



## 1. Cel ćwiczenia

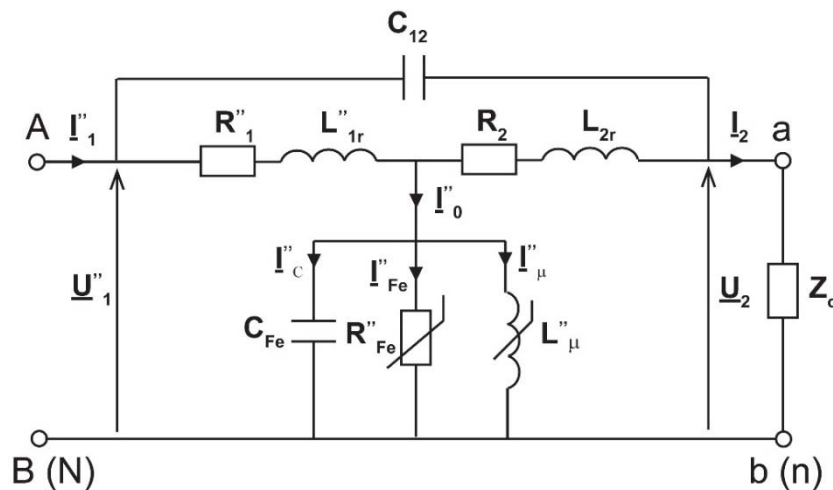
Poznanie metody wyznaczania błędów napięciowego i kąтового transformacji harmonicznego napięcia odkształcanego przez indukcyjny przekładnik napięciowy. Określenie głównych czynników warunkujących przebieg charakterystyk błędów napięciowego i kąтового wykreślonych w funkcji częstotliwości transformowanej harmonicznego odkształconego napięcia pierwotnego.

## 2. Podstawy teoretyczne

Przekładniki napięciowe i prądowe należą do systemu elektroenergetycznego i stanowią podstawowy element łączący obwód pierwotny linii elektroenergetycznej z obwodem wtórnym wykorzystywanym do pomiarów lub zabezpieczeń. W niektórych punktach sieci, jakość energii elektrycznej ulega obecnie znacznemu pogorszeniu. Z tego względu konieczna jest dokładna transformacja napięć/prądów odkształconych. Istotne są wówczas nie tylko błędy przekładni i kątowny badanego przekładnika wyznaczone dla transformacji sygnałów sinusoidalnych o częstotliwości 50 Hz (zgodnie z normą PN-EN 61869-2/3), ale także jego dokładność transformacji wyższych harmonicznego odkształconych napięć/prądów. W przypadku pomiarów jakości energii zgodnie z normą PN-EN 50160:2010, co najmniej w zakresie częstotliwości do 2000 Hz. Jeżeli w układzie pośrednim badany jest poziom zaburzeń przewodzonych występujących w sieci elektroenergetycznej, konieczne jest dla zachowania niezbędnej dokładności pomiaru, aby przekładnik charakteryzował się odpowiednio wysokimi właściwościami metrologicznymi dla wyższych harmonicznego o częstotliwościach do 9 kHz (normy PN-EN 61000-2-2/4:2003). Dopuszczalne wartości harmonicznego prądu/napięcia w sieci elektroenergetycznej określa instrukcja ruchu i eksploatacji sieci dystrybucyjnej. Obecnie normy polskie/europejskie i amerykańskie (C57.13:2016) nie określają wymagań i sposobów badań dokładności indukcyjnych przekładników prądowych i napięciowych podczas transformacji wyższych harmonicznego sygnałów odkształconych, ani prądów/napięć sinusoidalnych o podwyższonej częstotliwości. Norma PN-EN 61869-6:2017 dotyczy jedynie przekładników małej mocy, czyli układów elektronicznych pasywnych lub aktywnych przeznaczonych do transformacji prądu lub napięcia. Badania dokładności transformacji powinny być wykonane przy znamionowej wartości skutecznej sygnału wejściowego dla sygnałów sinusoidalnych lub harmonicznego prądów/napięć odkształconych o częstotliwości z określonego, według normy, zakresu. Dla danych klas dokładności wyznaczonych podczas transformacji sinusoidalnego sygnału o częstotliwości znamionowej 50 Hz (60 Hz), określono wartości graniczne błędów przekładni i kątownych transformacji sygnałów sinusoidalnych o podwyższonej częstotliwości oraz wyższych harmonicznego sygnałów odkształconych. Wymagania te mogą być wykorzystywane jako wytyczne do oceny szerokopasmowej dokładności indukcyjnych przekładników prądowych i napięciowych. Jednak wtedy, ze względu na nieliniowy przebieg charakterystyki magnesowania rdzenia, pomiary powinny zostać wykonane nie tylko przy znamionowej wartości prądu/napięcia badanego przekładnika, lecz także dla wartości wymaganych zgodnie z normą PN-EN 61869-2/3. Przy czym, w przypadku badań dotyczących dokładności transformacji prądów odkształconych przez indukcyjne przekładniki należy przeprowadzić także sprawdzenie dokładności transformacji podstawowej harmonicznego w warunkach występowania wielu kolejnych harmonicznego niższego rzędu w sygnale pierwotnym. Szczególnie przy 120% wartości skutecznej sygnału znamionowego może to spowodować nasycenie rdzenia indukcyjnego przekładnika prądowego i gwałtowny wzrost błędów. Ponadto, w normie PN-EN 61869-6:2017 przedstawiono po trzy koncepcje układów pomiarowych do badania dokładności transformacji wyższych harmonicznego oraz sygnałów sinusoidalnych o podwyższonej częstotliwości przez przekładniki/przetworniki prądowe i napięciowe. Pierwsza metoda oparta jest o zastosowanie woltomierza homodynamicznego (ang. Lock-in amplifier). W drugim przedstawionym sposobie wykorzystany został komparator

prądów. Dlatego zastosowanie dodatkowych przetworników wymagane jest w pierwszym przypadku do badania przekładników prądowych natomiast w drugim przypadku do sprawdzania dokładności przekładników napięciowych. W obu układach pomiarowych występuje także konieczność zastosowania dodatkowych układów dopasowujących wartość prądu/napięcia do dopuszczalnych wartości wejściowych aparatury pomiarowej. Z tych powodów, dla zachowania wysokiej dokładności pomiaru kluczowa jest stabilność parametrów dodatkowych elementów układu pomiarowego niezależnie od częstotliwości sinusoidalnego prądu/napięcia lub składowych harmonicznym sygnałów odkształconych i ich wartości. Trzecia metoda-cyfrowa wymaga zastosowania zsynchronizowanych przetworników analogowo-cyfrowych, natomiast do wyznaczania błędów transformacji przekładników wykorzystywany jest program komputerowy. Idea tego typu rozwiązania jest realizowana poprzez zastosowanie w układzie pomiarowym cyfrowego watomierza lub analizatora jakości energii lub wielokanałowej karty pomiarowej.

Schemat zastępczy indukcyjnego przekładnika napięciowego dla częstotliwości sinusoidalnego napięcia pierwotnego i harmonicznym odkształconego napięcia pierwotnego do 10 kHz przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat zastępczy indukcyjnego przekładnika napięciowego dla częstotliwości do 10 kHz

Na schemacie tym zastosowano następujące oznaczenia (symbole z dwiema kreskami (bis) oznaczają wielkości sprowadzone do obwodu wtórny):  $\underline{U}''_1$  – napięcie pierwotne przeliczone na stronę wtórny,  $\underline{I}''_1$  – prąd pierwotny przeliczony na stronę wtórny,  $R''_1$  – rezystancja uzwojenia pierwotnego przeliczona na stronę wtórny,  $L''_{1r}$  – indukcyjność rozproszenia uzwojenia pierwotnego przeliczona na stronę wtórny,  $R''_{Fe}$  – rezystancja odwzorowująca straty w rdzeniu przeliczona na stronę wtórny,  $\underline{I}''_{Fe}$  – prąd odwzorowujący straty w rdzeniu przeliczony na stronę wtórny,  $L''_{\mu}$  – indukcyjność główna przeliczona na stronę wtórny,  $\underline{I}''_{\mu}$  – prąd magnesujący przeliczony na stronę wtórny,  $L_{2r}$  – indukcyjność rozproszenia uzwojenia wtórny,  $R_2$  – rezystancja uzwojenia wtórny,  $\underline{U}_2$  – napięcie wtórny,  $\underline{I}''_2$  – prąd wtórny,  $Z_0$  – impedancja obciążenia. W stosunku do klasycznego schematu zastępczego indukcyjnego przekładnika napięciowego schemat zastępczy przedstawiony na rysunku 1 został rozszerzony o pojemności uzwojeń pierwotnego i wtórny  $C_{Fe}$  i pojemność między uzwojeniami  $C_{12}$ .

Analogicznie jak dla transformacji napięcia sinusoidalnego o częstotliwości 50 Hz błąd napięciowy wynika z różnicy między przekładnią znamionową przekładnika napięciowego obliczoną dla transformacji napięcia sinusoidalnego o częstotliwości 50 Hz, a przekładnią rzeczywistą wyznaczoną dla danej harmonicznym napięcia odkształconego. Błąd ten obliczany jest jako procentowa różnica, odniesiona do wartości skutecznej danej harmonicznym w napięciu

pierwotnym, wartości skutecznych danej harmonicznej w napięciu wtórnym po pomnożeniu przez znamionową przekładnię przekładnika i w napięciu pierwotnym.

$$\Delta U_{kh} = \frac{K_{Un} U_{2kh} - U_{1kh}}{U_{1kh}} \cdot 100\% \quad (1)$$

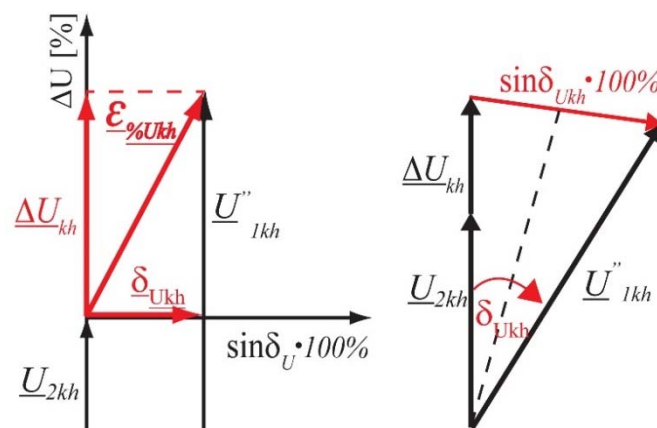
$\Delta U_{kh}$  - błąd napięciowy transformacji k-tej wyższej harmonicznej przez przekładnik napięciowy,  $U_{2kh}$  - wartość skuteczna k-tej wyższej harmonicznej w odkształconym napięciu wtórnym,  $U_{1kh}$  - wartość skuteczna k-tej wyższej harmonicznej w odkształconym napięciu pierwotnym,  $K_{Un}$  - przekładnia znamionowa przekładnika napięciowego.

Błąd kątowy jest to kąt między wektorem danej harmonicznej w odkształconym napięciu pierwotnym i odwróconym o  $180^\circ$  wektorem danej harmonicznej w odkształconym napięciu wtórnym, wyrażony w minutach lub centyradianach. Błąd kątowy jest dodatni, jeśli odwrócony o  $180^\circ$  wektor danej harmonicznej w odkształconym napięciu wtórnym wyprzedza wektor danej harmonicznej w odkształconym napięciu pierwotnym.

$$\delta_{U_{kh}} = \varphi_{2kh} - \varphi_{1kh} \quad (2)$$

$\delta_{U_{kh}}$  - błąd kątowy transformacji k-tej wyższej harmonicznej przez przekładnik napięciowy,  $\varphi_{1kh}$  - przesunięcie fazowe k-tej wyższej harmonicznej w odkształconym napięciu pierwotnym względem podstawowej harmonicznej napięcia pierwotnego,  $\varphi_{2kh}$  - przesunięcie fazowe k-tej wyższej harmonicznej w odkształconym napięciu wtórnym względem podstawowej harmonicznej napięcia pierwotnego.

Błąd całkowity dla danej harmonicznej napięcia odkształconego może zostać zdefiniowany w oparciu o wykres wskazowy przedstawiony na rysunku 2.



Rys. 2. Wykres wskazowy dla transformacji k-tej harmonicznej napięcia odkształconego przez przekładnik napięciowy

Na podstawie powyższego wykresu wskazowego można wykazać, że wartość błędu całkowitego  $\epsilon_{Okh}$  transformacji k-tej harmonicznej napięcia odkształconego przez przekładnik napięciowy jest równa sumie geometrycznej wyznaczonych dla transformacji tej harmonicznej błędów napięciowego i kątowego:

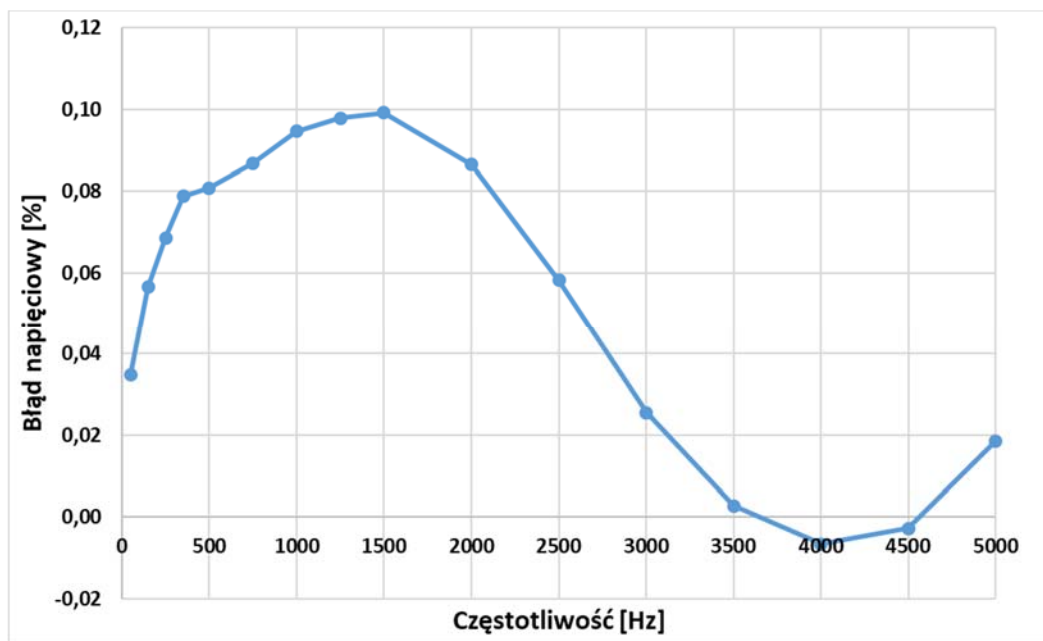
$$\epsilon_{Okh} = \sqrt{\Delta U_{kh}^2 + (\sin \delta_{U_{kh}} \cdot 100)^2} \quad (3)$$

Głównymi przyczynami wzrostu błędów napięciowego i kąтового dla transformacji wyższych harmoniczných napięcia odkształconego przez indukcyjny przekładnik napięciowy są: wzrost reaktancji rozproszenia uzwojenia pierwotnego i spadek reaktancji pojemnościowej uzwojeń a także między uzwojeniami. Prowadzi to do występowania zjawisk rezonansowych między indukcyjnością główną i rozproszenia uzwojenia pierwotnego przekładnika, a pojemnościami uzwojeń i między uzwojeniami. Dodatkowo, każdy zwój zastosowany do korekcji błędu napięciowego przekładnika dla wyższych harmoniczných odkształconego napięcia pierwotnego powoduje, zgodnie z zależnością (4), powstawanie dodatkowej siły elektromotorycznej  $E_z''$  powodującej dodatkowy wzrost wartości błędów po transformacji przez indukcyjny przekładnik napięciowy ponad wartość wynikającą z przekładni znamionowej.

$$E_z'' = 4,44 \cdot f_h \cdot \Delta z_1 \cdot \phi_m \quad (4)$$

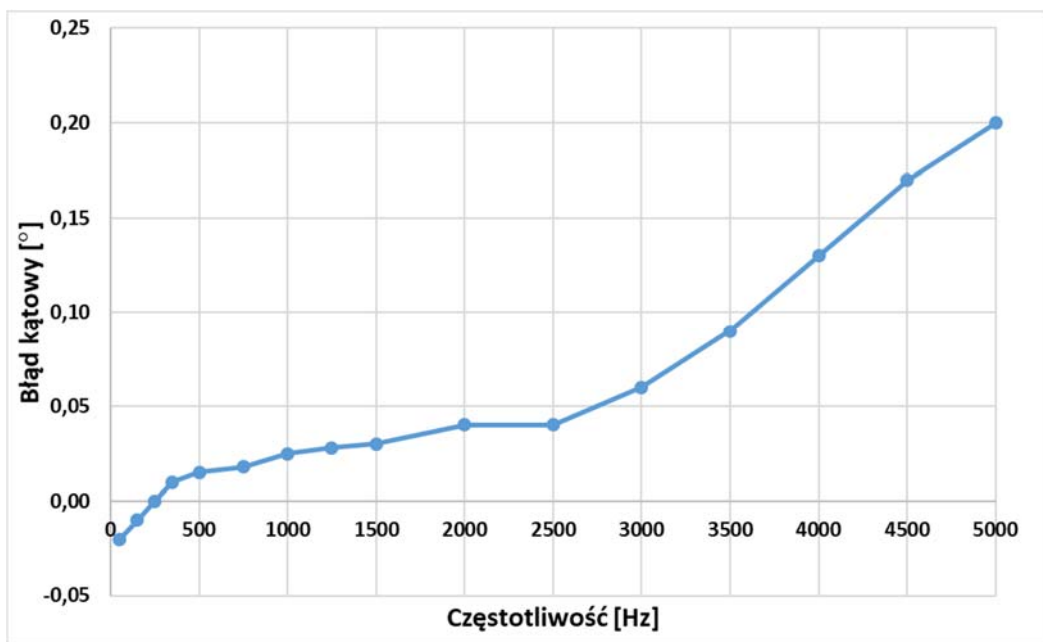
$f_h$  - częstotliwość wyższej harmoniczných w odkształconym napięciu transformowanym przez przekładnik,  $z_1$  - wartość poprawki zwojowej,  $\phi_m$  - amplituda głównego strumienia magnetycznego w rdzeniu przekładnika.

Ze względu na nieliniowy przebieg charakterystyki magnesowania rdzeni indukcyjnych przekładników błąd transformacji harmoniczných jest inny niż napięcia/prądu sinusoidalnego o tej samej częstotliwości. W przypadku indukcyjnych przekładników prądowych, zgodnie z raportem technicznym IEC 61869-103:2012, pasmo pracy może wynosić nawet 20 kHz. O dokładności transformacji przekładnika prądowego decyduje przede wszystkim wysoka jakość materiału rdzenia magnetycznego. Pasma pracy ograniczone jest przez filtr dolnoprzepustowy wytworzony przez reaktancję rozproszenia uzwojenia wtórnego i jego pojemności. Zatem, jest znacząco mniejsze w przypadku zastosowania bardzo dużych wartości przekładni zwojowej. O dokładności transformacji przekładnika napięciowego decydują przede wszystkim parametry konstrukcyjne uzwojeń pierwotnego i wtórnego oraz układ izolacyjny. Między rdzeniem a uzwojeniem wtórnym, jak również między uzwojeniami, występuje warstwa izolacyjna. Grubość tej warstwy zależy od różnicy potencjałów między izolowanymi elementami i warunkuje wartości pasożytniczej pojemności sprzęgającej między uzwojeniami  $C_{12}$ . Wzrost średnicy uzwojenia, powoduje wzrost jego rezystancji, jak również reaktancji rozproszenia i w efekcie powoduje wzrost błędów przekładnika. Ponadto, zwiększenie grubości izolacji między uzwojeniem pierwotnym i wtórnym prowadzi do wzrostu rezystancji i reaktancji uzwojeń ale i do obniżenia pojemności pasożytniczych sprzęgających uzwojenie pierwotne i wtórne. Zwiększenie liczby zwojów uzwojeń powoduje wzrost ich pojemności  $C_{1/2}$ . Ze względu na nieliniową charakterystykę zmian błędów napięciowego i kąтового w funkcji częstotliwości transformowanej harmoniczných napięcia odkształconego w układach do sprawdzania dokładności przekładników napięciowych, w tych warunkach pomiarowych, nie mogą być stosowane **indukcyjne wzorcowe przekładniki napięciowe**. Natomiast mogą być stosowane dzielniki rezystancyjne, albo pojemnościowe lub pojemnościowo-rezystancyjne. Przekładnia znamionowa dzielnika wzorcowego musi być równa przekładni znamionowej badanego przekładnika napięciowego natomiast rezystancja wzrasta ze wzrostem wartości skutecznej napięcia wejściowego (ograniczenie wartości przepływającego prądu i wymaganej mocy rezystorów). Na rysunku 3 przedstawiona została charakterystyka częstotliwościowa błędu napięciowego wzorcowego dzielnika napięciowego zastosowanego w układzie pomiarowym tego ćwiczenia. Podczas pomiarów uwzględniono wpływ przyłączenia sondy napięciowej zastosowanego analizatora jakości energii na błąd napięciowy i kątowy dzielnika.



Rys. 3. Charakterystyka częstotliwościowa błędu napięciowego wzorcowego dzielnika napięciowego

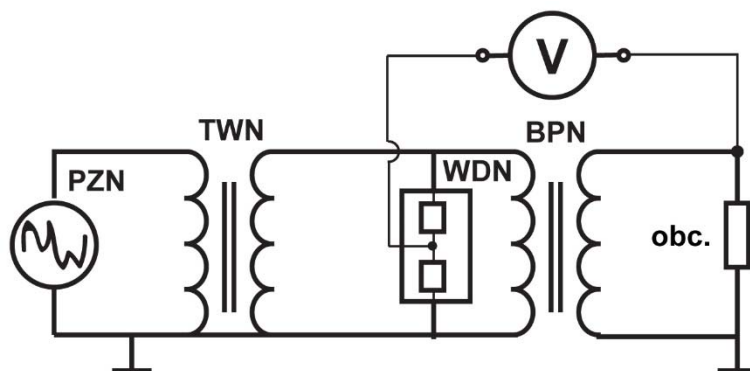
Podczas obliczeń błędu napięciowego transformacji  $k$ -tej wyższej harmonicznej przez przekładnik napięciowy należy przyjąć, że błąd napięciowy dzielnika wzorcowego jest pomijalnie mały. Na rysunku 4 przedstawiona została charakterystyka częstotliwościowa błędu kąтового wzorcowego dzielnika napięciowego zastosowanego w układzie pomiarowym tego ćwiczenia.



Rys. 4. Charakterystyka częstotliwościowa błędu kąтового wzorcowego dzielnika napięciowego

Podczas obliczeń błędu kąтового transformacji  $k$ -tej wyższej harmonicznej przez przekładnik napięciowy należy przyjąć, że błąd kątowy dzielnika wzorcowego jest pomijalnie mały.

Błąd całkowity w przypadku przekładnika napięciowego wyznaczany jest między punktami o wysokim potencjale napięcia wyjściowego dzielnika i napięcia wtórnego badanego przekładnika zgodnie ze schematem ideowym przedstawionym na rysunku 5.

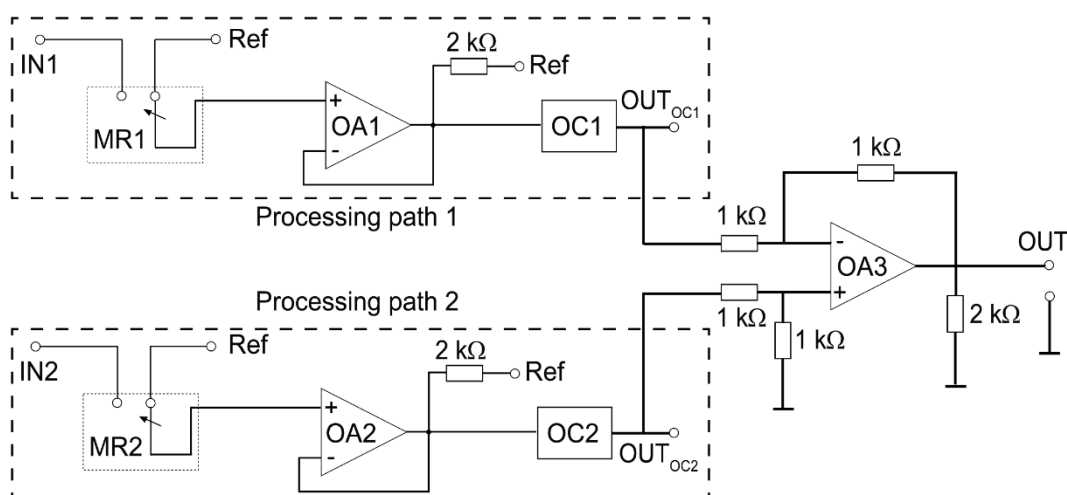


Rys. 5. Schemat ideowy układu pomiarowego do wyznaczania błędu całkowitego przekładnika napięciowego względem dzielnika wzorcowego

Na schemacie z rysunku 5 zastosowano następujące oznaczenia: PZN - programowalne źródło napięcia zmiennego, TWN - transformator podnoszący napięcie, WDN - wzorcowy dzielnik napięciowy, BPN - badany przekładnik napięciowy, obc. - impedancja obciążenia uzwojenia wtórnego badanego przekładnika napięciowego, V - woltomierz.

Z uwagi na zbyt niską rezystancję woltomierzy, która typowo ma wartość poniżej 10 M $\Omega$  dla prądu przemiennego o częstotliwości 50 Hz, pomiar błędu całkowitego według schematu ideowego z rysunku 5 prowadziłby do nieprawidłowej pracy wzorcowego dzielnika napięciowego. Wynika to z jego wysokiej rezystancji wynoszącej co najmniej 1 M $\Omega$ /kV i warunkującej rezystancję wyjściową o wartości 100 k $\Omega$ . Powoduje to przepływ prądu przez woltomierz o wartości wpływającej znacząco na dokładność dzielnika.

W celu wyeliminowania wpływu na dokładność dzielnika napięciowego włączenia do układu pomiarowego z rysunku 5 woltomierza lub innego urządzenia pomiarowego stosowany jest wysokoimpedancyjny układ różnicowy przez, który wykonywany jest pomiar błędu całkowitego. Schemat blokowy układu różnicowego stosowanego podczas wykonywania ćwiczenia jest przedstawiony na rysunku 6.



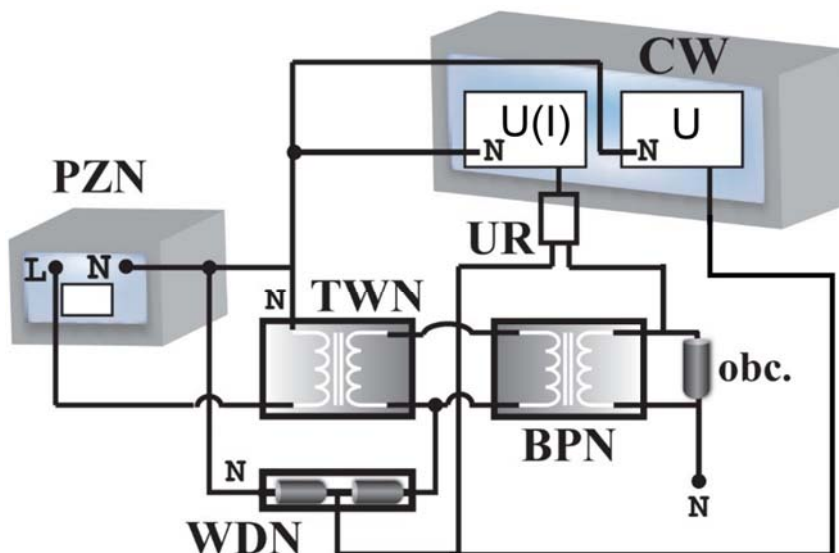
Rys. 6. Schemat blokowy układu różnicowego

Na schemacie blokowym z rysunku 6 zastosowano następujące oznaczenia: IN1\2 – wejścia układu różnicowego, MR1\2 – przekaźnik, OUT<sub>OC1\2</sub> – wyjścia optoizolatorów, Ref – wejście dzielnika odniesienia, OA 1\2 – wzmacniacze operacyjny o wysokiej impedancji wejściowej, OA3 – precyzyjny, szerokopasmowy wzmacniacz operacyjny, OUT – wyjście układu różnicowego.

Wejścia urządzenia do pomiaru są załączane przez wewnętrzne przekaźniki sterowane przyciskami umieszczonymi na obudowie. Przez pozostały czas wejścia są rozłączone, ma to na celu zabezpieczenie wrażliwych na przepięcia wysokoimpedancyjnych wejściowych wzmacniaczy operacyjnych. Podczas pomiaru różnicowe napięcie wejściowe jest załączane wewnątrz układu różnicowego między wejścia nieodwracające dwóch wejściowych wzmacniaczy operacyjnych o rezystancji 1TΩ. W każdym z dwóch torów pomiarowych napięcie wynikające z różnicy potencjałów między wyjściem wzmacniacza a wewnętrznym potencjałem odniesienia układu różnicowego jest przetwarzane przez optoizolatory na napięcie wynikające z różnicy potencjałów między wyjściem optoizolatora a masy układu pomiarowego. Następnie napięcia obu torów pomiarowych są odejmowane przez wyjściowy wzmacniacz operacyjny, którego napięcie wyjściowe jest równe, co do wartości skutecznej różnicowemu napięciu wejściowemu układu różnicowego.

### 3. Badania laboratoryjne

Zanotować dane znamionowe badanego przekładnika napięciowego. Pomiar należy wykonać dla napięć odkształconych o częstotliwości podstawowej 50 Hz zawierających pojedynczą wyższą harmoniczną.



CW - cyfrowy watomierz, PZN - programowalne źródło napięcia zmiennego, TWN - transformator podnoszący napięcie, UR - układ różnicowy, WDN - wzorcowy dzielnik napięciowy, BPN - badany przekładnik napięciowy, obc. - impedancja obciążenia uzwojenia wtórnego badanego przekładnika napięciowego.



**Przed rozpoczęciem pomiarów zanotować:**

Dane znamionowe przekładnika (napięcia pierwotne i wtórne oraz liczba zwojów):

Wartości napięcia pierwotnego i zadany poziom wyższej harmonicznej:

Wartości obciążenia uzwojeń wtórnych:

Oznaczenie badanego uzwojenie, sposób przyłączenia napięć do układu różnicowego:

Tabela 1. Próba pomiarowa (1)

kh	f [Hz]	$U_{DNkh}$	$U_{rkh}$	$\Phi_{rkh}$
1	150			
3	150			
5	250			
7	350			
10	500			
15	750			
20	1000			
25	1250			
30	1500			
35	1750			
40	2000			
45	2250			
50	2500			
55	2750			
60	3000			
65	3250			
70	3500			
75	3750			
80	4000			
85	4250			
90	4500			
95	4750			
100	5000			

Tabela 2. Próba pomiarowa (2)

kh	f [Hz]	$U_{DNkh}$	$U_{rkh}$	$\Phi_{rkh}$
1	150			
3	150			
5	250			
7	350			
10	500			
15	750			
20	1000			
25	1250			
30	1500			
35	1750			
40	2000			
45	2250			
50	2500			
55	2750			
60	3000			
65	3250			
70	3500			
75	3750			
80	4000			
85	4250			
90	4500			
95	4750			
100	5000			

$U_{VDkh}$  - wartość skuteczna k-tej harmonicznej w napięciu wzorcowego dzielnika,

$\Phi_{rkh}$  - wartość przesunięcia fazowego k-tej harmonicznej w napięciu wzorcowego dzielnika względem k-tej harmonicznej w napięciu różnicowym,

$U_{rkh}$  - wartość skuteczna k-tej harmonicznej w napięciu różnicowym.

Wartość skuteczną k-tej harmonicznej napięcia wtórnego badanego przekładnika należy wyznaczyć zgodnie z zależnością:

$$U_{2PNkh} = \sqrt{U_{DNkh}^2 + U_{rkh}^2 - 2 \cdot U_{DNkh} \cdot U_{rkh} \cdot \cos(180^\circ - \varphi_{rkh})} \quad (5)$$

Procentowa wartość k-tej harmonicznej błędu całkowitego jest równa wartości skutecznej k-tej harmonicznej napięcia wyjściowego układu różnicowego odniesionej do jej wartości skutecznej w napięciu wzorcowego dzielnika:

$$\varepsilon_{kh} = \frac{U_{rkh}}{U_{DNkh}} \cdot 100\% \quad (6)$$

Błędy napięciowy i kątowy badanego przekładnika napięciowego obliczyć zgodnie z zależnościami:

$$\Delta U_{kh} = \frac{U_{2PNkh} - U_{DNkh}}{U_{DNkh}} \cdot 100\% \quad (7)$$

$$\delta_{kh} = \arcsin\left(\frac{\sqrt{\varepsilon_{kh}^2 - \Delta U_{kh}^2}}{100\%}\right) \quad (8)$$

Znaki błędu kątowego ustalić zgodnie z tabelą 3.

Tabela 3. Zależność znaku błędu kątowego od przesunięcia fazowego między napięciem wzorcowego dzielnika i napięciem różnicowym

	0°-180°	180°-360°
$\varphi_{rkh}$	-	+

Otrzymane wartości błędu napięciowego wyznaczone dla warunków innych niż znamionowe (7) należy skorygować uwzględniając wpływ temperatury na wartość błędu napięciowego wzorcowego dzielnika napięcia zgodnie z zależnością:

$$\Delta U_{PNkh} = \Delta U_{kh} + \Delta U_{DN\delta T} \quad (9)$$

$\Delta U_{VD\delta T}$  – współczynnik temperaturowy zmiany błędu napięciowego wzorcowego dzielnika napięcia

Dla napięcia pierwotnego o 10% mniejszego od znamionowej wartości napięcia pierwotnego, współczynnik temperaturowy wzorcowego dzielnika napięcia wynosi:

$$\Delta U_{VD\delta T} = \pm 0,065 \% \quad (10)$$

Dla napięć o wartościach mniejszych niż znamionowe przyjmując ujemny znak współczynnika temperaturowego, dla wartości większych niż napięcie znamionowe – znak dodatni.

Wyniki obliczeń błędów całkowitego, napięciowego i kąтового wyznaczone dla transformacji harmonicznego napięcia odkształconego w poszczególnych próbach pomiarowych przedstawic w tabelach 4 i 5.

Tabela 4. Wyniki próba (1)

kh	f [Hz]	$\varepsilon_{kh}$	$\Delta U_{PNkh}$	$\delta_{kh}$
1	150			
3	150			
5	250			
7	350			
10	500			
15	750			
20	1000			
25	1250			
30	1500			
35	1750			
40	2000			
45	2250			
50	2500			
55	2750			
60	3000			
65	3250			
70	3500			
75	3750			
80	4000			
85	4250			
90	4500			
95	4750			
100	5000			

Tabela 5. Wyniki próba (2)

kh	f [Hz]	$\varepsilon_{kh}$	$\Delta U_{PNkh}$	$\delta_{kh}$
1	150			
3	150			
5	250			
7	350			
10	500			
15	750			
20	1000			
25	1250			
30	1500			
35	1750			
40	2000			
45	2250			
50	2500			
55	2750			
60	3000			
65	3250			
70	3500			
75	3750			
80	4000			
85	4250			
90	4500			
95	4750			
100	5000			

*Podac przykladowe obliczenia dla dwóch wartosci w kazdej z kolumn*

#### 4. Opracowanie wyników pomiarowych

W sprawozdaniu przedstawic charakterystyki błędów całkowitego, napięciowego i kąтового wykreślone w funkcji częstotliwości transformowanej harmonicznego odkształconego napięcia pierwotnego oraz uzasadnic ich przebieg. Omówic możliwe czynniki warunkujące ich wartości. W zależności od zakresu badań wykonywanych podczas ćwiczenia porównac charakterystyki wyznaczone dla dwóch indukcyjnych przekładników napięciowych lub dla tego samego przekładnika w poszczególnych próbach pomiarowych i określić możliwe przyczyny występowania różnic w ich przebiegach.