

XIV Seminarium

ZASTOSOWANIE KOMPUTERÓW W NAUCE I TECHNICIE' 2004

Oddział Gdański PTETiS

**WYKORZYSTANIE PROGRAMU LabVIEW DO WYZNACZANIA
PRĄDÓW ZWARCIOWYCH W SIECIACH
ELEKTROENERGETYCZNYCH**

Ryszard WEPA¹, Ryszard ROSKOSZ², Michał ZIÓŁKO³

Politechnika Gdańska, ul. G. Narutowicza 1,12, 80-952 Gdańsk

Tel: (58) 347 2845 fax: (058) 347 1726

e-mail: 1. rwepa@ely.pg.gda.pl 2. rroskosz@ely.pg.gda.pl 3. mziolko@ely.pg.gda.pl

W artykule przedstawiono sposób wyznaczania prądów zwarciovych przy pomocy programów obliczeniowych stworzonych w LabVIEW. Dzięki tym programom upraszcza się tok obliczeń i zwiększa się ich efektywność. Powstały, w oparciu o te programy, przyrząd wirtualny umożliwia nastawę różnych parametrów układu elektroenergetycznego, obliczanie pośrednich wartości (np. składowych symetrycznych), a następnie obliczanie prądów zwarciovych dla różnych typów zwarcí.

1. WPROWADZENIE

Obliczanie i analiza zwarcí w sieciach elektroenergetycznych jest jednym z podstawowych zagadnień praktyki projektowej i eksploatacyjnej. Z tego powodu wciąż są one przedmiotem badań i studiów o czym świadczy fakt, że w ramach IEC (Międzynarodowa Komisja Elektrotechniczna - International Electrotechnical Commission) działa Komitet Techniczny nr 73 zajmujący się problematyką zwarciovą. Składa się on z dwóch grup roboczych, z których pierwsza zajmuje się problematyką obliczeniową, a druga skutkami przepływu prądów zwarciovych.

Znajomość prądów zwarciovych ma na celu poznanie skutków ich występowania, jest niezbędna przy projektowaniu, budowie, rozbudowie i prowadzeniu ruchu sieci elektrycznej oraz określeniu parametrów różnych elementów systemu elektroenergetycznego.

Stosowane sposoby rozwiązywania zagadnień zwarciovych są trudne z powodu dużej liczby przekształceń i obliczeń. Obliczenia są skomplikowane i uciążliwe.

Przy rozwiązywaniu większości praktycznych zadań związanych z wyznaczaniem podstawowych wielkości zwarciovych stosuje się szereg założeń upraszczających np.: pomijanie nasycenia układów magnetycznych (umożliwia linearyzację), założenie symetrii układu trójfazowego, pomijanie przewodności pojemnościowej, pomijanie prądów magnetycznych transformatorów, uwzględnienie obciążeń w sposób przybliżony, pomijanie rezystancji w sieciach najwyższych napięć, uwzględnianie w sposób przybliżony współczynników transformacji, założenie stałych obrotów generatora itp.

W niniejszym opracowaniu podano sposób obliczania prądów zwarciovych w sieci trójfazowej [1, 2]. Zostanie to przedstawione na konkretnym przykładzie obliczania zwarć dla wybranego fragmentu sieci elektroenergetycznej.

Obliczenia zostaną wykonane sposobem tradycyjnym, a następnie przedstawiony zostanie stworzony do tego celu przyrząd wirtualny (wg definicji podanej przez National Instruments USA) wykorzystujący zintegrowane środowisko LabVIEW [3]. Umożliwi on wykonanie obliczeń zwarciovych dla różnych konfiguracji sieci i dowolnych nastaw parametrów.

2. SCHEMAT ZASTĘPCZY SIĘCI ELEKTROENERGETYCZNEJ

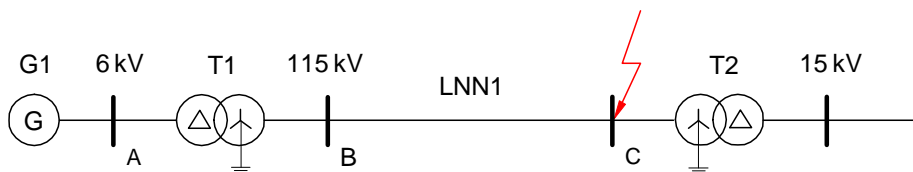
Schemat zastępczy elementu sieci elektroenergetycznej (jako model matematyczny) [1] jest utworzony z impedancji i admitancji, których sposób połączenia i wartości wynikają z relacji matematycznych opisujących stan pracy elementów i pozostają niezmiennie we wszystkich stanach pracy. Z powodu stałości, impedancje i admitancje są nazywane parametrami danego elementu sieci.

Cecha parametru wynika z przyjęcia dwóch założeń:

- w sieci występują jedynie przebiegi o ustalonej częstotliwości znamionowej 50 Hz lub bliskiej znamionowej,
- elementy sieci mają charakterystyki liniowe, czyli są elementami liniowymi.

Dalszym założeniem jest symetria fazowa sieci trójfazowej, która umożliwia reprezentację jednofazową sieci trójfazowej. Założenia symetrii i liniowości sieci umożliwiają stosowanie w obliczeniach przekształcenia sieci trójfazowej ze sprzężeniami elektromagnetycznymi pomiędzy obwodami fazowymi na trzy prostsze sieci składowych symetrycznych: zgodnej, przeciwnej i zerowej. Jeżeli obciążenie mocowe sieci jest symetryczne, to składowe przeciwne i zerowe wszystkich prądów i napięć są równe zero i stan elektryczny sieci trójfazowej można wyznaczyć wyłącznie ze stanu elektrycznego sieci dla składowej zgodnej. Prądy i napięcia sieci składowej zgodnej są równe prądom i napięciom fazy pierwszej w sieci trójfazowej. Pozwala to ograniczyć obliczenia do jednej fazy i stosowania schematów zastępczych fazowych. Schematy i parametry dla składowej przeciwnej i zerowej do obliczania zwarć niesymetrycznych są zwykle odnoszone do schematów i parametrów dla składowej zgodnej.

W celu przedstawienia sposobu obliczeń zwarciovych przyjęto fragment sieci przedstawiony na rysunku 1 (system elektroenergetyczny typu SEE1 o $S_z = 4$ GVA, $U_n = 110$ kV). Dla tego fragmentu zostanie obliczony metodą klasyczną początkowy prąd zwarciovowy dla zwarcia trójfazowego, dwufazowego i jednofazowego w rozdzielni C.



Rys. 1. Fragment systemu sieci elektroenergetycznej

Dane elementów sieci:

Generator G1: typ TGH - 10-01, $S_n = 12,5$ MVA, $P_n = 10$ MW, $U_n = 6,3$ kV,

Transformatory: T1- typ TORb16000/110: $S_n = 16$ MVA, $\vartheta_n^1 = 115/6,3$ kV/kV,
grupa połączeń Yd11, $u_z = 11\%$, $X_0 = 0,85X_1$,

T2- typ TORb25000/110: $S_n = 25$ MVA, $\vartheta_n^2 = 115/15,75$ kV/kV,
grupa połączeń Yd11, $u_z = 11\%$, $X_0 = 0,85X_1$,

Linia napowietrzna LNN1: typ ALF-6 240, $U_n = 110$ kV, liczba torów 1, liczba przewodów
odgromowych - 2, $s = 240$ mm², $X_l = 0,405$ Ω/km, $l = 50$ km.

Obliczenia wykonane zostaną metodą tradycyjną oraz przy pomocy przyrządów wirtualnych stworzonych w programie LabVIEW.

3. OBLICZENIA PARAMETRÓW OBWODU ZWARCIOWEGO

3.1. Obliczenie reaktancji zastępczej obwodu zwarcia dla składowej zgodnej

Reaktancje elementów sieci zostały sprowadzone na stronę napięcia 115 kV.

a) reaktancja generatora

wartości reaktancji $X_{G1(1)}$ oblicza się z zależności

$$X_{G1(1)} = \frac{x_d'' \cdot U_{nG1}^2}{100 \cdot S_{nG1}} \cdot \vartheta_{T1}^2 = \frac{13,1 \cdot (6,3 \cdot 10^3)^2}{100 \cdot 12,5 \cdot 10^6} \cdot \left(\frac{115 \cdot 10^3}{6,3 \cdot 10^3} \right)^2 = 138,60 \text{ } \Omega \quad (1)$$

b) reaktancje transformatorów X_T

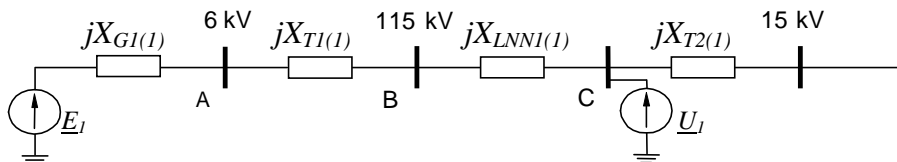
$$X_{T1(1)} = \frac{\Delta u_{z\%} \cdot U_{nGT1}^2}{100 \cdot S_{nT1}} \cdot \vartheta_{T1}^2 = \frac{11 \cdot (6,3 \cdot 10^3)^2}{100 \cdot 16 \cdot 10^6} \cdot \left(\frac{115 \cdot 10^3}{6,3 \cdot 10^3} \right)^2 = 90,90 \text{ } \Omega \quad (2)$$

$$X_{T2(1)} = \frac{\Delta u_{z\%} \cdot U_{nGT2}^2}{100 \cdot S_n} = \frac{11 \cdot (115 \cdot 10^3)^2}{100 \cdot 25 \cdot 10^6} = 58,20 \text{ } \Omega \quad (3)$$

c) reaktancja linii napowietrznej

$$X_{LNN1(1)} = X'_{1LNN1} \cdot l_{LNN1} = 0,405 \cdot 50 = 20,25 \text{ } \Omega \quad (4)$$

W wyniku powyższych obliczeń powstaje schemat zastępczy obwodu zwarcia dla składowej zgodnej X_1 .



Rys. 2. Schemat zastępczy obwodu zwarcia dla składowej zgodnej

Wartość reaktancji zastępczej dla składowej zgodnej X_1 obliczona z punktu widzenia miejsca zwarcia wynosi

$$X_1 = X_{G1(1)} + X_{T1(1)} + X_{LNN1(1)} = 138,60 + 90,90 + 20,25 = 249,75 \ \Omega \quad (5)$$

Wartość reaktancji $X_{T2(1)}$ nie została uwzględniona w obliczeniach, ponieważ bezpośrednio za transformatorem T2 znajdują się odbiory i w związku z tym obwód składowej zgodnej nie jest zamknięty.

3.2. Obliczenie reaktancji zastępczej obwodu zwarciovego dla składowej przeciwnej

Podobnie jak w punkcie poprzednim wyznacza się parametry obwodu zwarciovego dla składowej przeciwnej:

a) reaktancja generatora $X_{G1(2)}$

$$X_{G1(2)} = \frac{x_{2\%} \cdot U_{nG1}^2}{100 \cdot S_n} \cdot \vartheta_{T1}^2 = \frac{16 \cdot (6,3 \cdot 10^3)^2}{100 \cdot 12,5 \cdot 10^6} \cdot \left(\frac{115 \cdot 10^3}{6,3 \cdot 10^3} \right)^2 = 169,30 \ \Omega \quad (6)$$

b) reaktancje transformatorów

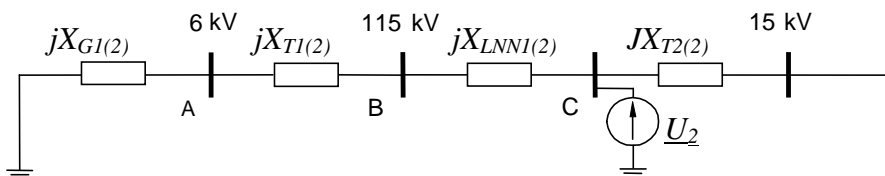
$$X_{T1(2)} = X_{T1(1)} = \frac{\Delta u_{z\%} \cdot U_{nGT1}^2}{100 \cdot S_n} \cdot \vartheta_{T1}^2 = \frac{11 \cdot (6,3 \cdot 10^3)^2}{100 \cdot 16 \cdot 10^6} \cdot \left(\frac{115 \cdot 10^3}{6,3 \cdot 10^3} \right)^2 = 90,90 \ \Omega \quad (7)$$

$$X_{T2(2)} = X_{T2(1)} = \frac{\Delta u_{z\%} \cdot U_{nGT2}^2}{100 \cdot S_n} = \frac{11 \cdot (115 \cdot 10^3)^2}{100 \cdot 25 \cdot 10^6} = 58,20 \ \Omega \quad (8)$$

c) reaktancja linii napowietrznej

$$X_{LNN1(2)} = X_{LNN1(1)} = X'_{LNN1} \cdot I_{LNN1} = 0,405 \cdot 50 = 20,25 \ \Omega \quad (9)$$

Mając obliczone powyższe parametry sporządza się schemat zastępczy obwodu zwarciovego dla składowej przeciwnej i wyznacza wartość reaktancji zastępczej dla składowej przeciwnej X_2 .



Rys. 3. Schemat zastępczy obwodu zwarciovego dla składowej przeciwnej

Wartość reaktancji zastępczej dla składowej przeciwnej X_2 obliczona z punktu widzenia miejsca zwarcia wynosi

$$X_2 = X_{G1(2)} + X_{T1(2)} + X_{LNN1(2)} = 169,30 + 90,90 + 20,25 = 280,45 \ \Omega \quad (10)$$

Wartość reaktancji zastępczej dla składowej przeciwnej X_2 różni się od reaktancji zastępczej X_1 tylko wartością reaktancji generatora $X_{G1(2)}$.

3.3. Obliczanie reaktancji zastępczej obwodu zwarciovego dla składowej zerowej

Parametry obwodu zwarciovego dla składowej zerowej wynoszą:

a) reaktancja generatora X_{G0} - obliczona na podstawie zależności

$$X_{G0} = \frac{x_{0\%} \cdot U_n^2}{100 \cdot S_n} \quad (11)$$

Reaktancje X_{G0} oblicza się wtedy, gdy za generatorem zasilającym zwarcie znajduje się transformator o uzwojeniach pierwotnych połączonych w gwiazdę. Gdy uzwojenia transformatora poprzedzającego generator połączone są w trójkąt, to prąd składowej zerowej nie płynie przez generator i reaktancja X_{G0} nie wchodzi do obwodu zwarciovego ($X_{G0} = 0$). Natomiast rezystancję R_{G0} w praktycznych obliczeniach pomija się.

b) reaktancje transformatorów

Wartości reaktancji $X_{T1(0)}$ i $X_{T2(0)}$ określone są przez wytwórcę transformatorów i wynoszą odpowiednio:

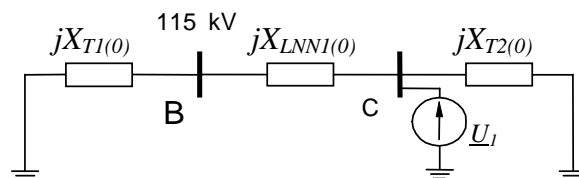
$$\begin{aligned} X_{T1(0)} &= 0,85 \cdot X_{T1(1)} = 0,85 \cdot 138,60 = 77,26 \ \Omega \\ X_{T2(0)} &= 0,85 \cdot X_{T2(1)} = 0,85 \cdot 138,60 = 77,26 \ \Omega \end{aligned} \quad (12)$$

c) reaktancja linii napowietrznej

Wartość reaktancji $X_{L(0)}$ zależy przede wszystkim od budowy linii, liczby przewodów odgromowych, własności gruntu i jest wielokrotnością reaktancji $X_{L(1)}$

$$X_{LNN1(0)} = X'_{0LNN1} \cdot l_{LNN1} = 1,341 \cdot 50 = 67,05 \ \Omega \quad (13)$$

Na podstawie powyższych obliczeń stworzony został schemat zastępczy obwodu zwarciovego dla składowej zerowej (rys. 4), co pozwala wyznaczyć wartość reaktancji zastępczej dla składowej zerowej X_0 .



Rys. 4. Schemat zastępczy obwodu zwarciovego dla składowej zerowej

$$X_0 = \frac{(X_{T1(0)} + X_{LNN1(0)}) \cdot X_{T2(0)}}{X_{T1(0)} + X_{T2(0)} + X_{LNN1(0)}} X_0 = \frac{(77,26 + 67,05) \cdot 49,05}{77,26 + 49,46 + 67,05} = 36,84 \ \Omega \quad (14)$$

Po obliczeniu reaktancji zastępczych dla obwodów zwarciovych poszczególnych składowych wyznacza się wartości początkowych prądów zwarciovych.

3.4. Obliczenie prądów zwarciovych

Prąd zwarcia jednofazowego bezpośredniego wyznacza się z zależności

$$I_{k1}'' = \frac{1,1 \cdot \sqrt{3} \cdot U_n}{|\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 + \underline{Z}_0|} \quad (15)$$

gdzie: U_n – napięcie fazowe sieci, \underline{Z}_1 , \underline{Z}_2 , \underline{Z}_0 – impedancje zastępcze obwodu zwarciovego dla składowych symetrycznych: zgodnej, przeciwnej i zerowej.

Przy obliczaniu impedancji zastępczych obwodu zwarciovego pominięto rezystancje elementów układu, a uwzględniono tylko reaktancje składowych symetrycznych (X_1 , X_2 , X_0). Stąd wartość prądu zwarcia wynosi

$$I_{k1}'' = \frac{1,1 \cdot \sqrt{3} \cdot U_n}{X_1 + X_2 + X_0} = \frac{1,1 \cdot \sqrt{3} \cdot (115 \cdot 10^3)}{249,75 + 280,45 + 36,84} = 386,00 \ \text{A} \quad (16)$$

Prąd zwarcia dwufazowego bezpośredniego wyznacza się z zależności

$$I_{k2}'' = \frac{1,1 \cdot U_n}{|\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2|} = \frac{1,1 \cdot U_n}{X_1 + X_2} = \frac{1,1 \cdot (115 \cdot 10^3)}{249,75 + 280,45} = 238,60 \ \text{A} \quad (17)$$

Prąd zwarcia trójfazowego bezpośredniego

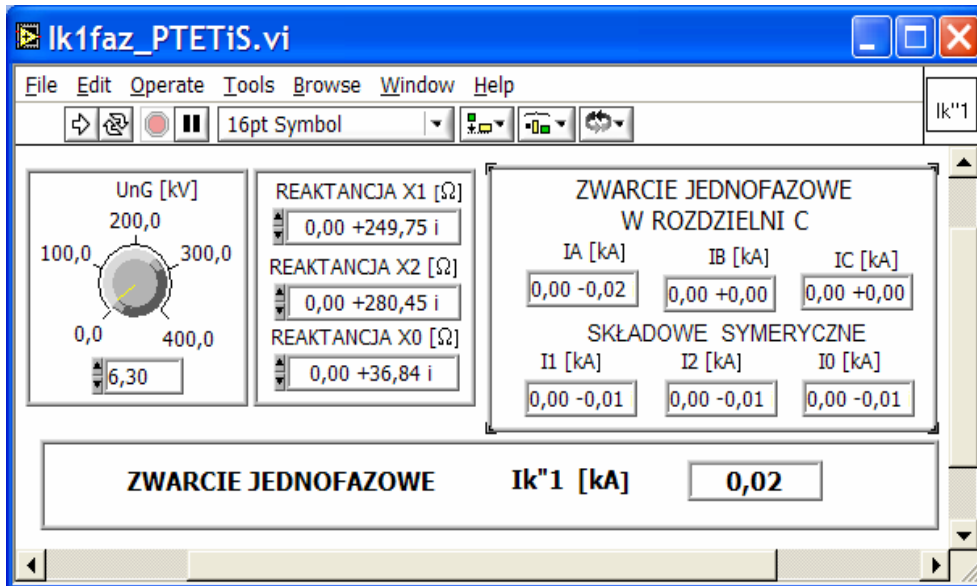
$$I_k'' = \frac{1,1 \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot X_1} = \frac{1,1 \cdot (115 \cdot 10^3)}{\sqrt{3} \cdot 249,75} = 292,40 \ \text{A} \quad (18)$$

4. PRYZRĄD WIRTUALNY DO OBLICZEŃ ZWARCIOWYCH

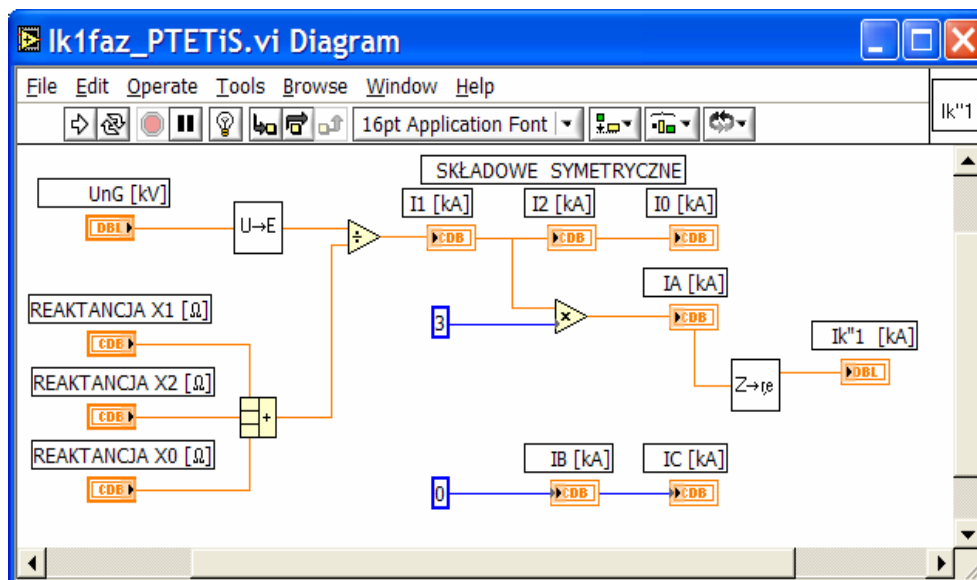
Przedstawione w punkcie 3 obliczenia można realizować za pomocą stworzonych do tego celu przyrządów wirtualnych. Każdy z nich realizuje jedną z następujących funkcji:

- wyznaczanie napięcia E_l w miejscu zwarcia przed zaistnieniem zwarcia,
- wyznaczanie reaktancji generatora X_{GEN} ,
- wyznaczanie reaktancji transformatora jednofazowego $X_{TRAF01F}$,
- wyznaczanie reaktancji transformatora trójfazowego $X_{TRAF03F}$,
- wyznaczanie reaktancji linii napowietrznej X_{LNN} ,

- wyznaczanie reaktancji autotransformatora $X_{AUTOTRAFO}$,
- wyznaczanie reaktancji systemu elektroenergetycznego X_{SEE} ,
- wyznaczanie poszczególnych prądów zwarcia: trójfazowego, dwufazowego i jednofazowego w rozdzielni C.



Rys. 5. Panel przyrządu wirtualnego do wyznaczania prądu zwarcia jednofazowego

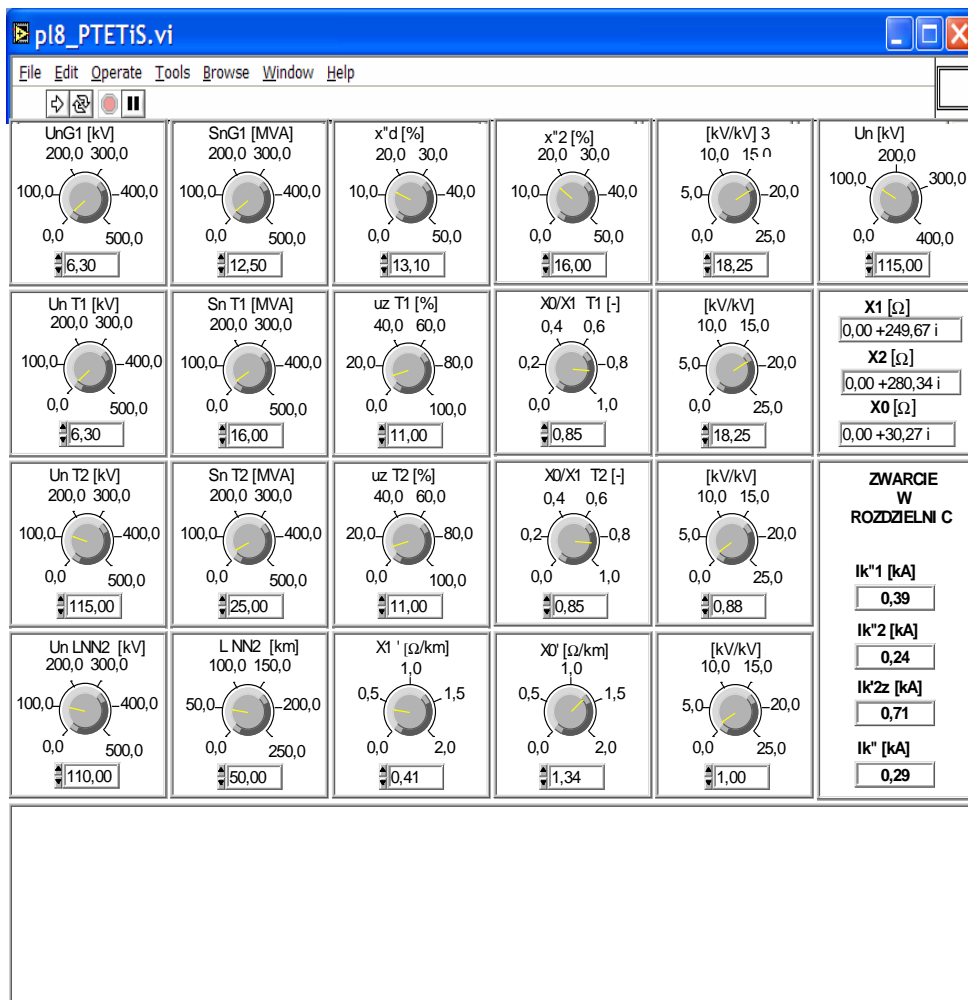


Rys. 6. Diagram przyrządu wirtualnego do wyznaczania prądu zwarcia jednofazowego

Na rysunkach 5 i 6 przedstawiony został przykład przyrządu wirtualnego do obliczania prądu zwarcia jednofazowego. Na panelu (rys. 5) nastawiane są parametry obwodu i przedstawiane wyniki obliczeń, które wykonuje program.

Obliczenia pozostałych wielkości obwodu zwarcowego, wyznaczone w punkcie 3, wykonują stworzone w tym celu odpowiednie przyrządy wirtualne.

Ponieważ programy w LabVIEW są tworzone w sposób hierarchiczny, zatem każdy przyrząd wirtualny może zostać użyty w innym układzie jako podprogram. Podprogram uruchamia się oddzielnie. Łącząc poszczególne podprogramy tworzy się przyrząd wirtualny (rys. 7) o modułowej strukturze, która umożliwia łatwe usuwanie ewentualnych błędów i uruchamianie całego programu. Powstały w ten sposób przyrząd umożliwia z poziomu panelu zamodelowanie wszystkich układów sieci odbiorczych.



Rys. 7. Panel sterowania diagramem do wyznaczania prądów zwarciovych

Nastawy wartości parametrów elementów sieci systemu elektroenergetycznego dokonuje się na panelu przy pomocy oznaczonych elementów:

- generator G1,
- transformatory: T1 i T2,
- linia napowietrzna LNN1.

Wartości parametrów można nastawiać płynnie potencjometrem lub wpisywać ich wartości liczbowe. Na panelu znajdują się wyświetlacze, które pokazują wartości obliczonych prądów zwarcia (punkt 3,4):

- I''_{k1} - prąd zwarcia jednofazowego bezpośredniego,
- I''_{k2} - prąd zwarcia dwufazowego bezpośredniego,
- I''_k - prąd zwarcia trójfazowego bezpośredniego,

Wyświetlane są również obliczone wartości reaktancji zastępczych składowych symetrycznych (X_1, X_2, X_0) obwodu zwarciego.

5. WNIOSKI

1. Przedstawiony w niniejszym opracowaniu sposób wykorzystania przyrządu wirtualnego stworzonego w LabVIEW do wyznaczania prądów zwarciovych w sieciach elektroenergetycznych jest łatwy w praktycznym stosowaniu i pozwala na znaczne skrócenie czasu operacji obliczeniowych.
2. Podany sposób obliczeń przy pomocy przyrządów wirtualnych jest bardzo przydatny przy wyznaczaniu rozptywu prądów zwarciovych podczas projektowania układów sieci.
3. Powyższy przyrząd wirtualny umożliwia również określenie wartości współczynników asymetrii prądowej i napięciowej [4, 5] w układach i sieciach elektroenergetycznych podczas zwarć. Jest to przydatne przy projektowaniu zabezpieczeń od asymetrii obciążenia [6].
4. Wprowadzając niezbędne zmiany w przyrządzie wirtualnym do obliczania prądów zwarciovych, można stworzyć przyrząd do lokalizacji miejsca zwarcia w linii trójprzewodowej jednotorowej wykorzystując metodę dwustronnego pomiaru składowych zerowych dla linii jednotorowej [7,8].
5. Wykorzystanie komputerowych programów LabVIEW do obliczania zwarć jest cenną pomocą dydaktyczną podczas wykładu oraz w czasie prowadzenia ćwiczeń laboratoryjnych.

6. BIBLIOGRAFIA

1. Kacejko P., Machowski J.: Zwania w sieciach elektroenergetycznych – podstawy obliczeń. WNT. Warszawa 1993.
2. Jackowiak M., Lubośny Z., Wojciechowicz W.: Zbiór zadań z obliczeń prądów zwarciovych w sieciach elektroenergetycznych. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej. Gdańsk 1995.

3. Wepa R., Roskosz R.: Wykorzystanie programu LabVIEW do wyznaczania wielkości elektrycznych w układach trójfazowych. Materiały Konferencyjne. XI Międzynarodowe Seminarium Metrologów „Metody i Technika Przetwarzania Sygnałów w Pomiarach Fizycznych” Rzeszów 2003. Politechnika Rzeszowska, Zakład Metrologii i Systemów Pomiarowych.
4. Wepa R.: Zastosowanie techniki wirtualnej w badaniu asymetrii obciążenia układów trójfazowych. Materiały Konferencyjne. V Konferencja Naukowo-Techniczna " Jakość energii elektrycznej i wyrobów elektrotechnicznych" JAWÉ'99. Piechowice 1999. Pol. Lubelska.
5. Wepa R., Roskosz R.: Wykorzystanie programu LabVIEW do wyznaczania współczynników asymetrii prądu i napięcia w sieciach elektroenergetycznych. Materiały Konferencyjne. XI Międzynarodowe Seminarium Metrologów „Metody i Technika Przetwarzania Sygnałów w Pomiarach Fizycznych” Rzeszów 2003. Politechnika Rzeszowska, Zakład Metrologii i Systemów Pomiarowych.
6. Żydanowicz J.: Elektroenergetyczna automatyka zabezpieczeniowa. T 2. Warszawa, WNT 1985.
7. Szczerski R.: Lokalizacja uszkodzeń w sieciach elektroenergetycznych. WNT. Warszawa 1990.
8. Zieliński P.: Modelowanie zwarć w sieciach elektroenergetycznych przy użyciu przyrządów wirtualnych. Praca dyplomowa inżynierska wykonana w Katedrze Miernictwa Elektrycznego PG pod kierunkiem dr inż. R. Wepy. Gdańsk 2003.

APPLICATION OF THE LabVIEW PROGRAM FOR DETERMINATION OF SHORT-CIRCUIT CURRENT IN ELECTRICAL POWER SYSTEMS

The paper presents the problems relating to determination the short-circuit currents using software created in LabVIEW of National Instruments. The software enables calculation of the impedance sequence components and short-circuit currents in three phase power systems.

Examples of calculation of the typical short-circuit currents for different setting values of the three phase power system parameters in the form of virtual instruments are given.