

RZECZPOSPOLITA  
POLSKA



Urząd Patentowy  
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **240323**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **434184**

(51) Int.Cl.  
**G01R 35/02 (2006.01)**

(22) Data zgłoszenia: **04.06.2020**

(54) **Analityczny sposób wyznaczania błędów całkowitego, prądowego i kąowego transformacji wyższych harmonicznych prądu odkształconego lub prądu sinusoidalnego podwyższonej częstotliwości przez indukcyjne przekładniki prądowe**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:  
**06.12.2021 BUP 36/21**

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:  
**14.03.2022 WUP 11/22**

(73) Uprawniony z patentu:  
**POLITECHNIKA ŁÓDZKA, Łódź, PL**

(72) Twórca(y) wynalazku:  
**MICHAŁ KACZMAREK, Łódź, PL**  
**ERNEST STANO, Budy Dłutowskie, PL**

(74) Pełnomocnik:  
**recz. pat. Anna Westrych**

**PL 240323 B1**

## Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest analityczny sposób wyznaczania błędów całkowitego, prądowego i kąтового transformacji wyższych harmonicznych prądów odkształconych i prądów sinusoidalnych podwyższonych częstotliwości przez indukcyjne przekładniki prądowe.

Norma IEC 61869-6: „Przekładniki – Część 6: Dodatkowe wymagania ogólne dla przekładników małej mocy” określa wymagania w zakresie dokładności przekładników prądowych i napięciowych podczas transformacji sygnałów sinusoidalnych i harmonicznych sygnałów odkształconych. W normie tej przedstawiono koncepcje układów pomiarowych do badania dokładności przekładników prądowych i napięciowych małej mocy (prądy/napięcia wyjściowe rzędu mA/mV): układów elektronicznych także z rdzeniem magnetycznym wymagających dodatkowego zasilania, optycznych, cewek Rogowskiego.

Norma IEC 61869-2: „Przekładniki – Część 2: Wymagania szczegółowe dotyczące przekładników prądowych” określa wymagania w zakresie dokładności indukcyjnych przekładników prądowych podczas transformacji prądów sinusoidalnych o częstotliwościach z zakresu od 15 Hz do 100 Hz. W normie tej przedstawiono koncepcje pośredniego wyznaczania błędów całkowitego i prądowego przekładników prądowych na podstawie pomiaru wartości prądu wzbudzenia wyznaczonej podczas zasilania strony wtórnej przekładnik prądowego napięciem o wartości wynikającej z prądu wtórnego, rezystancji i reakcji obciążenia uzwojenia wtórnego i jego rezystancji. Z uwagi na brak uwzględnienia w obliczeniach indukcyjności rozproszenia uzwojenia wtórnego i odkształcenia prądów oraz napięć w wyniku nieliniowości rdzenia metoda ta nie znajduje zastosowania do wyznaczania błędów całkowitego, prądowego i kąтового transformacji wyższych harmonicznych prądów odkształconych oraz prądów sinusoidalnych podwyższonych częstotliwości przez indukcyjne przekładniki prądowe.

Wynalazek rozwiązuje problem określania dokładności transformacji harmonicznych prądów odkształconych i sinusoidalnych podwyższonej częstotliwości przez indukcyjne przekładniki prądowe bez konieczności zastosowania szerokiej częstotliwości wieloprądowego toru probierczego i przetwornika wzorcowego.

Analityczny sposób wyznaczania błędów całkowitego, prądowego i kąтового transformacji wyższych harmonicznych prądu odkształconego lub prądu sinusoidalnego podwyższonej częstotliwości przez indukcyjne przekładniki prądowe według wynalazku polega na tym, że w celu określenia błędów całkowitego, prądowego i kąтового najpierw wyznacza się indukcyjność rozproszenia uzwojenia wtórnego badanego indukcyjnego przekładnika prądowego, w układzie pomiarowym z przekładnikiem wzorcowym dla transformacji prądu sinusoidalnego o częstotliwości 50 Hz i znamionowej wartościach skutecznej prądu wtórnego przekładnika wzorcowego  $I''_{1h1}$  i wartości obciążenia uzwojenia wtórnego badanego indukcyjnego przekładnika prądowego dokonuje się pomiaru wartości skutecznej podstawowej harmonicznej prądu wzbudzenia rdzenia  $I''_{0h1}$  badanego indukcyjnego przekładnika prądowego, podstawowej harmonicznej napięcia wtórnego  $U_{2h1}$  badanego indukcyjnego przekładnika prądowego oraz wartość sumarycznego kąta fazowego ( $\beta_{h1} + \Psi_{h1}$ ) między podstawową harmoniczną prądu wzbudzenia rdzenia  $I''_{0h1}$  i podstawową harmoniczną napięcia wtórnego  $U_{2h1}$ , następnie badany indukcyjny przekładnik prądowy zostaje podłączony do układu pomiarowego, w którym dla zadanego prądu wzbudzenia rdzenia  $I''_{0h1}$  o uprzednio wyznaczonej wartości skutecznej podstawowej harmonicznej dokonuje się pomiaru podstawowej harmonicznej mocy czynnej i biernej oraz sporządza się wykres wskazowy a kąt  $\alpha_{h1}$  wyznacza się na podstawie zmierzonych wartości mocy czynnej i biernej zgodnie z poniższą zależnością:

$$\alpha_{h1} = \arctg\left(\frac{P_{h1}}{Q_{h1}}\right)$$

gdzie:

$P_{h1}$  – oznacza wartość podstawowej harmonicznej mocy czynnej dla zadanej wartości prądu wzbudzenia rdzenia  $I''_{0h1}$ ,

$Q_{h1}$  – oznacza wartość podstawowej harmonicznej mocy biernej dla zadanej wartości prądu wzbudzenia rdzenia  $I''_{0h1}$ ,

$\alpha_{h1}$  – oznacza wartość kąta fazowego między podstawowymi harmonicznymi składowej biernej prądu wzbudzenia rdzenia  $I''_{0h1}$  oraz prądem wzbudzenia rdzenia  $I''_{0h1}$ ,

wtedy wartość kąta fazowego  $\gamma_{h1}$  między podstawową harmoniczną napięcia wtórnego badanego indukcyjnego przekładnika prądowego  $U_{2h1}$  oraz podstawową harmoniczną napięcia magnesującego rdzeń  $U_{\mu h1}$  wyznacza się z poniższej zależności:

$$\gamma_{h1} = 90^\circ - \alpha_{h1} - (\beta_{h1} + \psi_{h1})$$

gdzie:

$\gamma_{h1}$  – oznacza wartość kąta fazowego między podstawowymi harmonicznymi napięcia wtórnego  $\underline{U}_{2h1}$  oraz napięcia magnesującego rdzeń  $\underline{U}_{\mu h1}$ ,

$\beta_{h1}$  – oznacza wartość kąta fazowego między podstawowymi harmonicznymi prądu wzbudzenia rdzenia  $I''_{0h1}$  oraz prądu wtórnego  $I_{2h1}$ ,

$\psi_{h1}$  – oznacza wartość kąta fazowego między podstawowymi harmonicznymi prądu wtórnego  $I_{2h1}$  oraz napięcia wtórnego  $\underline{U}_{2h1}$  badanego indukcyjnego przekładnika prądowego,

następnie wartość kąta fazowego  $\Psi_{h1}$  między podstawową harmoniczną prądu wtórnego badanego indukcyjnego przekładnika prądowego  $I_{2h1}$  oraz podstawową harmoniczną napięcia wtórnego  $U_{2h1}$  wyznacza się z poniższej zależności:

$$\psi_{h1} = \arctg\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot f_{h1} \cdot L}{R}\right)$$

gdzie:

R – oznacza wartość rezystancji obciążenia uzwojenia wtórnego,

L – oznacza wartość indukcyjności obciążenia uzwojenia wtórnego,

wówczas, przy obciążeniu rezystancyjnym R uzwojenia wtórnego badanego indukcyjnego przekładnika prądowego, gdy L jego obciążenia wynosi 0 oraz wartość kąta fazowego  $\Psi_{h1}$  między podstawową harmoniczną napięcia wtórnego  $U_{2h1}$  oraz podstawową harmoniczną napięcia magnesującego rdzeń  $U_{\mu h1}$  wynosi 0, zgodnie z wykresem wskazowym przedstawionym, wartość indukcyjności rozproszenia uzwojenia wtórnego wyznacza się na podstawie poniższej zależności:

$$L_{2r} = \frac{(R_2 + R) \cdot \tan \gamma_{h1}}{100 \cdot \pi}$$

gdzie:

$L_{2r}$  – oznacza wartość indukcyjność rozproszenia uzwojenia wtórnego,

$R_2$  – oznacza wartość rezystancji uzwojenia wtórnego wyznaczoną metodą techniczną poprzez pomiar prądu i napięcia stałego,

wtedy dla zadanych wartości skutecznych harmonicznymi podstawowej  $I''_{z1h1}$  i wyższej  $I''_{z1hk}$  prądu pierwotnego lub sinusoidalnego prądu pierwotnego podwyższonej częstotliwości  $I''_{z1hk}$  i wartości obciążenia uzwojenia wtórnego oblicza się zgodnie z wykresem wskazowym wartości podstawowe]  $U_{20h1}$  ( $k = 1$ ) i wyższej harmonicznymi  $U_{20hk}$  ( $k > 1$ ) zastępczego odkształconego napięcia zasilającego strony wtórnej w stanie jałowym lub wartość zastępczego podwyższonej częstotliwości sinusoidalnego napięcia zasilającego strony wtórnej w stanie jałowym  $U_{20hk}$  dla rezystancyjnego obciążenia uzwojenia wtórnego R na podstawie poniższej zależności:

$$U_{20hk} = I''_{z1hk} \cdot \sqrt{(R_2 + R)^2 + (2 \cdot \pi \cdot f_{hk} \cdot L_{2r})^2}$$

gdzie:

$I''_{z1hk}$  – oznacza zadaną wartość skuteczną  $hk$  harmonicznymi prądu pierwotnego lub sinusoidalnego prądu pierwotnego podwyższonej częstotliwości,

$f_{hk}$  – oznacza częstotliwość zadanej  $hk$  harmonicznymi prądu pierwotnego lub sinusoidalnego prądu pierwotnego podwyższonej częstotliwości  $I''_{z1hk}$ ,

$U_{20hk}$  – oznacza wartość  $hk$  harmonicznymi zastępczego odkształconego napięcia zasilającego strony wtórnej w stanie jałowym lub wartość zastępczego podwyższonej częstotliwości sinusoidalnego napięcia zasilającego strony wtórnej w stanie jałowym,

następnie układ pomiarowy zasila się zastępczym napięciem odkształconym o wartościach skutecznych podstawowej  $U_{20h1}$  ( $k = 1$ ) i  $hk$  wyższej harmonicznymi  $U_{20hk}$  ( $k > 1$ ) lub zastępczym sinusoidalnym napięciem podwyższonej częstotliwości o wartości skutecznej  $U_{20hk}$  badany indukcyjny przekładnik prądowy i mierzy się w przypadku zasilania zastępczym napięciem odkształconym wartości podstawowej harmonicznymi  $I''_{0h1}$  i wyższej  $hk$  harmonicznymi  $I''_{0hk}$  prądu wzbudzenia rdzenia badanego indukcyjnego przekładnika prądowego lub w przypadku zasilania zastępczym napięciem sinusoidalnym podwyższonej

częstotliwości wartość skuteczną podwyższonej częstotliwości prądu wzbudzenia rdzenia  $I''_{0hk}$  badanego indukcyjnego przekładnika prądowego oraz wartości przesunięć fazowych  $\omega_{h1}$  i  $\omega_{hk}$  między podstawową harmoniczną  $I''_{0h1}$  i  $hk$  wyższą harmoniczną  $I''_{0hk}$  prądu wzbudzenia rdzenia a odpowiadającymi harmonicznymi odkształconego zastępczego napięcia zasilającego  $U_{20h1}$  i  $U_{20hk}$  lub wartość przesunięcia fazowego  $\omega_{hk}$  między sinusoidalnym prądem wzbudzenia podwyższonej częstotliwości  $I''_{0hk}$  i sinusoidalnym zastępczym napięciem zasilającym podwyższonej częstotliwości  $U_{20hk}$ , wtedy wartość skuteczną  $U_{\mu hk}$  harmonicznego napięcia magnesującego rdzeń  $U_{\mu hk}$  lub sinusoidalnego napięcia magnesującego rdzeń o podwyższonej częstotliwości zgodnie z wykresem wskazowym oblicza się na podstawie poniższej zależności:

$$U_{\mu hk} = \sqrt{U_{20hk}^2 + I''_{0hk}{}^2 \cdot [R_2^2 + (2 \cdot \pi \cdot f_{hk} \cdot L_{2r})^2]} - 2 \cdot U_{20hk} \cdot I''_{0hk} \cdot \sqrt{R_2^2 + (2 \cdot \pi \cdot f_{hk} \cdot L_{2r})^2} \cdot \cos\left(\omega_{hk} - \arctg \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{hk} \cdot L_{2r}}{R_2}\right)$$

gdzie:

$\omega_{hk}$  – oznacza wartość przesunięcia fazowego między  $hk$  harmoniczną  $I''_{0hk}$  prądu wzbudzenia rdzenia lub sinusoidalnym prądem wzbudzenia rdzenia podwyższonej częstotliwości a  $hk$  harmoniczną zastępczego odkształconego napięcia zasilającego  $U_{20hk}$  lub zastępczego sinusoidalnym napięciem zasilającym podwyższonej częstotliwości,

$I''_{0hk}$  – oznacza wartość skuteczną  $hk$  harmonicznego lub podwyższonej częstotliwości sinusoidalnego prądu wzbudzenia rdzenia,

$U_{\mu hk}$  – oznacza wektor skuteczną  $hk$  harmonicznego odkształconego napięcia magnesującego rdzeń lub sinusoidalnego napięcia magnesującego rdzeń o podwyższonej częstotliwości,

następnie zgodnie z wykresem wskazowym wartości kąta fazowego  $\tau_{hk}$  między harmoniczną  $U_{20hk}$  zastępczego odkształconego napięcia zasilającego strony wtórnej w stanie jałowym lub sinusoidalnym napięciem zasilającym podwyższonej częstotliwości strony wtórnej w stanie jałowym i harmoniczną napięcia magnesującego rdzeń  $U_{\mu hk}$  oblicza się na podstawie poniższej zależności:

$$\tau_{hk} = \arccos\left(\frac{U_{20hk}^2 + U_{\mu hk}^2 - I''_{0hk}{}^2 \cdot [R_2^2 + (2 \cdot \pi \cdot f_{hk} \cdot L_{2r})^2]}{2 \cdot U_{20hk} \cdot U_{\mu hk}}\right)$$

gdzie:

$\tau_{hk}$  – oznacza wartości kąta fazowego między harmoniczną  $U_{20hk}$  zastępczego odkształconego napięcia zasilającego strony wtórnej w stanie jałowym lub zastępczym sinusoidalnym napięciem zasilającym podwyższonej częstotliwości strony wtórnej w stanie jałowym i harmoniczną napięcia magnesującego rdzeń  $U_{\mu hk}$ ,

następnie zgodnie z wykresem wskazowym wartości sumy kątów fazowych  $\gamma_{hk} + \psi_{hk}$  między harmoniczną  $U_{\mu hk}$  napięcia magnesującego rdzeń badanego indukcyjnego przekładnika prądowego i harmoniczną prądu wtórnego  $I_{2hk}$  oblicza się na podstawie poniższej zależności:

$$\gamma_{hk} + \psi_{hk} = \arctg\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot f_{hk} \cdot (L_{2r} + L)}{R_2 + R}\right)$$

gdzie:

$\gamma_{hk} + \psi_{hk}$  – oznacza wartości sumarycznego kąta fazowego między  $hk$  harmoniczną  $U_{\mu hk}$  napięcia magnesującego rdzeń lub sinusoidalnym napięciem magnesującym rdzeń badanego indukcyjnego przekładnika prądowego i  $hk$  harmoniczną prądu wtórnego  $I_{2hk}$  lub sinusoidalnym prądem wtórnym podwyższonej częstotliwości,

następnie zgodnie z wykresem wskazowym wartości kąta fazowego  $\beta_{hk}$  między harmoniczną prądu wtórnego  $I_{2hk}$  badanego indukcyjnego przekładnika prądowego i harmoniczną prądu wzbudzenia rdzenia  $I''_{0hk}$  oblicza się na podstawie poniższej zależności:

$$\beta_{hk} = \tau_{hk} + \omega_{hk} - (\gamma_{hk} + \psi_{hk})$$

gdzie:

$\gamma_{hk}$  – oznacza wartość kąta fazowego między  $h_k$  harmoniczną napięcia wtórnego  $U_{2hk}$  lub sinusoidalnym napięciem wtórnym podwyższonej częstotliwości oraz  $h_k$  harmoniczną napięcia magnesującego rdzeń  $U_{\mu hk}$  lub sinusoidalnym napięciem magnesującym rdzeń o podwyższonej częstotliwości,

$\beta_{hk}$  – oznacza wartość kąta fazowego między  $h_k$  harmoniczną prądu wzbudzenia rdzenia  $I''_{0hk}$  lub sinusoidalnym prądem wzbudzenia rdzenia podwyższonej częstotliwości oraz  $h_k$  harmoniczną prądu wtórnego  $I_{2hk}$  lub sinusoidalnym prądem wtórnym podwyższonej częstotliwości,

$\Psi_{hk}$  – oznacza wartość kąta fazowego między  $h_k$  harmoniczną prądu wtórnego  $I_{2hk}$  lub sinusoidalnym prądem wtórnym podwyższonej częstotliwości oraz  $h_k$  harmoniczną napięcia wtórnego  $U_{2hk}$  lub sinusoidalnym napięciem wtórnym podwyższonej częstotliwości badanego indukcyjnego przekładnika prądowego,

wtedy zgodnie z wykresem wskazowym i z poniższymi zależnościami oblicza się wartości poszczególnych wyższych harmonicznymi błędów całkowitego  $\varepsilon_{\%Ihk}$ , prądowego  $\Delta I_{hk}$  i kąтового  $\delta\varphi_{hk}$  transformacji wyższej harmonicznymi prądu odkształconego lub prądu sinusoidalnego podwyższonej częstotliwości przez badany indukcyjny przekładnik prądowy:

$$\varepsilon_{\%Ihk} = \frac{I''_{0hk}}{I''_{z1kh}} \cdot 100\%$$

gdzie:

$\varepsilon_{\%Ihk}$  – oznacza wartość procentową błędu całkowitego transformacji  $h_k$  harmonicznymi prądu odkształconego lub prądu sinusoidalnego o podwyższonej częstotliwości przez badany indukcyjny przekładnik prądowy,

$$\Delta I_{hk} = \varepsilon_{\%Ihk} \cdot \cos(\beta_{hk})$$

gdzie:

$\Delta I_{hk}$  – oznacza wartość procentową błędu prądowego transformacji  $h_k$  harmonicznymi prądu odkształconego lub prądu sinusoidalnego podwyższonej częstotliwości przez badany indukcyjny przekładnik prądowy,

$$\delta\varphi_{hk} = \arcsin\left(\frac{\varepsilon_{\%Ihk} \cdot \sin(\beta_{hk})}{100\%}\right)$$

gdzie:

$\delta\varphi_{hk}$  – oznacza wartość błędu kąтового [°] transformacji  $h_k$  harmonicznymi prądu odkształconego lub prądu sinusoidalnego podwyższonej częstotliwości przez badany indukcyjny przekładnik prądowy.

Opracowany sposób umożliwia na podstawie wykresów wskazowych obliczenie błędów całkowitego, prądowego i kąтового transformacji harmonicznymi prądów odkształconych oraz prądów sinusoidalnych podwyższonej częstotliwości przez indukcyjne przekładniki prądowe z zastosowaniem wyznaczonej wartości indukcyjności rozproszenia uzwojenia wtórnego i zmierzonych wartości skutecznych i przesunięć fazowych harmonicznymi prądu wzbudzenia dla zasilania strony wtórnej badanego indukcyjnego przekładnika napięciem zastępczym.

Sposób według wynalazku ilustruje poniższy przykład z powołaniem się na rysunki i wykresy, na którym Fig. 1 przedstawia schemat ideowy układu pomiarowego do wyznaczania indukcyjności rozproszenia uzwojenia wtórnego, Fig. 2 schemat ideowy układu pomiarowego do wyznaczania wartości skutecznych i przesunięć fazowych harmonicznymi prądu wzbudzenia dla zasilania strony wtórnej badanego indukcyjnego przekładnika napięciem zastępczym, Fig. 3 wykres wskazowy do wyznaczania indukcyjności rozproszenia uzwojenia wtórnego. Fig. 4 wykres wskazowy do wyznaczania błędów całkowitego, prądowego i kąтового transformacji wyższych harmonicznymi prądu odkształconego lub prądu sinusoidalnego podwyższonej częstotliwości.

#### P r z y k ł a d

W celu wyznaczenia błędów całkowitego, prądowego i kąтового transformacji wyższych harmonicznymi prądu odkształconego lub prądu sinusoidalnego podwyższonej częstotliwości przez induk-

cyjny przekładnik prądowy najpierw wyznacza się indukcyjność rozproszenia uzwojenia wtórnego indukcyjnego przekładnika prądowego 1A, w układzie pomiarowym przedstawionym na Fig. 1 z przekładnikiem wzorcowym 1B dla transformacji prądu sinusoidalnego o częstotliwości 50 Hz i znamionowej wartości skutecznej prądu wtórnego przekładnika wzorcowego  $I''_{1h1}$ , mierzonej za pomocą amperomierza 5 a regulowanej za pomocą autotransformatora 4 z transformatorem wielkopiędowym 3 i wartości obciążenia 6 uzwojenia wtórnego badanego indukcyjnego przekładnika prądowego dokonuje się pomiaru za pomocą cyfrowego watomierza 2 wartości skutecznej podstawowej harmonicznej prądu wzbudzenia rdzenia  $I''_{0h1}$  badanego indukcyjnego przekładnika prądowego, podstawowej harmonicznej napięcia wtórnego  $U_{2h1}$  badanego indukcyjnego przekładnika prądowego oraz wartość sumarycznego kąta fazowego ( $\beta_{h1} + \Psi_{h1}$ ) między podstawową harmoniczną prądu wzbudzenia rdzenia  $I''_{0h1}$  i podstawową harmoniczną napięcia wtórnego  $U_{2h1}$ , następnie badany indukcyjny przekładnik prądowy zostaje podłączony do układu pomiarowego przedstawionego na Fig. 2, zasilanego przez wzmacniacz 8 z generatorem arbitralnym 9 separowany transformatorem 7, w którym dla zadanego prądu wzbudzenia rdzenia  $I''_{0h1}$  o uprzednio wyznaczonej wartości skutecznej podstawowej harmonicznej dokonuje się za pomocą cyfrowego watomierza 2 pomiaru podstawowej harmonicznej mocy czynnej i biernej oraz sporządza się wykres wskazowy przedstawiony na Fig. 3, gdzie:

I – oznacza wektor podstawowej harmonicznej napięcia  $I_{2h1}(2\pi f_{h1}L_{2r})$  na indukcyjności rozproszenia uzwojenia wtórnego  $L_{2r}$ ,

II – oznacza wektor podstawowej harmonicznej napięcia  $I_{2h1}R_2$  na rezystancji uzwojenia wtórnego  $R_2$ ,

III – oznacza wektor podstawowej harmonicznej napięcia wtórnego  $U_{2h1}$ ,

IV – oznacza wektor podstawowej harmonicznej napięcia magnesującego rdzeń  $U_{\mu h1}$ ,

V – oznacza wektor podstawowej harmonicznej prądu wzbudzenia rdzenia  $I''_{0h1}$ ,

VI – oznacza wektor podstawowej harmonicznej prądu wtórnego  $I_{2h1}$ ,

VII – oznacza wektor podstawowej harmonicznej  $I''_{1h1}$  prądu wtórnego przekładnika wzorcowego 50 Hz,

$\alpha_{h1}$  – oznacza wartość kąta fazowego między podstawowymi harmonicznymi składowej biernej prądu wzbudzenia rdzenia  $I''_{0h1}$  oraz prądem wzbudzenia rdzenia  $I''_{0h1}$ ,

$\gamma_{h1}$  – oznacza wartość kąta fazowego między podstawowymi harmonicznymi napięcia wtórnego  $U_{2h1}$  oraz napięcia magnesującego rdzeń  $U_{\mu h1}$ ,

$\beta_{h1}$  – oznacza wartość kąta fazowego między podstawowymi harmonicznymi prądu wzbudzenia rdzenia  $I''_{0h1}$  oraz prądu wtórnego  $I_{2h1}$ ,

$\Psi_{h1}$  – oznacza wartość kąta fazowego między podstawowymi harmonicznymi prądu wtórnego  $I_{2h1}$  oraz napięcia wtórnego  $U_{2h1}$  badanego indukcyjnego przekładnika prądowego.

Kąt  $\alpha_{h1}$  wyznacza się na podstawie zmierzonych wartości mocy czynnej i biernej zgodnie z zależnością (1):

$$\alpha_{h1} = \arctg\left(\frac{P_{h1}}{Q_{h1}}\right) \quad (1)$$

gdzie:

$P_{h1}$  – oznacza wartość podstawowej harmonicznej mocy czynnej dla zadanej wartości prądu wzbudzenia rdzenia  $I''_{0h1}$ ,

$Q_{h1}$  – oznacza wartość podstawowej harmonicznej mocy biernej dla zadanej wartości prądu wzbudzenia rdzenia  $I''_{0h1}$ ,

$\alpha_{h1}$  – oznacza wartość kąta fazowego między podstawowymi harmonicznymi składowej biernej prądu wzbudzenia rdzenia  $I''_{0h1}$  oraz prądem wzbudzenia rdzenia  $I''_{0h1}$ ,

następnie wartość kąta fazowego  $\Psi_{h1}$  między podstawową harmoniczną prądu wtórnego badanego indukcyjnego przekładnika prądowego  $I_{2h1}$  oraz podstawową harmoniczną napięcia wtórnego  $U_{2h1}$  wyznacza się z zależności (3):

$$\gamma_{h1} = 90^\circ - \alpha_{h1} - (\beta_{h1} + \psi_{h1}) \quad (2)$$

gdzie:

$\Psi_{h1}$  – oznacza wartość kąta fazowego między podstawowymi harmonicznymi napięcia wtórnego  $U_{2h1}$  oraz napięcia magnesującego rdzeń  $U_{\mu h1}$ ,

$\beta_{h1}$  – oznacza wartość kąta fazowego między podstawowymi harmonicznymi prądu wzbudzenia rdzenia  $I''_{0h1}$  oraz prądu wtórnego  $I_{2h1}$ ,

$\Psi_{h1}$  – oznacza wartość kąta fazowego między podstawowymi harmonicznymi prądu wtórnego  $I_{2h1}$  oraz napięcia wtórnego  $U_{2h1}$  badanego indukcyjnego przekładnika prądowego,

następnie wartość kąta fazowego  $\gamma_{h1}$  między podstawową harmoniczną napięcia wtórnego badanego indukcyjnego przekładnika prądowego  $U_{2h1}$  oraz podstawową harmoniczną napięcia magnesującego rdzeń  $U_{\mu h1}$  wyznacza się z zależności (3)

$$\Psi_{h1} = \arctg\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot f_{h1} \cdot L}{R}\right) \quad (3)$$

gdzie:

R – oznacza wartość rezystancji obciążenia uzwojenia wtórnego,

L – oznacza wartość indukcyjności obciążenia uzwojenia wtórnego,

wówczas, przy obciążeniu rezystancyjnym R uzwojenia wtórnego badanego indukcyjnego przekładnika prądowego, gdy L jego obciążenia wynosi 0 oraz wartość kąta fazowego  $\Psi_{h1}$  między podstawową harmoniczną napięcia wtórnego  $U_{2h1}$  oraz podstawową harmoniczną napięcia magnesującego rdzeń  $U_{\mu h1}$  wynosi 0, zgodnie z wykresem wskazowym przedstawionym na Fig. 3, wartość indukcyjności rozproszenia uzwojenia wtórnego wyznacza się na podstawie zależności (4):

$$L_{2r} = \frac{(R_2 + R) \cdot \tan \gamma_{h1}}{100 \cdot \pi} \quad (4)$$

gdzie:

$L_{2r}$  – oznacza wartość indukcyjności rozproszenia uzwojenia wtórnego,

$R_2$  – oznacza wartość rezystancji uzwojenia wtórnego wyznaczoną metodą techniczną poprzez pomiar prądu i napięcia stałego,

wtedy dla zadanych wartości skutecznych harmonicznymi podstawowej  $I''_{z1h1}$  i wyższej  $I''_{z1hk}$  prądu pierwotnego lub sinusoidalnego prądu pierwotnego podwyższonej częstotliwości  $I''_{z1hk}$  i wartości obciążenia uzwojenia wtórnego oblicza się zgodnie z wykresem wskazowym przedstawionym na Fig. 4 wartości podstawowej  $U_{20h1}$  ( $k = 1$ ) i wyższej harmonicznymi  $U_{20hk}$  ( $k > 1$ ) zastępczego odkształconego napięcia zasilającego strony wtórnej w stanie jałowym lub wartość zastępczego podwyższonej częstotliwości sinusoidalnego napięcia zasilającego strony wtórnej w stanie jałowym  $U_{20hk}$  dla rezystancyjnego obciążenia uzwojenia wtórnego R na podstawie zależności (5):

$$U_{20hk} = I''_{z1hk} \cdot \sqrt{(R_2 + R)^2 + (2 \cdot \pi \cdot f_{hk} \cdot L_{2r})^2} \quad (5)$$

gdzie:

$I''_{z1hk}$  – oznacza zadaną wartość skuteczną  $hk$  harmonicznymi prądu pierwotnego lub sinusoidalnego prądu pierwotnego podwyższonej częstotliwości,

$f_{hk}$  – oznacza częstotliwość zadanej  $hk$  harmonicznymi prądu pierwotnego lub sinusoidalnego prądu pierwotnego podwyższonej częstotliwości  $I''_{z1hk}$ ,

$U_{20hk}$  – oznacza wartość  $hk$  harmonicznymi zastępczego odkształconego napięcia zasilającego strony wtórnej w stanie jałowym lub wartość zastępczego podwyższonej częstotliwości sinusoidalnego napięcia zasilającego strony wtórnej w stanie jałowym,

następnie układ pomiarowy przedstawiony na Fig. 2 poprzez separujący transformator 7 wzmacniacz 8 z generatorem arbitralnym 9 zasilają zastępczym napięciem odkształconym o wartościach skutecznych podstawowej  $U_{20h1}$  ( $k = 1$ ) i  $hk$  wyższej harmonicznymi  $U_{20hk}$  ( $k > 1$ ) lub zastępczym sinusoidalnym napięciem podwyższonej częstotliwości o wartości skutecznej  $U_{20hk}$  badany indukcyjny przekładnik prądowy 1A i mierzy się za pomocą cyfrowego watomierza 2, w przypadku zasilania zastępczym napięciem odkształconym, wartości podstawowej harmonicznymi  $I''_{0h1}$  i wyższej  $hk$  harmonicznymi  $I''_{0hk}$  prądu wzbudzenia rdzenia badanego indukcyjnego przekładnika prądowego 1A lub w przypadku zasilania zastępczym napięciem sinusoidalnym podwyższonej częstotliwości wartość skuteczną podwyższonej częstotliwości prądu wzbudzenia rdzenia  $I''_{0hk}$  badanego indukcyjnego przekładnika prądowego 1A oraz wartości przesunięć fazowych  $\omega_{h1}$  i  $\omega_{hk}$  między podstawową harmoniczną  $I''_{0h1}$  i  $hk$  wyższą harmoniczną  $I''_{0hk}$  prądu wzbudzenia rdzenia a odpowiadającymi harmonicznymi odkształconego zastępczego napięcia

zasilającego  $U_{20h1}$  i  $U_{20hk}$  lub wartość przesunięcia fazowego  $\omega_{hk}$  między sinusoidalnym prądem wzbudzenia podwyższonej częstotliwości  $I_{0hk}$  i sinusoidalnym zastępczym napięciem zasilającym podwyższonej częstotliwości  $U_{20hk}$ , wtedy wartość skuteczną  $h_k$  harmonicznej napięcia magnesującego rdzeń  $U_{\mu hk}$  lub sinusoidalnego napięcia magnesującego rdzeń o podwyższonej częstotliwości zgodnie z wykresem wskazowym przedstawionym na Fig. 4,

gdzie:

1:  $I_{2hk}(2\pi f_{h1}L_{2r})$  – oznacza wektor  $h_k$  harmonicznej odkształconego napięcia lub sinusoidalnego napięcia podwyższonej częstotliwości na indukcyjności rozproszenia uzwojenia wtórnego  $L_{2r}$ ,

2:  $I_{2hk}R_2$  – oznacza wektor  $h_k$  harmonicznej odkształconego napięcia lub sinusoidalnego napięcia podwyższonej częstotliwości na rezystancji uzwojenia wtórnego  $R_2$ ,

3:  $U_{2hk}$  – oznacza wektor  $h_k$  harmonicznej odkształconego napięcia wtórnego lub sinusoidalnego napięcia wtórnego podwyższonej częstotliwości badanego indukcyjnego przekładnika prądowego,

4:  $U_{\mu hk}$  – oznacza wektor  $h_k$  harmonicznej odkształconego napięcia magnesującego rdzeń lub sinusoidalnego napięcia magnesującego rdzeń o podwyższonej częstotliwości,

5:  $I''_{0hk}R_2$  – oznacza wektor  $h_k$  harmonicznej odkształconego napięcia lub sinusoidalnego napięcia podwyższonej częstotliwości na rezystancji uzwojenia wtórnego  $R_2$ ,

6:  $I''_{0hk}(2\pi f_{h1}L_{2r})$  – oznacza wektor  $h_k$  odkształconego napięcia lub sinusoidalnego napięcia podwyższonej częstotliwości na indukcyjności rozproszenia uzwojenia wtórnego  $L_{2r}$ ,

7:  $U_{20hk}$  – oznacza wartość  $h_k$  harmonicznej zastępczego odkształconego napięcia zasilającego strony wtórnej w stanie jałowym lub wartość zastępczego podwyższonej częstotliwości sinusoidalnego napięcia zasilającego strony wtórnej w stanie jałowym,

8:  $\varepsilon_{\%hk}$  – oznacza wartość procentową błędów całkowitego transformacji  $h_k$  harmonicznej prądu odkształconego lub prądu sinusoidalnego o podwyższonej częstotliwości przez badany indukcyjny przekładnik prądowy,

9:  $\Delta_{hk}$  – oznacza wartość procentową błędów prądowego transformacji  $h_k$  harmonicznej prądu odkształconego lub prądu sinusoidalnego podwyższonej częstotliwości przez badany indukcyjny przekładnik prądowy,

10:  $\sin(\delta\varphi_{hk}) \cdot 100\%$  – oznacza wartość procentową błędów kątowego transformacji  $h_k$  harmonicznej prądu odkształconego lub prądu sinusoidalnego podwyższonej częstotliwości przez badany indukcyjny przekładnik prądowy,

11:  $I_{2hk}$  – oznacza wektor  $h_k$  harmonicznej odkształconego prądu wtórnego lub podwyższonej częstotliwości sinusoidalnego prądu wtórnego,

12:  $I''_{1hk}$  – oznacza wektor  $h_k$  harmonicznej odkształconego prądu pierwotnego lub podwyższonej częstotliwości sinusoidalnego prądu pierwotnego,

$\gamma_{hk}$  – oznacza wartość kąta fazowego między  $h_k$  harmoniczną napięcia wtórnego  $U_{2hk}$  lub sinusoidalnym napięciem wtórnym podwyższonej częstotliwości oraz  $h_k$  harmoniczną napięcia magnesującego rdzeń  $U_{\mu hk}$  lub sinusoidalnym napięciem magnesującym rdzeń podwyższonej częstotliwości,

$\beta_{hk}$  – oznacza wartość kąta fazowego między  $h_k$  harmoniczną prądu wzbudzenia rdzenia  $I''_{0hk}$  lub sinusoidalnym prądem wzbudzenia rdzenia podwyższonej częstotliwości oraz  $h_k$  harmoniczną prądu wtórnego  $I_{2hk}$  lub sinusoidalnym prądem wtórnym podwyższonej częstotliwości,

$\Psi_{hk}$  – oznacza wartość kąta fazowego między  $h_k$  harmoniczną prądu wtórnego  $I_{2hk}$  lub sinusoidalnym prądem wtórnym podwyższonej częstotliwości oraz  $h_k$  harmoniczną napięcia wtórnego  $U_{2hk}$  lub sinusoidalnym napięciem wtórnym podwyższonej częstotliwości badanego indukcyjnego przekładnika prądowego,

$\omega_{hk}$  – oznacza wartość przesunięcia fazowego między  $h_k$  harmoniczną  $I''_{0hk}$  prądu wzbudzenia rdzenia lub sinusoidalnym prądem wzbudzenia rdzenia podwyższonej częstotliwości a  $h_k$  harmoniczną zastępczego odkształconego napięcia zasilającego  $U_{20hk}$  lub zastępczym sinusoidalnym napięciem zasilającym podwyższonej częstotliwości,

$\tau_{hk}$  – oznacza wartości kąta fazowego między harmoniczną  $U_{20hk}$  zastępczego odkształconego napięcia zasilającego strony wtórnej w stanie jałowym lub zastępczym sinusoidalnym napięciem zasilającym podwyższonej częstotliwości strony wtórnej w stanie jałowym i harmoniczną napięcia magnesującego rdzeń  $U_{\mu hk}$ ,

oblicza się na podstawie zależności (6):

$$U_{\mu hk} = \sqrt{U_{20hk}^2 + I_{0hk}''^2 \cdot [R_2^2 + (2 \cdot \pi \cdot f_{hk} \cdot L_{2r})^2]} - 2 \cdot U_{20hk} \cdot I_{0hk}'' \cdot \sqrt{R_2^2 + (2 \cdot \pi \cdot f_{hk} \cdot L_{2r})^2} \cdot \cos\left(\omega_{hk} - \arctg \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{hk} \cdot L_{2r}}{R_2}\right) \quad (6)$$

gdzie:

$\omega_{hk}$  – oznacza wartość przesunięcia fazowego między hk harmoniczną  $I_{0hk}''$  prądu wzbudzenia rdzenia lub sinusoidalnym prądem wzbudzenia rdzenia podwyższonej częstotliwości a hk harmoniczną zastępczego odkształconego napięcia zasilającego  $U_{20hk}$  lub zastępczego sinusoidalnym napięciem zasilającym podwyższonej częstotliwości,

$I_{0hk}''$  – oznacza wartość skuteczną hk harmonicznego lub podwyższonej częstotliwości sinusoidalnego prądu wzbudzenia rdzenia,

$U_{\mu hk}$  – oznacza wektor skuteczną hk harmonicznego odkształconego napięcia magnesującego rdzeń lub sinusoidalnego napięcia magnesującego rdzeń o podwyższonej częstotliwości, następnie zgodnie z wykresem wskazowym przedstawionym na Fig. 4 wartości kąta fazowego  $\tau_{hk}$  między harmoniczną  $U_{20hk}$  zastępczego odkształconego napięcia zasilającego strony wtórnej w stanie jałowym lub sinusoidalnym napięciem zasilającym podwyższonej częstotliwości strony wtórnej w stanie jałowym i harmoniczną napięcia magnesującego rdzeń  $U_{\mu hk}$  oblicza się na podstawie zależności (7):

$$\tau_{hk} = \arccos\left(\frac{U_{20hk}^2 + U_{\mu hk}^2 - I_{0hk}''^2 \cdot [R_2^2 + (2 \cdot \pi \cdot f_{hk} \cdot L_{2r})^2]}{2 \cdot U_{20hk} \cdot U_{\mu hk}}\right) \quad (7)$$

gdzie:

$\tau_{hk}$  – oznacza wartości kąta fazowego między harmoniczną  $U_{20hk}$  zastępczego odkształconego napięcia zasilającego strony wtórnej w stanie jałowym lub zastępczym sinusoidalnym napięciem zasilającym podwyższonej częstotliwości strony wtórnej w stanie jałowym i harmoniczną napięcia magnesującego rdzeń  $U_{\mu hk}$ ,

następnie zgodnie z wykresem wskazowym przedstawionym na Fig. 4 wartości sumy kątów fazowych  $\gamma_{hk} + \psi_{hk}$  między harmoniczną  $U_{\mu hk}$  napięcia magnesującego rdzeń badanego indukcyjnego przekładnika prądowego i harmoniczną prądu wtórnego  $I_{2hk}$  oblicza się na podstawie zależności (8):

$$\gamma_{hk} + \psi_{hk} = \arctg\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot f_{hk} \cdot (L_{2r} + L)}{R_2 + R}\right) \quad (8)$$

gdzie:

$\gamma_{hk} + \psi_{hk}$  – oznacza wartości sumarycznego kąta fazowego między hk harmoniczną  $U_{\mu hk}$  napięcia magnesującego rdzeń lub sinusoidalnym napięciem magnesującym rdzeń badanego indukcyjnego przekładnika prądowego i hk harmoniczną prądu wtórnego  $I_{2hk}$  lub sinusoidalnym prądem wtórnym podwyższonej częstotliwości,

następnie zgodnie z wykresem wskazowym przedstawionym na Fig. 4 wartości kąta fazowego  $\beta_{hk}$  między harmoniczną prądu wtórnego  $I_{2hk}$  badanego indukcyjnego przekładnika prądowego i harmoniczną prądu wzbudzenia rdzenia  $I_{0hk}''$  oblicza się na podstawie zależności (9):

$$\beta_{hk} = \tau_{hk} + \omega_{hk} - (\gamma_{hk} + \psi_{hk}) \quad (9)$$

gdzie:

$\gamma_{hk}$  – oznacza wartości kąta fazowego między hk harmoniczną napięcia wtórnego  $U_{2hk}$  lub sinusoidalnym napięciem wtórnym podwyższonej częstotliwości oraz hk harmoniczną napięcia magnesującego rdzeń  $U_{\mu hk}$  lub sinusoidalnym napięciem magnesującym rdzeń o podwyższonej częstotliwości,

$\beta_{hk}$  – oznacza wartości kąta fazowego między hk harmoniczną prądu wzbudzenia rdzenia  $I_{0hk}''$  lub sinusoidalnym prądem wzbudzenia rdzenia podwyższonej częstotliwości oraz hk harmoniczną prądu wtórnego  $I_{2hk}$  lub sinusoidalnym prądem wtórnym podwyższonej częstotliwości,

$\Psi_{hk}$  – oznacza wartość kąta fazowego między  $h_k$  harmoniczną prądu wtórnego  $I_{2hk}$  lub sinusoidalnym prądem wtórnym podwyższonej częstotliwości oraz  $h_k$  harmoniczną napięcia wtórnego  $U_{2hk}$  lub sinusoidalnym napięciem wtórnym podwyższonej częstotliwości badanego indukcyjnego przekładnika prądowego,

wtedy zgodnie z wykresem wskazowym przedstawionym na Fig. 4 i z zależnościami (10) – (12) oblicza się wartości poszczególnych wyższych harmonicznych błędów całkowitego  $\varepsilon_{\%Ihk}$ , prądowego  $\Delta I_{hk}$  i kąтового  $\delta\varphi_{hk}$  transformacji wyższej harmonicznej prądu odkształconego lub prądu sinusoidalnego podwyższonej częstotliwości przez badany indukcyjny przekładnik prądowy:

$$\varepsilon_{\%Ihk} = \frac{I''_{0hk}}{I''_{z1kh}} \cdot 100\% \quad (10)$$

gdzie:

$\varepsilon_{\%Ihk}$  – oznacza wartość procentową błędu całkowitego transformacji  $h_k$  harmonicznej prądu odkształconego lub prądu sinusoidalnego o podwyższonej częstotliwości przez badany indukcyjny przekładnik prądowy,

$$\Delta I_{hk} = \varepsilon_{\%Ihk} \cdot \cos(\beta_{hk}) \quad (11)$$

gdzie:

$\Delta I_{hk}$  – oznacza wartość procentową błędu prądowego transformacji  $h_k$  harmonicznej prądu odkształconego lub prądu sinusoidalnego podwyższonej częstotliwości przez badany indukcyjny przekładnik prądowy,

$$\delta\varphi_{hk} = \arcsin\left(\frac{\varepsilon_{\%Ihk} \cdot \sin(\beta_{hk})}{100\%}\right) \quad (12)$$

gdzie:

$\delta\varphi_{hk}$  – oznacza wartość błędu kąтового [°] transformacji  $h_k$  harmonicznej prądu odkształconego lub prądu sinusoidalnego podwyższonej częstotliwości przez badany indukcyjny przekładnik prądowy.

## Zastrzeżenie patentowe

1. Analityczny sposób wyznaczania błędów całkowitego, prądowego i kąтового transformacji wyższych harmonicznych prądu odkształconego lub prądu sinusoidalnego podwyższonej częstotliwości przez indukcyjne przekładniki prądowe, **znamienny tym**, że w celu wyznaczenia błędów całkowitego, prądowego i kąтового najpierw wyznacza się indukcyjność rozproszenia uzwojenia wtórnego indukcyjnego przekładnika prądowego, w układzie pomiarowym z przekładnikiem wzorcowym dla transformacji prądu sinusoidalnego o częstotliwości 50 Hz i znamionowej wartościach skutecznej prądu wtórnego przekładnika wzorcowego  $I''_{1h1}$  i wartości obciążenia uzwojenia wtórnego badanego indukcyjnego przekładnika prądowego dokonuje się pomiaru wartości skutecznej podstawowej harmonicznej prądu wzbudzenia rdzenia  $I''_{0h1}$  badanego indukcyjnego przekładnika prądowego, podstawowej harmonicznej napięcia wtórnego  $U_{2h1}$  badanego indukcyjnego przekładnika prądowego oraz wartość sumarycznego kąta fazowego ( $\beta_{h1} + \Psi_{h1}$ ) między podstawową harmoniczną prądu wzbudzenia rdzenia  $I''_{0h1}$  i podstawową harmoniczną napięcia wtórnego  $U_{2h1}$ , następnie badany indukcyjny przekładnik prądowy zostaje podłączony do układu pomiarowego, w którym dla zadanego prądu wzbudzenia rdzenia  $I''_{0h1}$  o uprzednio wyznaczonej wartości skutecznej podstawowej harmonicznej dokonuje się pomiaru podstawowej harmonicznej mocy czynnej i biernej oraz sporządza się wykres wskazowy a kąt  $\alpha_{h1}$  wyznacza się na podstawie zmierzonych wartości mocy czynnej i biernej zgodnie z poniższą zależnością:

$$\alpha_{h1} = \arctg\left(\frac{P_{h1}}{Q_{h1}}\right)$$

gdzie:

$P_{h1}$  – oznacza wartość podstawowej harmonicznej mocy czynnej dla zadanej wartości prądu wzbudzenia rdzenia  $I''_{0h1}$ ,

$Q_{h1}$  – oznacza wartość podstawowej harmonicznej mocy biernej dla zadanej wartości prądu wzbudzenia rdzenia  $I''_{0h1}$ ,

$\alpha_{h1}$  – oznacza wartość kąta fazowego między podstawowymi harmonicznymi składowej biernej prądu wzbudzenia rdzenia oraz prądem wzbudzenia rdzenia  $I''_{0h1}$ ,

wtedy wartość kąta fazowego  $\gamma_{h1}$  między podstawową harmoniczną napięcia wtórnego badanego indukcyjnego przekładnika prądowego  $U_{2h1}$  oraz podstawową harmoniczną napięcia magnesującego rdzeń  $U_{\mu h1}$  wyznacza się z poniższej zależności:

$$\gamma_{h1} = 90^\circ - \alpha_{h1} - (\beta_{h1} + \psi_{h1})$$

gdzie:

$\gamma_{h1}$  – oznacza wartość kąta fazowego między podstawowymi harmonicznymi napięcia wtórnego  $U_{2h1}$  oraz napięcia magnesującego rdzeń  $U_{\mu h1}$ ,

$\beta_{h1}$  – oznacza wartość kąta fazowego między podstawowymi harmonicznymi prądu wzbudzenia rdzenia  $I''_{0h1}$  oraz prądu wtórnego  $I_{2h1}$ ,

$\Psi_{h1}$  – oznacza wartość kąta fazowego między podstawowymi harmonicznymi prądu wtórnego  $I_{2h1}$  oraz napięcia wtórnego  $U_{2h1}$  badanego indukcyjnego przekładnika prądowego,

następnie wartość kąta fazowego  $\gamma_{h1}$  między podstawową harmoniczną prądu wtórnego badanego indukcyjnego przekładnika prądowego  $U_{2h1}$  oraz podstawową harmoniczną napięcia magnesującego rdzeń  $U_{\mu h1}$  wyznacza się z poniższej zależności:

$$\Psi_{h1} = \arctg\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot f_{h1} \cdot L}{R}\right)$$

gdzie:

$R$  – oznacza wartość rezystancji obciążenia uzwojenia wtórnego,

$L$  – oznacza wartość indukcyjności obciążenia uzwojenia wtórnego,

wówczas, przy obciążeniu rezystancyjnym  $R$  uzwojenia wtórnego badanego indukcyjnego przekładnika prądowego, gdy  $L$  jego obciążenia wynosi 0 oraz wartość kąta fazowego  $\Psi_{h1}$  między podstawową harmoniczną napięcia wtórnego  $U_{2h1}$  oraz podstawową harmoniczną napięcia magnesującego rdzeń  $U_{\mu h1}$  wynosi 0, zgodnie z wykresem wskazowym, wartość indukcyjności rozproszenia uzwojenia wtórnego wyznacza się na podstawie poniższej zależności:

$$L_{2r} = \frac{(R_2 + R) \cdot \tan \gamma_{h1}}{100 \cdot \pi}$$

gdzie:

$L_{2r}$  – oznacza wartość indukcyjność rozproszenia uzwojenia wtórnego,

$R_2$  – oznacza wartość rezystancji uzwojenia wtórnego wyznaczoną metodą techniczną poprzez pomiar prądu i napięcia stałego,

wtedy dla zadanych wartości skutecznych harmonicznymi podstawowej  $I''_{z1h1}$  i wyższej  $I''_{z1hk}$  prądu pierwotnego lub sinusoidalnego prądu pierwotnego podwyższonej częstotliwości  $I''_{z1hk}$  i wartości obciążenia uzwojenia wtórnego oblicza się zgodnie z wykresem wskazowym wartości podstawowe]  $U_{20h1}$  ( $k = 1$ ) i wyższej harmonicznej  $U_{20hk}$  ( $k > 1$ ) zastępczego odkształconego napięcia zasilającego strony wtórnej w stanie jałowym lub wartość zastępczego podwyższonej częstotliwości sinusoidalnego napięcia zasilającego strony wtórnej w stanie jałowym  $U_{20hk}$  dla rezystancyjnego obciążenia uzwojenia wtórnego  $R$  na podstawie poniższej zależności:

$$U_{20hk} = I''_{z1hk} \cdot \sqrt{(R_2 + R)^2 + (2 \cdot \pi \cdot f_{hk} \cdot L_{2r})^2}$$

gdzie:

$I''_{z1hk}$  – oznacza zadaną wartość skuteczną  $hk$  harmonicznej prądu pierwotnego lub sinusoidalnego prądu pierwotnego podwyższonej częstotliwości,

$f_{hk}$  – oznacza częstotliwość zadanej  $hk$  harmonicznej prądu pierwotnego lub sinusoidalnego prądu pierwotnego podwyższonej częstotliwości  $I''_{z1hk}$ ,

$U_{20hk}$  – oznacza wartość  $hk$  harmonicznej zastępczego odkształconego napięcia zasilającego strony wtórnej w stanie jałowym lub wartość zastępczego podwyższonej częstotliwości sinusoidalnego napięcia zasilającego strony wtórnej w stanie jałowym, następnie układ pomiarowy zasila się zastępczym napięciem odkształconym o wartościach skutecznych podstawowej  $U_{20h1}$  ( $k = 1$ ) i  $hk$  wyższej harmonicznej  $U_{20hk}$  ( $k > 1$ ) lub zastępczym sinusoidalnym napięciem podwyższonej częstotliwości o wartości skutecznej  $U_{20hk}$  badany indukcyjny przekładnik prądowy i mierzy się w przypadku zasilania zastępczym napięciem odkształconym wartości podstawowej harmonicznej  $I''_{0h1}$  i wyższej  $hk$  harmonicznej  $I''_{0hk}$  prądu wzbudzenia rdzenia badanego indukcyjnego przekładnika prądowego lub w przypadku zasilania zastępczym napięciem sinusoidalnym podwyższonej częstotliwości wartość skuteczną podwyższonej częstotliwości prądu wzbudzenia rdzenia  $I''_{0hk}$  badanego indukcyjnego przekładnika prądowego oraz wartości przesunięć fazowych  $\omega_{h1}$  i  $\omega_{hk}$  między podstawową harmoniczną  $I''_{0h1}$  i  $hk$  wyższą harmoniczną  $I''_{0hk}$  prądu wzbudzenia rdzenia a odpowiadającymi harmonicznymi odkształconego zastępczego napięcia zasilającego  $U_{20h1}$  i  $U_{20hk}$  lub wartość przesunięcia fazowego  $\omega_{hk}$  między sinusoidalnym prądem wzbudzenia podwyższonej częstotliwości  $I_{0hk}$  i sinusoidalnym zastępczym napięciem zasilającym podwyższonej częstotliwości  $U_{20hk}$ , wtedy wartość skuteczną  $hk$  harmonicznej napięcia magnesującego rdzeń  $U_{\mu hk}$  lub sinusoidalnego napięcia magnesującego rdzeń o podwyższonej częstotliwości zgodnie z wykresem wskazowym oblicza się na podstawie poniższej zależności:

$$U_{\mu hk} = \sqrt{U_{20hk}^2 + I''_{0hk}{}^2 \cdot [R_2^2 + (2 \cdot \pi \cdot f_{hk} \cdot L_{2r})^2] - 2 \cdot U_{20hk} \cdot I''_{0hk} \cdot \sqrt{R_2^2 + (2 \cdot \pi \cdot f_{hk} \cdot L_{2r})^2} \cdot \cos(\omega_{hk} - \arctg \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{hk} \cdot L_{2r}}{R_2})}$$

gdzie:

$\omega_{hk}$  – oznacza wartość przesunięcia fazowego między  $hk$  harmoniczną  $I''_{0hk}$  prądu wzbudzenia rdzenia lub sinusoidalnym prądem wzbudzenia rdzenia podwyższonej częstotliwości a  $hk$  harmoniczną zastępczego odkształconego napięcia zasilającego  $U_{20hk}$  lub zastępczym sinusoidalnym napięciem zasilającym podwyższonej częstotliwości,

$I''_{0hk}$  – oznacza wartość skuteczną  $hk$  harmonicznej lub podwyższonej częstotliwości sinusoidalnego prądu wzbudzenia rdzenia,

$U_{\mu hk}$  – oznacza wektor skuteczną  $hk$  harmonicznej odkształconego napięcia magnesującego rdzeń lub sinusoidalnego napięcia magnesującego rdzeń o podwyższonej częstotliwości, następnie zgodnie z wykresem wskazowym wartości kąta fazowego  $\tau_{hk}$  między harmoniczną  $U_{20hk}$  zastępczego odkształconego napięcia zasilającego strony wtórnej w stanie jałowym lub sinusoidalnym napięciem zasilającym podwyższonej częstotliwości strony wtórnej w stanie jałowym i harmoniczną napięcia magnesującego rdzeń  $U_{\mu hk}$  oblicza się na podstawie poniższej zależności:

$$\tau_{hk} = \arccos\left(\frac{U_{20hk}^2 + U_{\mu hk}^2 - I''_{0hk}{}^2 \cdot [R_2^2 + (2 \cdot \pi \cdot f_{hk} \cdot L_{2r})^2]}{2 \cdot U_{20hk} \cdot U_{\mu hk}}\right)$$

gdzie:

$\tau_{hk}$  – oznacza wartości kąta fazowego między harmoniczną  $U_{20hk}$  zastępczego odkształconego napięcia zasilającego strony wtórnej w stanie jałowym lub zastępczym sinusoidalnym napięciem zasilającym podwyższonej częstotliwości strony wtórnej w stanie jałowym i harmoniczną napięcia magnesującego rdzeń  $U_{\mu hk}$ ,

następnie zgodnie z wykresem wskazowym wartości sumy kątów fazowych  $\gamma_{hk} + \psi_{hk}$  między harmoniczną  $U_{\mu hk}$  napięcia magnesującego rdzeń badanego indukcyjnego przekładnika prądowego i harmoniczną prądu wtórnego  $I_{2hk}$  oblicza się na podstawie poniższej zależności:

$$\gamma_{hk} + \psi_{hk} = \arctg\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot f_{hk} \cdot (L_{2r} + L)}{R_2 + R}\right)$$

gdzie:

$\gamma_{hk} + \Psi_{hk}$  – oznacza wartości sumarycznego kąta fazowego między hk harmoniczną  $U_{\mu hk}$  napięcia magnesującego rdzeń lub sinusoidalnym napięciem magnesującym rdzeń badanego indukcyjnego przekładnika prądowego i hk harmoniczną prądu wtórnego  $I_{2hk}$  lub sinusoidalnym prądem wtórnym podwyższonej częstotliwości, następnie zgodnie z wykresem wskazowym wartości kąta fazowego  $\beta_{hk}$  między harmoniczną prądu wtórnego  $I_{2hk}$  badanego indukcyjnego przekładnika prądowego i harmoniczną prądu wzbudzenia rdzenia  $I''_{0hk}$  oblicza się na podstawie poniższej zależności:

$$\beta_{hk} = \tau_{hk} + \omega_{hk} - (\gamma_{hk} + \Psi_{hk})$$

gdzie:

$\gamma_{hk}$  – oznacza wartość kąta fazowego między hk harmoniczną napięcia wtórnego  $U_{2hk}$  lub sinusoidalnym napięciem wtórnym podwyższonej częstotliwości oraz hk harmoniczną napięcia magnesującego rdzeń  $U_{\mu hk}$  lub sinusoidalnym napięciem magnesującego rdzeń o podwyższonej częstotliwości,

$\beta_{hk}$  – oznacza wartość kąta fazowego między hk harmoniczną prądu wzbudzenia rdzenia  $I''_{0hk}$  lub sinusoidalnym prądem wzbudzenia rdzenia podwyższonej częstotliwości oraz hk harmoniczną prądu wtórnego  $I_{2hk}$  lub sinusoidalnym prądem wtórnym podwyższonej częstotliwości,

$\Psi_{hk}$  – oznacza wartość kąta fazowego między hk harmoniczną prądu wtórnego  $I_{2hk}$  lub sinusoidalnym prądem wtórnym podwyższonej częstotliwości oraz hk harmoniczną napięcia wtórnego  $U_{2hk}$  lub sinusoidalnym napięciem wtórnym podwyższonej częstotliwości badanego indukcyjnego przekładnika prądowego,

wtedy zgodnie z wykresem wskazowym i z poniższymi zależnościami oblicza się wartości poszczególnych wyższych harmonicznymi błędów całkowitego  $\varepsilon_{\%Ihk}$ , prądowego  $\Delta I_{hk}$  i kąтового  $\delta\varphi_{hk}$  transformacji wyższej harmonicznymi prądu odkształconego lub prądu sinusoidalnego podwyższonej częstotliwości przez badany indukcyjny przekładnik prądowy:

$$\varepsilon_{\%Ihk} = \frac{I''_{0hk}}{I''_{z1kh}} \cdot 100\%$$

gdzie:

$\varepsilon_{\%Ihk}$  – oznacza wartość procentową błędu całkowitego transformacji hk harmonicznymi prądu odkształconego lub prądu sinusoidalnego o podwyższonej częstotliwości przez badany indukcyjny przekładnik prądowy,

$$\Delta I_{hk} = \varepsilon_{\%Ihk} \cdot \cos(\beta_{hk})$$

gdzie:

$\Delta I_{hk}$  – oznacza wartość procentową błędu prądowego transformacji hk harmonicznymi prądu odkształconego lub prądu sinusoidalnego podwyższonej częstotliwości przez badany indukcyjny przekładnik prądowy,

$$\delta\varphi_{hk} = \arcsin\left(\frac{\varepsilon_{\%Ihk} \cdot \sin(\beta_{hk})}{100\%}\right)$$

gdzie:

$\delta\varphi_{hk}$  – oznacza wartość błędu kąтового [°] transformacji hk harmonicznymi prądu odkształconego lub prądu sinusoidalnego podwyższonej częstotliwości przez badany indukcyjny przekładnik prądowy.

## Rysunki

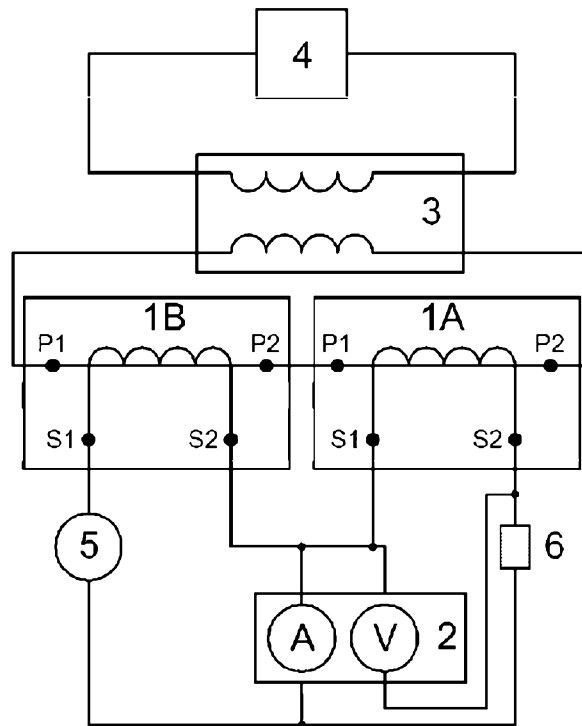


Fig. 1

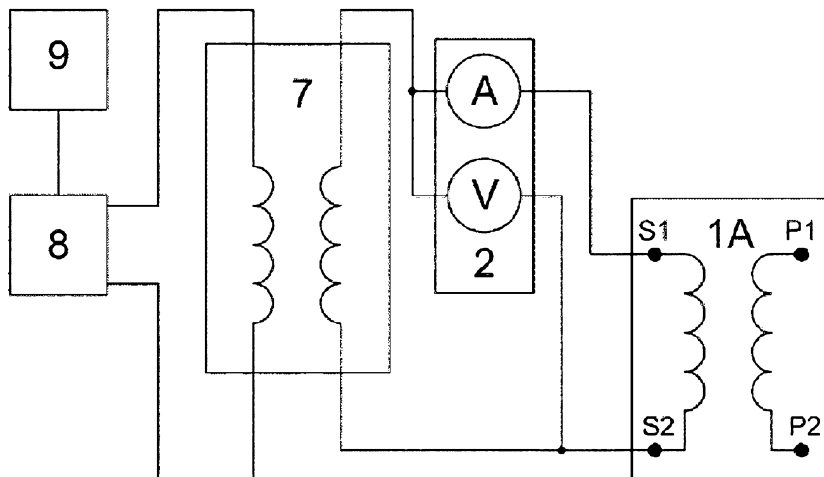


Fig. 2

