŚLĄSKA
INSTYTUT METROLOGII, ELEKTRONIKI I AUTOMATYKI

BŁĘDNE POŁĄCZENIA LICZNIKÓW ELEKTRONICZNYCH ENERGII ELEKTRYCZNEJ

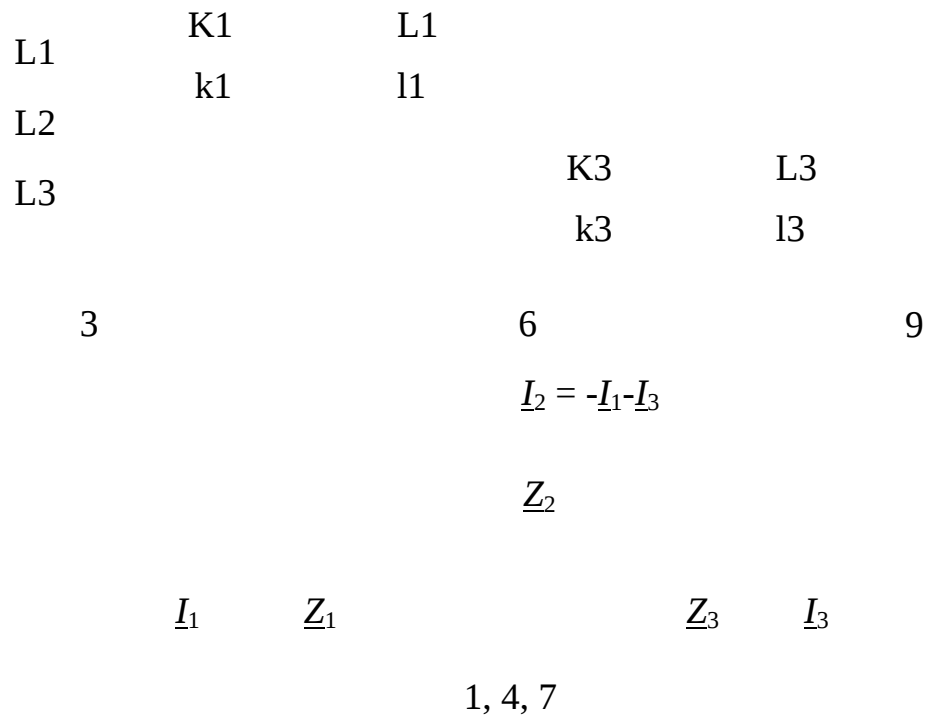
ANALIZOWANE ZAGADNIENIA

- wpływ błędnego połączenia obwodów wtórnych przekładników prądowych w układzie Arona na działanie i wskazania 3-fazowego licznika elektronicznego energii elektrycznej
- rozptyłu prądów w torach prądowych 3-fazowego licznika
- zależności kątowe między prądami i napięciami wejściowymi licznika
- sposób określenia współczynnika korekcyjnego dla błędnie połączonych układu oraz wielkości mających wpływ na jego wartość

SCHEMAT POŁĄCZEŃ licznika 3-fazowego, 4-przewodowego z nie podłączonym zaciskiem N w sieci średniego napięcia z przekładnikami w pełnym układzie Arona

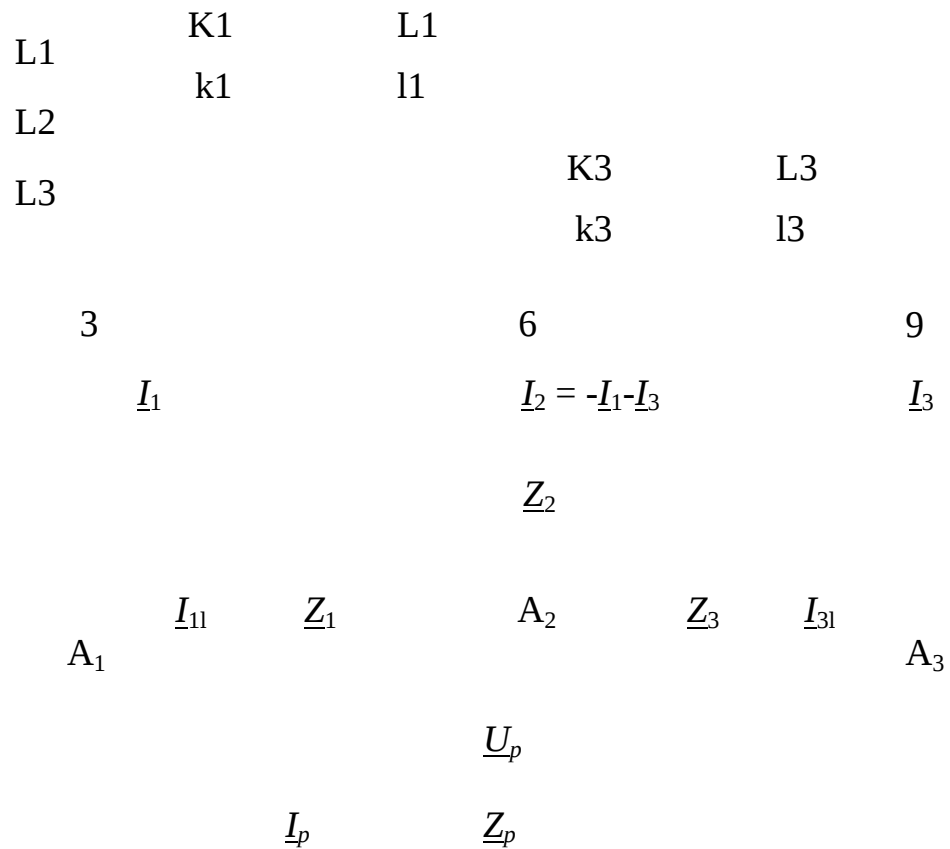


UKŁAD ZASTĘPCZY POPRAWNEGO UKŁADU POŁĄCZEŃ obwodów prądowych licznika i przekładników prądowych



UKŁAD ZASTĘPCZY BŁĘDNYCH POŁĄCZEŃ

obwodów prądowych licznika



SKUTKI NIEPOPRAWNEGO UZIEMIENIA

stron wtórnych przekładników prądowych

- 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
- jedynie w drugim torze prądowym licznika płynie prąd fazowy drugiej fazy
- w torach prądowych pierwszym i trzecim płyną prądy $I_{11} < I_1$ oraz $I_{31} < I_3$, których rozptyw wynika z działania niskoimpedancyjnego dzielnika prądowego

ROZPŁYW PRĄDÓW w torach prądowych 3-fazowego licznika przy błędnym uziemieniu przekładników prądowych

- Przez impedancje torów prądowych licznika \underline{Z}_1 i \underline{Z}_3 płyną części prądów \underline{I}_1 i \underline{I}_3 zdefiniowane następująco:

\underline{a} - część prądu \underline{I}_1 płynąca od punktu A1 do punktu A2 przez impedancję \underline{Z}_1 ,

\underline{b} - część prądu \underline{I}_3 płynąca od punktu A3 do punktu A2 przez impedancję \underline{Z}_3 .

- Prądy torów prądowych 1 i 3 licznika oraz prąd w przewodzie zwierającym punkty A1 i A3 można wyrazić równaniami:

$$\underline{I}_{1l} = \underline{a}\underline{I}_1 + (1 - \underline{b})\underline{I}_3 \quad \underline{I}_{3l} = \underline{b}\underline{I}_3 + (1 - \underline{a})\underline{I}_1 \quad \underline{I}_p = (1 - \underline{a})\underline{I}_1 - (1 - \underline{b})\underline{I}_3$$

- Napięcie \underline{U}_p na połączonych równolegle gałęziach $\underline{Z}_1 + \underline{Z}_3$ oraz \underline{Z}_p wynosi:

$$\underline{I}_{1l}\underline{Z}_1 - \underline{I}_{3l}\underline{Z}_3 = \underline{I}_p\underline{Z}_p$$

- Po podstawieniu otrzymujemy:

$$\underline{I}_1(\underline{a}\underline{Z}_1 - \underline{Z}_3 + \underline{a}\underline{Z}_3) + \underline{I}_3(\underline{Z}_1 - \underline{b}\underline{Z}_1 - \underline{b}\underline{Z}_3) = \underline{I}_1(1 - \underline{a})\underline{Z}_p - \underline{I}_3(1 - \underline{b})\underline{Z}_p$$

ZASTOSOWANIE ZASADY SUPERPOZYCJI

do rozwiązania równania:

$$\underline{I}_1(\underline{a}\underline{Z}_1 - \underline{Z}_3 + \underline{a}\underline{Z}_3) + \underline{I}_3(\underline{Z}_1 - \underline{b}\underline{Z}_1 - \underline{b}\underline{Z}_3) = \underline{I}_1(1 - \underline{a})\underline{Z}_p - \underline{I}_3(1 - \underline{b})\underline{Z}_p$$

- Równanie to musi być spełnione niezależnie dla obu prądów \underline{I}_1 i \underline{I}_3 , ponieważ są one wymuszane przez oddzielne źródła i nie wpływają na siebie. Obowiązuje zasada superpozycji. Można to przedstawić w postaci układu równań:

$$\begin{cases} \underline{I}_1[\underline{a}(\underline{Z}_1 + \underline{Z}_3) - \underline{Z}_3] = \underline{I}_1(1 - \underline{a})\underline{Z}_p \\ \underline{I}_3[\underline{Z}_1 - \underline{b}(\underline{Z}_1 + \underline{Z}_3)] = -\underline{I}_3(1 - \underline{b})\underline{Z}_p \end{cases}$$

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

- Stąd otrzymuje się zależności na współczynniki \underline{a} i \underline{b} :
- $$\underline{a} = \frac{\underline{Z}_3 + \underline{Z}_p}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_3 + \underline{Z}_p} \quad \underline{b} = \frac{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_p}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_3 + \underline{Z}_p}$$

WŁASNOŚCI WSPÓŁCZYNNIKÓW

\underline{a} i \underline{b} podziału prądów licznika

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

$$\frac{\underline{a}}{\underline{b}} = \frac{\underline{Z}_3 + \underline{Z}_p}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_p} \quad \frac{\underline{Z}_1}{\underline{Z}_3} = \frac{1 - \underline{a}}{1 - \underline{b}}$$

- W przypadku braku zwarcia punktów A1 i A3:
 $\underline{Z}_p = \infty \Rightarrow \underline{a} = 1, \underline{b} = 1$

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

- Dla idealnego zwarcia punktów A1 i A3:

PRĄDY TORÓW PRĄDOWYCH 1 i 3 LICZNIKA

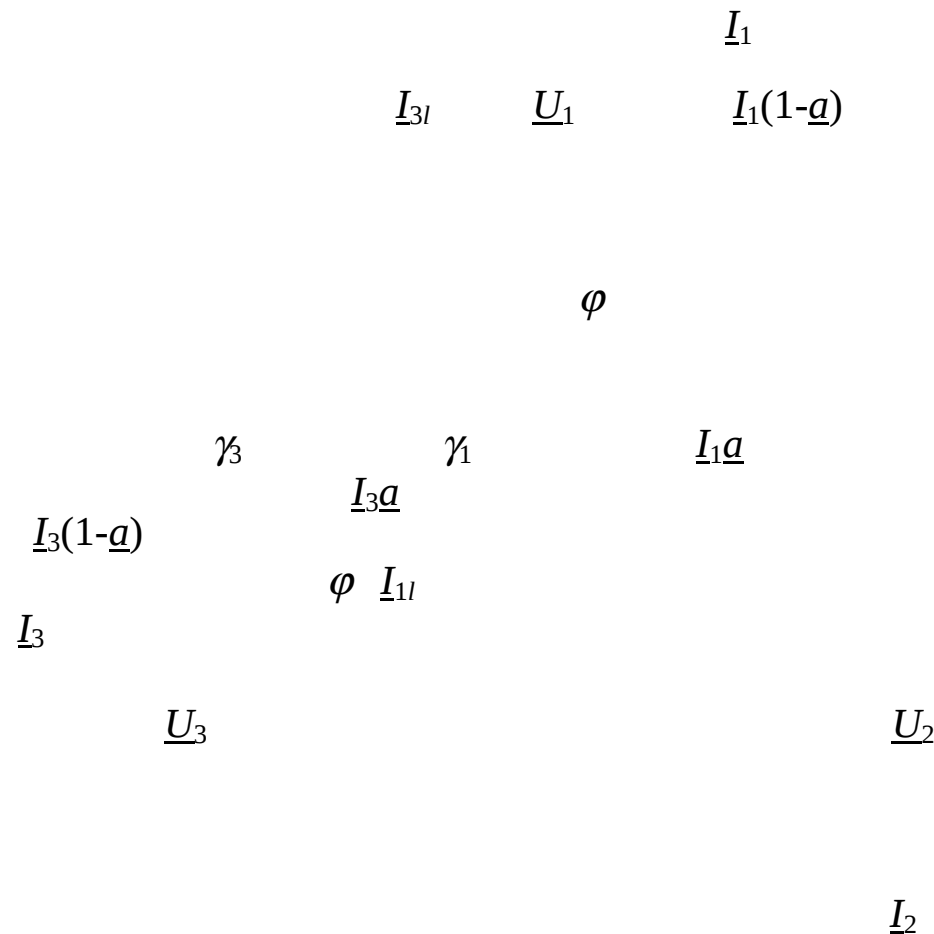
oraz wielkości mające wpływ na ich wartość

$$\underline{I}_{1l} = \frac{\underline{Z}_3(\underline{I}_1 + \underline{I}_3) + \underline{Z}_p \underline{I}_1}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_3 + \underline{Z}_p} \quad \underline{I}_{3l} = \frac{\underline{Z}_1(\underline{I}_1 + \underline{I}_3) + \underline{Z}_p \underline{I}_3}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_3 + \underline{Z}_p}$$

- W licznikach ze zwartymi punktami A1 i A3 prądy torów prądowych 1 i 3 zależą od:
 - a) impedancji torów prądowych \underline{Z}_1 i \underline{Z}_3 ,
 - b) impedancji \underline{Z}_p przewodu zwierającego punkty A1 i A3.

- Z przedstawionych równań 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 γ_1 i γ_3 prądów I_{1l} oraz I_{3l} , w zależności m.in. od impedancji Z_p .

WYKRES WEKTOROWY obrazujący zależności kątowe między prądami i napięciami wejściowymi licznika ($\underline{a} = 0,4e^{-j30^\circ}$)



Założenia:

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

ZALEŻNOŚCI KĄTOWE między prądami i napięciami wejściowymi licznika 3-fazowego

- Kąty γ_1 i γ_3 można wyrazić następującymi równaniami:

$$\gamma_1 = \angle(\underline{I}_{11}, \underline{U}_1) = \angle(\underline{I}_{11}, \underline{I}_1) + \varphi, \quad \gamma_3 = \angle(\underline{I}_{31}, \underline{U}_3) = \angle(\underline{I}_{31}, \underline{I}_3) + \varphi$$

- Kąty $\angle(\underline{I}_{11}, \underline{I}_1)$ i $\angle(\underline{I}_{31}, \underline{I}_3)$ można wyznaczyć uwzględniając $\underline{I}_1(-0,5 + j0,5\sqrt{3})$

$$\underline{I}_{11} = \underline{I}_3 e^{-j120^\circ} = \underline{I}_3 [\cos(-120^\circ) + j \sin(-120^\circ)] = \underline{I}_3 (-\sin 30^\circ - j \cos 30^\circ) = \underline{I}_3 (-0,5 - j0,5\sqrt{3})$$

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

$$\underline{I}_{11} = \underline{I}_1 [0,3\sqrt{3} - j0,3 - 0,5 + j0,5\sqrt{3} - j0,3 - 0,1\sqrt{3}] = \underline{I}_1 [0,2\sqrt{3} - 0,5 - j0,6 + j0,5\sqrt{3}]$$

$$\underline{I}_{31} = \underline{I}_3 [0,3\sqrt{3} - j0,3 - 0,5 - j0,5\sqrt{3} + j0,3 + 0,1\sqrt{3}] = \underline{I}_3 [0,4\sqrt{3} - 0,5 - j0,5\sqrt{3}]$$

ZALEŻNOŚCI KĄTOWE między prądami i napięciami wejściowymi licznika 3-fazowego

□ Na podstawie równań:

$$\underline{I}_{11} = \underline{I}_1 [0,3\sqrt{3} - j0,3 - 0,5 + j0,5\sqrt{3} - j0,3 - 0,1\sqrt{3}] = \underline{I}_1 [0,2\sqrt{3} - 0,5 - j0,6 + j0,5\sqrt{3}]$$

$$\underline{I}_{31} = \underline{I}_3 [0,3\sqrt{3} - j0,3 - 0,5 - j0,5\sqrt{3} + j0,3 + 0,1\sqrt{3}] = \underline{I}_3 [0,4\sqrt{3} - 0,5 - j0,5\sqrt{3}]$$

można wyliczyć kąty $\angle(\underline{I}_{11}, \underline{I}_1)$ i $\angle(\underline{I}_{31}, \underline{I}_3)$:

$$\angle(\underline{I}_{11}, \underline{I}_1) = -\angle(\underline{I}_1, \underline{I}_{11}) = -\arctg \frac{-0,6 + 0,5\sqrt{3}}{0,2\sqrt{3} - 0,5} = -120^\circ$$

$$\angle(\underline{I}_{31}, \underline{I}_3) = -\angle(\underline{I}_3, \underline{I}_{31}) = -\arctg \frac{-0,5\sqrt{3}}{0,4\sqrt{3} - 0,5} = 77^\circ$$

□ Uwzględniając $\varphi = 20^\circ$ otrzymuje się ostatecznie:

$$\gamma_1 = \angle(\underline{I}_{11}, \underline{U}_1) = \angle(\underline{I}_{11}, \underline{I}_1) + \varphi = -100^\circ,$$

$$\gamma_3 = \angle(\underline{I}_{31}, \underline{U}_3) = \angle(\underline{I}_{31}, \underline{I}_3) + \varphi = 97^\circ$$

WSPÓŁCZYNNIK KOREKCYJNY dla układu pomiarowego z błędnie uziemionymi przekładnikami prądowymi

- 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} , które dla obciążenia symetrycznego są takie same.
- Na podstawie mocy sumarycznych ΣP przedstawionych w poniższych tabelach można wyznaczyć współczynnik korekcyjny, który jest określany jako stosunek mocy całkowitej mierzonej w układzie poprawnie połączonym ΣP_i do mocy całkowitej mierzonej w układzie błędnie połączonym ΣP_k :

$$k = \frac{\sum P_i}{\sum P_k}$$

WIELKOŚCI WEJŚCIOWE LICZNIKA w układzie poprawnie połączonym i w układzie błędnie połączonym

Tab. 1. Wielkości wejściowe licznika w układzie poprawnie połączonym

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

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 $\Delta(I_k, U_i)$	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	φ	$I_2 U_2 \cos \varphi$
3 (prawy)	$0,5 I_3$	U_3	$60^\circ + \varphi$	$0,09 P_3$
				$\Sigma P_k = 1,50 I U \cos \varphi$

Współczynnik korekcyjny dla symetrycznego zasilania i obciążenia w przypadku idealnego zwarcia punktów A1 i A3 ($\underline{a} = 0,5$) oraz $\varphi = 20^\circ$ wynosi $k = 2$.

Dla typowego przypadku błędnego uziemienia przekładników prądowych ($\underline{a} = 0,65$) oraz $\varphi = 20^\circ$ $k = 1,55$ natomiast dla $\varphi = 30^\circ$ wynosi $k = 1,61$.

PODSUMOWANIE I 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 Z_p zwarcia punktów A1 i A3 przez błędne uziemienie przekładników prądowych.