

1. Cel ćwiczenia

Poznanie metod wyznaczania współczynnika granicznego dokładności ALF (*Accuracy Limit Factor*) i określenie wpływu obciążenia obwodu wtórnego indukcyjnego przekładnika prądowego do zabezpieczeń typu P na jego wartość. Zgodnie z normą PN-EN 61869-2 sprawdzenie dokładności transformacji prądu zwarciovego i określenie znormalizowanej wartości współczynnika ALF na podstawie wyniku pomiaru błędu całkowitego.

2. Podstawy teoretyczne

Typy przekładników do zabezpieczeń określa norma PN-EN 61869-2:

- **P, PR** – wymagana dokładność dla warunków transformacji symetrycznego prądu pierwotnego w stanie ustalonym, w przypadku przekładników typu PR dodatkowo procentowy stosunek strumienia szczytkowego do strumienia nasycenia nie może przekroczyć 10%;
- **TPX, TPY, TPZ** – wymagania dokładność dla warunków transformacji asymetrycznego prądu pierwotnego w stanie przejściowym (chwilowy błąd szczytowy);
- **PX** – wymagany odpowiedni kształt charakterystyki magnesowania.

Znamionowy prąd pierwotny bezpieczny przyrządu określa dla obciążenia znamionowego uzwojenia wtórnego wartość skuteczną prądu pierwotnego, od której przekładnik prądowy do pomiarów spełnia wymagania normą PN-EN 61869-2 w zakresie wartości błędu całkowitego, tzn. błąd całkowity jest większy lub równy 10%.

Znamionowy graniczny prąd pierwotny określa dla obciążenia znamionowego uzwojenia wtórnego wartość skuteczną prądu pierwotnego, do której przekładnik prądowy do zabezpieczeń typu P i PR spełnia wymagania normą PN-EN 61869-2 w zakresie wartości błędu całkowitego, tzn. błąd całkowity jest mniejszy lub równy 5% dla klasy dokładności 5P i 5PR lub 10% dla klasy dokładności 10P i 10PR.

Współczynnik graniczny dokładności ALF (*Accuracy Limit Factor*) dawniej nazywany liczbą przetężeniową określa w przypadku indukcyjnych przekładników prądowych do zabezpieczeń typu P i PR stosunek znamionowego granicznego prądu pierwotnego I_{lg} do znamionowego prądu pierwotnego I_{1zn} :

$$ALF = \frac{I_{lg}}{I_{1zn}} \quad (1)$$

Znormalizowane wartości współczynnika granicznego dokładności: 5, 10, 15, 20 i 30.

Współczynnik bezpieczeństwa przyrządu FS (*Instrument Security Factor*) określa w przypadku przekładników prądowych do pomiarów stosunek znamionowego prądu pierwotnego bezpiecznego przyrządu I_{1b} do znamionowego prądu pierwotnego I_{1zn} :

$$FS = \frac{I_{1b}}{I_{1zn}} \quad (2)$$

Znormalizowane wartości współczynnika bezpieczeństwa przyrządu: 5 i 10.

Współczynnik bezpieczeństwa przyrządu FS jest wyznaczany w sposób analogiczny, jak współczynnik graniczny dokładności ALF.

Tabela 1: Klasy dokładności indukcyjnych przekładników prądowych do zabezpieczeń typu P według normy PN-EN 61869-3

Klasa dokładności	Błąd prądowy [%]	Błąd kątowy [min]	Błąd całkowity [%]
5P	± 1	± 60	5
10P	± 3	–	10

Błędy prądowy i kątowy są wyznaczane przy znamionowym prądzie pierwotnym. Błąd całkowity jest wyznaczany przy znamionowym granicznym prądzie pierwotnym wynikającym ze znamionowej wartości współczynnika ALF.

W przypadku, gdy moc pozorna znamionowego obciążenia uzwojenia wtórnego badanego przekładnika prądowego do zabezpieczeń typu P / PR nie przekracza 5 VA współczynnik mocy podczas badań dokładności wynosi 1. W pozostałych przypadkach wynosi 0,8 ind.

Błąd całkowity ε_c jest to wartość skuteczna prądu w stanie ustalonym będącego różnicą między chwilowymi wartościami prądów pierwotnego i wtórnego pomnożonego przez znamionową przekładnię przekładnika, jest on wyrażony w procentach wartości skutecznej prądu pierwotnego:

$$\varepsilon_c = \frac{100}{I_1} \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (K_{In} i_2 - i_1)^2 dt} \quad (3)$$

K_{In} - znamionowa przekładnia prądowa, i_1 , i_2 - wartości chwilowe prądów pierwotnego i wtórnego, I_1 - wartość skuteczna prądu pierwotnego, T - okres przebiegu prądu.

Procentowa wartość błędu całkowitego ε_c jest równa wartości skutecznej prądu stanu jałowego indukcyjnego przekładnika prądowego I_0 odniesionej do jego prądu pierwotnego I_1 :

$$\varepsilon_c = \frac{I_0}{I_1} \cdot 100\% \quad (4)$$

Wtórna graniczna siła elektromotoryczna zgodnie z normą PN-EN 61869-2 jest obliczana na podstawie zależności (4) w celu wyznaczenia metodą pośrednią wartości błędu całkowitego indukcyjnych przekładników prądowych do zabezpieczeń typu P i PX w warunkach transformacji znamionowego granicznego prądu pierwotnego.

$$E_{ALF} = ALF \cdot I_{2zn} \cdot \sqrt{(R_2 + R_0)^2 + (X_{2r} + X_0)^2} \quad (5)$$

E_{ALF} - wtórna skuteczna graniczna siła elektromotoryczna, I_{2zn} - wartość skuteczna znamionowego prądu wtórnego badanego przekładnika prądowego, R_2 i X_{2r} - rezystancja i reaktancja uzwojenia wtórnego, R_0 i X_0 - rezystancja i reaktancja obciążenia uzwojenia wtórnego.

Wtórna graniczna siła elektromotoryczna odzwierciedla wartość skuteczną napięcia między zaciskami uzwojenia wtórnego przekładnika prądowego występującą podczas transformacji znamionowego granicznego prądu pierwotnego. Celem próby pośredniej jest wyznaczenie prądu jałowego badanego indukcyjnego przekładnika prądowego dla wartości indukcji magnetycznej występującej w jego rdzeniu podczas transformacji prądu zwarciego.

Nie spełnianie przez badany indukcyjny przekładnik prądowy do zabezpieczeń wymagań normy w zakresie dokładności transformacji prądu zwarciovego skutkuje nie zadziałaniem zabezpieczeń linii elektroenergetycznej przyłączonych do jego obwodu wtórnego w wyniku nasycenia rdzenia magnetycznego i zbyt niskiej wartości prądu wtórnego.

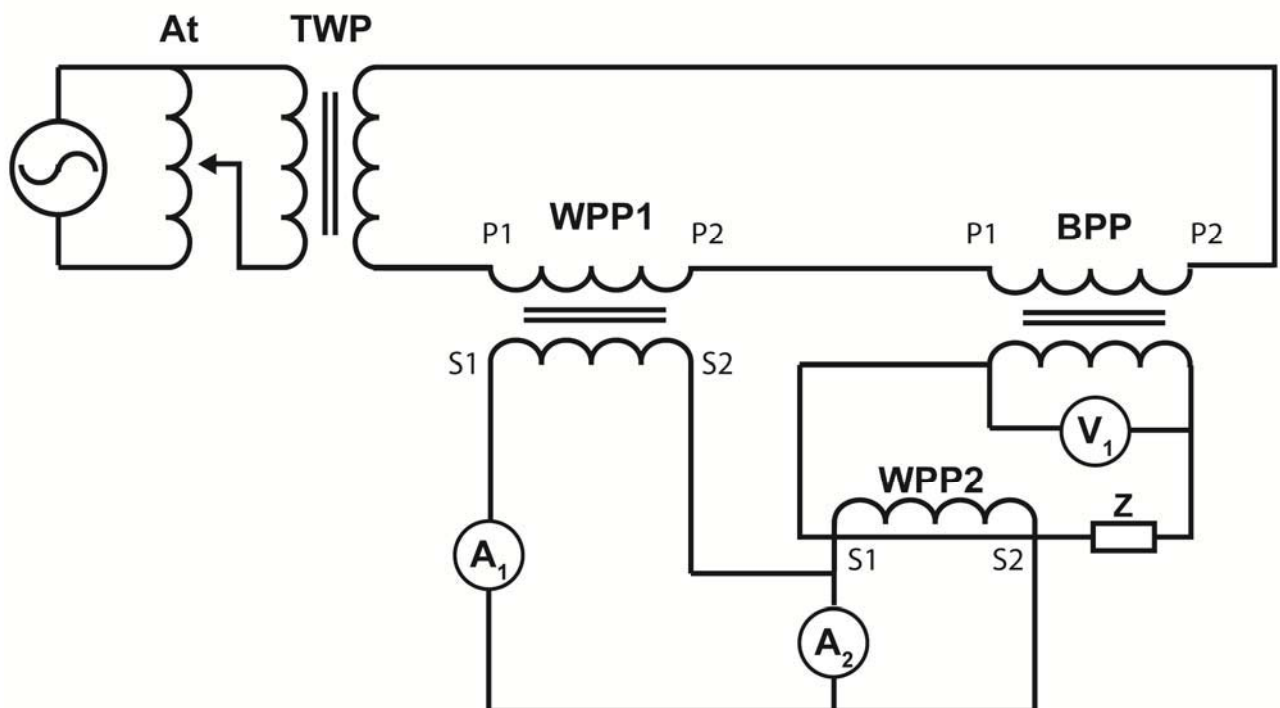
3. Badania laboratoryjne

3.1. Badane indukcyjne przekładniki prądowe do zabezpieczeń

Należy zanotować dane znamionowe badanych przekładników i przekładników wzorcowych.

3.2. Metoda wyznaczania błędu całkowitego z przekładnikami wzorcowym

Wyznaczyć błąd całkowity badanego przekładnika prądowego względem przekładnika wzorcowego i określić wartość współczynnika ALF.



BPP - badany przekładnik prądowy, WPP1/2 - wzorcowy przekładnik prądowy 1/2, A1, A2 - amperomierze 1/2, V1 - woltomierz, Z - obciążenie uzwojenia wtórnego badanego przekładnika, At - autotransformator, TWP - transformator prądowy.

Warunkami poprawnej pracy układu pomiarowego:

- prąd znamionowy wzorcowego przekładnika prądowego $WPP1$ jest równy znamionowemu granicznemu prądowi pierwotnemu badanego przekładnika prądowego,
- iloczyn przekładni znamionowej przekładnika badanego i przekładnika wzorcowego $WPP2$ jest równy przekładni znamionowej przekładnika wzorcowego $WPP1$.
- dla prądu pierwotnego badanego przekładnika o wartości znamionowej wartość skuteczna napięcia U_I wskazywanego przez woltomierz V_I jest równa ilorazowi jego znamionowej mocy pozornej S_{zn} i znamionowego prądu wtórnego I_{2zn} :

$$U_I = \frac{S_{zn}}{I_{2zn}} \quad (6)$$

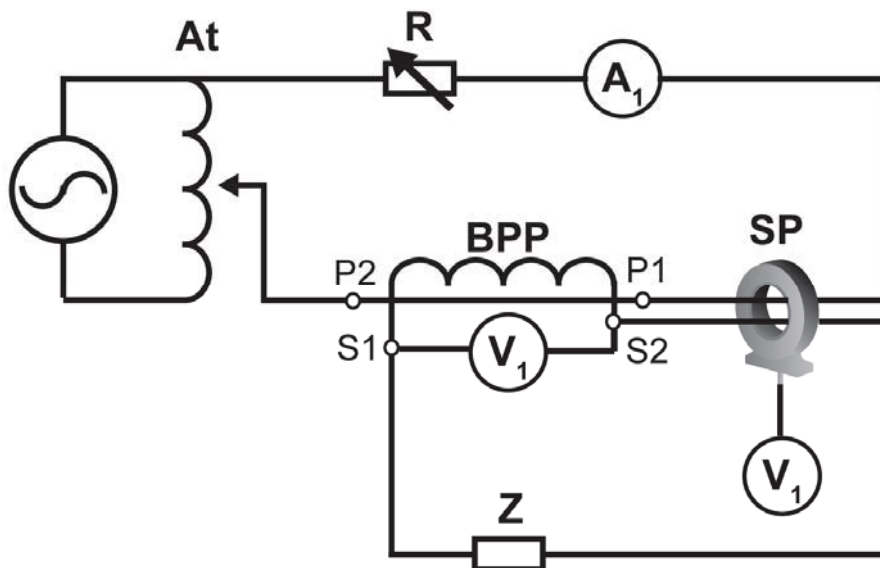
Procentowa wartość błędu całkowitego obliczana jest na podstawie zależności:

$$\varepsilon_c = \frac{I_{A2}}{I_{A1}} \cdot 100\% \quad (7)$$

Według zależności (1) obliczyć wartości współczynnika ALF. Określić znormalizowaną wartość współczynnika ALF dla zadanej klasy dokładności badanego przekładnika.

3.3. Metoda wyznaczania błędu całkowitego w warunkach amperozwojów znamionowych

Schematu układu pomiarowego do wyznaczania błędu całkowitego przetworzonego prądowego w warunkach amperozwojów znamionowych:



BPP - badany przetworzony przekładnik prądowy, SP - sonda prądowa o współczynniku przetwarzania prąd-napięcie $k_{SP} = 1$, Z - obciążenie uzwojenia wtórnego badanego przekładnika, A_1 - amperomierz, V_1 - woltomierz, At - autotransformator.

Procentowa wartość błędu całkowitego obliczana jest na podstawie zależności:

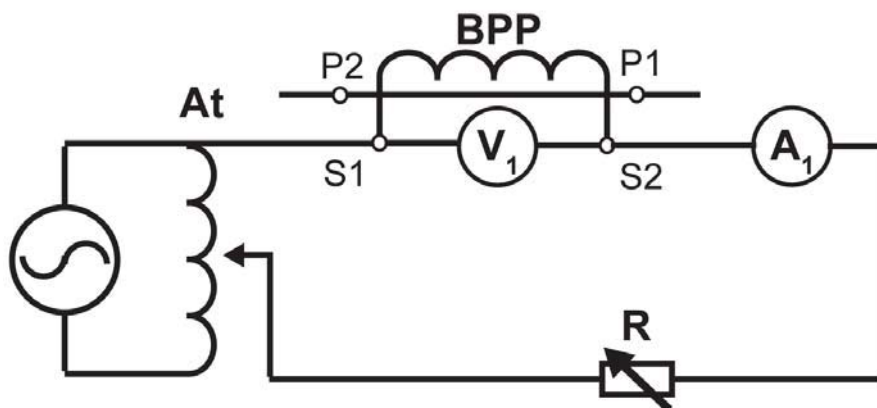
$$\varepsilon_c = \frac{k_{SP} \cdot U_{V1}}{I_{A1}} \cdot 100\% \quad (8)$$

Wyznaczyć wartości skuteczne prądu pierwotnego, dla których błąd całkowity badanego indukcyjnego przekładnika prądowego do zabezpieczeń wynosi 5% i 10% przy obciążeniu uzwojenia wtórnego o wartościach 150%, 100% i 50% obciążenia znamionowego. Podczas pomiarów dla znamionowego prądu pierwotnego badanego przekładnika prądowego wartość skuteczna napięcia wskazywanego przez woltomierz V_1 musi być równa wartości wynikającej z ilorazu wymaganej podczas badań wartości mocy pozornej obciążenia uzwojenia wtórnego i znamionowego prądu wtórnego.

Według zależności (1) obliczyć wartości współczynnika ALF. Określić znormalizowaną wartość współczynnika ALF przy założeniu klas dokładności 5P i 10P (Tab.1).

3.4. Metoda pośrednia

Wyznaczyć wartości skuteczne prądu pierwotnego, dla których błąd całkowity badanego indukcyjnego przekładnika prądowego do zabezpieczeń wynosi 5% i 10% przy obciążeniu uzwojenia wtórnego o wartościach 150%, 100% i 50% obciążenia znamionowego. Schemat układu pomiarowego do wyznaczania błędu całkowitego przekładnika prądowego metoda pośrednią:



BPP - badany przekładnik prądowy, A_1 - amperomierz, V_1 - woltomierz, R - regulowany rezystor ograniczający prąd, At - autotransformator.

Rezystancję uzwojenia wtórnego R_2 badanego indukcyjnego przekładnika prądowego zmierzyć mostkiem Wheatstone'a. Wartość reaktancji rozproszenia uzwojenia wtórnego X_{2r} rozmieszczonego równomiernie na całym rdzeniu toroidalnym przekładnika prądowego przyjąć $0,1 R_2$.

Wartości rezystancji R_0 i reaktancji X_0 obliczyć dla obciążeniu uzwojenia wtórnego Z o wartościach 150%, 100% i 50% obciążenia znamionowego badanych przekładników prądowych do zabezpieczeń przy założonym współczynniku mocy 0,8. Podczas pomiarów dla znamionowego prądu pierwotnego badanego przekładnika prądowego wartość skuteczna napięcia wskazywanego przez woltomierz V_1 musi być równa wartości wynikającej z ilorazu

wymaganej podczas badań wartości mocy pozornej obciążenia uzwojenia wtórnego i znamionowego prądu wtórnego.

Wtórnią graniczną siłą elektromotoryczną dla danego obciążenia Z_0 przekładnika obliczyć na podstawie zależności (5).

Podczas pomiarów należy zmierzyć wartość skuteczną prądu płynącego w obwodzie wtórnym przekładnika prądowego I_{A1} podczas, gdy przy rozwartym uzwojeniu pierwotnym jest on zasilony przez autotransformator od strony wtórnej. Wartość napięcia zasilającego należy ustawić tak, aby woltomierz włączony między zaciski uzwojenia wtórnego wskazywał wartość skuteczną napięcia równą obliczonej wartości wtórnej granicznej siły elektromotorycznej.

Błąd całkowity obliczyć na podstawie zależności:

$$\varepsilon_c = \frac{I_{A1}}{I_{2zn} \cdot ALF} \cdot 100\% \leq 5\%(10\%) \quad (9)$$

O spełnieniu wymagania normy w zakresie znormalizowanej wartości współczynnika ALF badanego przekładnika o znamionowym prądzie wtórnym o wartości I_{2zn} świadczy nie przekroczenie przez błąd całkowity ε_c dopuszczalnej wartości wynikającej z normy PN-EN 61869- dla zadanej klasy dokładności.

4. Opracowanie wyników pomiarowych

Zgodnie z normą PN-EN 61869-2 określić znormalizowaną wartość współczynnika ALF badanego przekładnika na podstawie wyników pomiarów błędu całkowitego otrzymanych za pomocą poszczególnych metod. Scharakteryzować i porównać zastosowane metody pomiarowe oraz otrzymane wyniki. Określić wpływ zastosowanej metody pomiarowej na wyznaczoną wartość znormalizowanego współczynnika ALF . Opisać w jaki sposób obciążenie uzwojenia wtórnego badanego indukcyjnego przekładnika prądowego do zabezpieczeń wpływa na wartość wyznaczonego współczynnika ALF i jakie zagrożenia może to spowodować.