

Estymacja parametrów składowej podstawowej prądu wtórnego przekładnika prądowego odkształconego na skutek nasycenia rdzenia magnetycznego

Streszczenie. W artykule przedstawiono nowy algorytm do estymacji parametrów składowej podstawowej sygnału prądu wtórnego przekładnika prądowego zniekształconego na skutek nasycenia rdzenia magnetycznego. Opisany algorytm został zaprojektowany przy użyciu innowacyjnej metodologii, w której pobrane próbki prądu wtórnego traktowane są jako współrzędne wektora umieszczonego w trójwymiarowej przestrzeni. Badania symulacyjne wykonane z wykorzystaniem ATP/EMTP potwierdzają dużą skuteczność proponowanego algorytmu.

Abstract. In the paper a new algorithm is described that is intended for estimation of fundamental component parameters of the distorted secondary CT current due to magnetic core saturation. The algorithm presented was derived with use of the innovative methodology where the current samples measured are treated as components of three-dimensional space vector. Simulative investigations with use of ATP/EMTP package confirm high efficiency of the proposed algorithm. (*Estimation of the fundamental component parameters of the secondary CT current distorted due to magnetic core saturation*).

Słowa kluczowe: przekładnik prądowy, nasycenie rdzenia magnetycznego, rekonstrukcja prądu wtórnego, estymacja.

Keywords: current transformer, magnetic core saturation, secondary current reconstruction, estimation.

doi:10.12915/pe.2014.03.10

Wstęp

Systemy zabezpieczeń i sterowania nadzorują pracę systemu elektroenergetycznego, podejmując, jeżeli to konieczne, działania dla zapewnienia wysokiej niezawodności jego funkcjonowania i ciągłości dostawy energii do odbiorców. Układy te podejmują decyzje o działaniu na podstawie wartości prądów i napięć, które są mierzone po wtórnej stronie przekładników prądowych lub napięciowych, gdyż wartości pierwotne nie są bezpośrednio dostępne. W celu zapewnienia poprawnej transformacji wielkości pierwotnych na wtórne stosuje się odpowiednie układy przekładników i je same również dobiera się według określonych kryteriów [1], [25]. Przykładowo, w przypadku przekładników prądowych najczęściej spotyka się przekładniki z pełnym rdzeniem magnetycznym typu TPX, który może ulec nasyceniu. Z reguły dobiera się przekładnik o odpowiednio dużym granicznym współczynniku dokładności (GWD) określającym maksymalną amplitudę składowej podstawowej prądu pierwotnego do jego wartości znamionowej, która jest jeszcze transformowana z wymaganą dokładnością. Niestety, wielkość ta nie uwzględnia składowej aperiodycznej prądu, która występuje zawsze po nagłej zmianie konfiguracji systemu, czy to na skutek zwarcia czy operacji łączeniowych, i która może w pewnych warunkach spowodować nasycenie rdzenia magnetycznego przekładnika prądowego, nawet jeżeli wartość składowej podstawowej prądu jest niższa niż maksymalna dopuszczalna [6]. Nasycenie rdzenia magnetycznego może również nastąpić na skutek wcześniejszego podmagnesowania rdzenia lub bardzo dużej wartości amplitudy składowej podstawowej prądu [2]–[5], [18]. W ostatnim przypadku można domniemywać, że został dobrany przekładnik o zbyt małym GWD. Niezależnie od przyczyny, na skutek nasycenia rdzenia przekładnika prądowego następuje wzrost wartości prądu magnesującego i odkształcenie prądu wtórnego, który nie niesie już dłużej wiarygodnej informacji o tym, co się dzieje w systemie, co z kolei może spowodować zaburzenie poprawnej pracy układów zabezpieczeń.

Wśród proponowanych metod mających wykrywać nasycenie przekładnika prądowego i zapobiegać jego skutkom można wyróżnić podejścia:

a) ograniczające się do blokowania działania układów zabezpieczeń lub sterowania w przypadku wykrycia, że

rdzeń przekładnika uległ nasyceniu i ich odblokowywaniu po wyjściu z nasycenia; wadą takiego rozwiązania jest brak lub znaczne opóźnienie działania zabezpieczeń przy kolejnych zakłóceniach [2];

b) rekonstruujące poprawny kształt zdeformowanych fragmentów prądu wtórnego w oparciu o znajomość parametrów przekładnika prądowego, co pozwala na wyznaczenie wartości strumienia magnetycznego wewnątrz rdzenia przekładnika i obliczenie na tej podstawie poprawnych wartości prądu wtórnego, [8]–[11];

c) rekonstruujące poprawny kształt zdeformowanych fragmentów prądu wtórnego z wykorzystaniem sztucznych sieci neuronowych [3], [4], [12]–[14]; wymagają one dużych zbiorów danych treningowych, [7] i [16];

d) estymujące parametry fazora prądu wtórnego na podstawie poprawnych wartości prądu zmierzonych w czasie, gdy rdzeń przekładnika prądowego nie był nasycony [2], [7], [8], [15], [17], [19]; to podejście wymaga jednak umiejętności poprawnego i dokładnego rozróżnienia w prądzie wtórnym fragmentów „zdrowych” i zniekształconych [2].

Większość znanych technik detekcji nasycenia rdzenia potrafi poprawnie określić jego początek ([8], [17] czy [19]), ale ma problemy z identyfikacją jego końca, [3] lub [20], zwłaszcza w przypadku indukcyjnego obciążenia przekładnika prądowego, [2], [3], [20]. Co więcej, działanie niektórych z tych metod (np. [8], [17]) zależy również od topologii systemu elektroenergetycznego.

Niniejszy artykuł proponuje nową metodę estymacji parametrów składowej podstawowej prądu wtórnego, która umożliwi jednoczesne usunięcie z prądu wtórnego składowej aperiodycznej i odbudowę jego zniekształconych fragmentów.

Proponowana metodologia

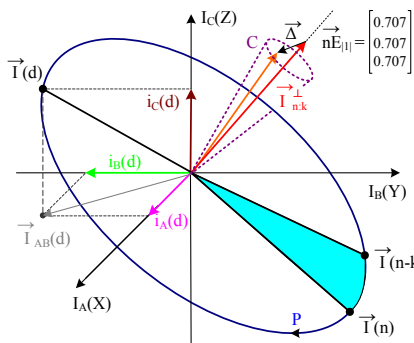
A. Analiza zjawisk zachodzących w systemie przy zastosowaniu trójwymiarowej przestrzeni kartezyjskiej

Nowa technika rekonstrukcji kształtu zdeformowanego wskutek nasycenia przekładnika prądu wtórnego została zaprojektowana według innowacyjnej metodologii rozwijanej przez autorów i nazwanej roboczo 3D Power System Protection Approach (3DPSPA). Wykorzystuje ona trójwymiarową przestrzeń kartezyjską do analizy zjawisk zachodzących podczas pracy systemu. Wartości mierzone

sygnałów fazowych są traktowane jako współrzędne trójwymiarowego wektora, zdefiniowanego następująco (tu – dla prądu):

$$(1) \quad \vec{I}(n) = \begin{bmatrix} i_{sA}(n) \\ i_{sB}(n) \\ i_{sC}(n) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_{sA} \cos(n\omega T_S + \varphi_A) \\ I_{sB} \cos(n\omega T_S + \varphi_B - 2\pi/3) \\ I_{sC} \cos(n\omega T_S + \varphi_C - 4\pi/3) \end{bmatrix}$$

Analizy i badania symulacyjne [21]-[24] wykazały, że koniec wektora prądu $\vec{I}(n)$ porusza się, zarówno w stanach normalnych jak i zakłóceń w systemie, wzdłuż zamkniętej linii w trójwymiarowej przestrzeni, jak to pokazano na rysunku 1.



Rys. 1. Trajektoria zakreślana przez wektor prądu (1) w przestrzeni trójwymiarowej

Każdemu ustalonemu stanowi pracy systemu odpowiada inna krzywa zamknięta (okrąg lub elipsa), której kształt i orientacja w przestrzeni są zadane przez wartości aktualnych parametrów, amplitud i faz początkowych składowych podstawowych sygnałów fazowych A, B i C, opisane przez ogólne równanie krzywej eliptycznej¹ w przestrzeni trójwymiarowej:

$$(2) \quad \left(\frac{i_{sA}(n) - x}{I_{sA}} \right)^2 + \left(\frac{i_{sB}(n) - y}{I_{sB}} \right)^2 + \left(\frac{i_{sC}(n) - z}{I_{sC}} \right)^2 = 1$$

w którym: $i_{sX}(n)$ i I_{sX} to prądy wtórne faz A, B i C oraz ich amplitudy, a parametry x , y i z określają przesunięcie elipsy (2) wzdłuż osi współrzędnych, odpowiednio I_A , I_B i I_C . Warto zwrócić w tym miejscu uwagę na fakt, że definicja wektora prądu (1) jest również równaniem parametrycznym elipsy względem czasu dyskretnego nT_p .

Równanie (2), zawierające jako zmienne wszystkie trzy prądy fazowe, prowadzi w dalszych analizach do bardzo skomplikowanych równań nieliniowych. Innym dużo prostszym podejściem jest zdefiniowanie zamiast jednego trójwymiarowego układu opartego o trzy sygnały prądu wtórnego trzech układów zawierających po jednym sygnale fazowym i dwóch wirtualnych teoretycznych sygnałów towarzyszących, w przypadku fazy A danego jak niżej:

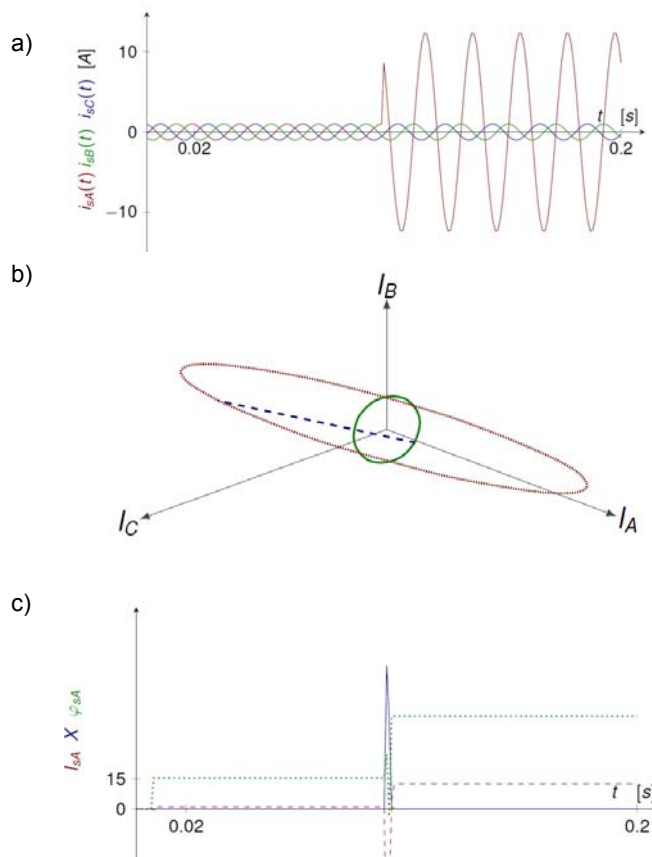
¹ Właściwie jest to równanie elipsoidy. Na jej przecięciu z płaszczyzną prostopadłą do aktualnego wektora $\vec{I}_n \perp k$, zaznaczonego na rys. 1, pojawia się jednoznacznie wyznaczona elipsa. Zdecydowano się na zastosowanie równań elipsoid do rozróżnienia od siebie poszczególnych elips, gdyż równania te są bardziej wiązkie.

$$(3) \quad \left(\frac{i_{sA}(n) - x}{I_{sA}} \right)^2 + \left(\frac{i_B(n)}{1} \right)^2 + \left(\frac{i_C(n)}{1} \right)^2 = 1$$

gdzie: $i_{sA}(n)$ i I_{sA} to sygnał prądu wtórnego w fazie A i jego amplituda, a $i_B(n)$ oraz $i_C(n)$ to towarzyszące teoretyczne sygnały odpowiadające prądom wtórnym w fazach B i C. Równania (1) i (3) pozwalają razem na określenie prostej i efektywnej metody estymacji parametrów I_{sA} , φ_{sA} i x , jedyne obecne w równaniu (3) prądu wtórnego, gdyż parametry towarzyszących sygnałów teoretycznych są znane.

B. Identyfikacja nasycenia rdzenia przekładnika prądowego w 3DPSPA

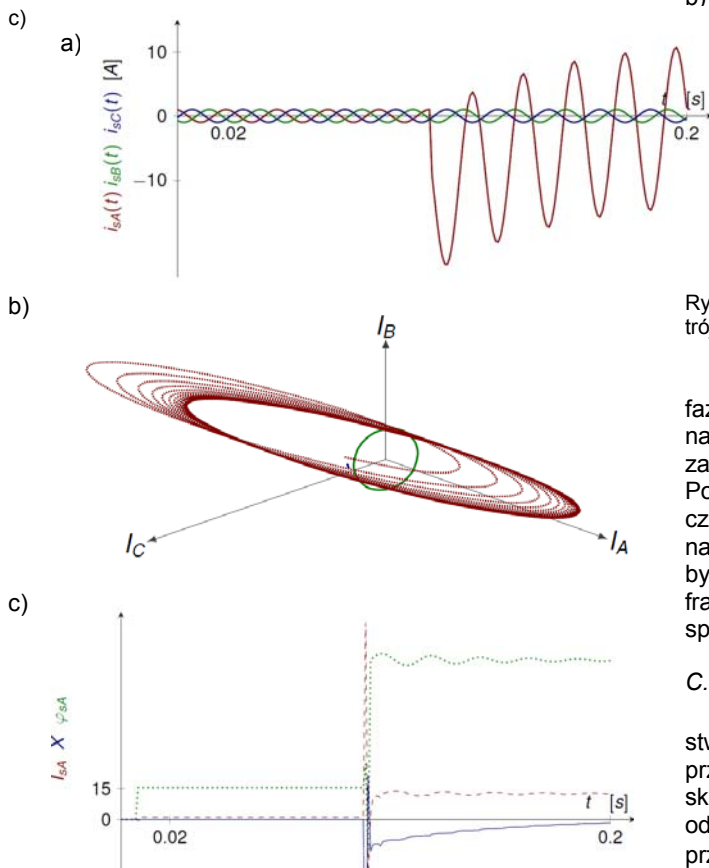
Jak już zaznaczono powyżej, każdemu stanowi pracy systemu można przyporządkować inną linię (2) w przestrzeni trójwymiarowej. Dlatego możliwe jest łatwe określenie tych jej odkształceń, które powstają na skutek nasycenia rdzenia magnetycznego przekładnika prądowego. Poniżej przedstawione zostaną trzy przykłady analizy prądów wtórnych otrzymanych w różnych warunkach pracy systemu elektroenergetycznego. Posłużą one do wyjaśnienia podstaw proponowanej metody rekonstrukcji poprawnego kształtu prądu wtórnego.



Rys. 2. a) Przebiegi prądów wtórnych przy dalekim doziemieniu, b) trójwymiarowa trajektoria zakreślana przez wektor prądu (1), c) wartości estymat parametrów zamkniętych krzywych eliptycznych odpowiadających stanom ustalonym przed i po doziemieniu

Przypadek pierwszy to dalekie doziemienie fazy A. Odpowiadające mu przebiegi prądów wtórnych zostały przedstawione na rysunku 2a. Jak można zauważyć, w przedzie doziemionej fazy A nie występuje składowa aperiodyczna, a on sam może być traktowany jako złożenie dwóch sinusoid o różnych wartościach amplitud i faz

początkowych. Trójwymiarowa trajektoria odpowiadająca prądom wtórnym z rysunku 2a jest przedstawiona na rysunku 2b. Wyróżnić można w niej dwie krzywe eliptyczne odpowiadające stanom ustalonym przed (zielona linia ciągła) i po zwarciu (czerwona linia kropkowana). Porównanie rysunków 2a i 2b pozwala stwierdzić, że okresowość prądów wtórnych powoduje nakładanie się na siebie kolejnych zwojów krzywej eliptycznej. Wyestymowane wartości parametrów tych krzywych trójwymiarowych przedstawiono na rysunku 2c. Są one stałe w stanach ustalonych, a ich stany przejściowe są bardzo krótkie. Zastosowana metoda estymacji ma bardzo krótkie okno pomiarowe. Do otrzymania pierwszych wartości estymat są potrzebne trzy kolejne próbki prądów wtórnych zmierzane w nowym stanie pracy systemu. Brak składowej aperiodycznej w prądzie jest potwierdzony przez zerową wartość estymaty parametru x , rys. 2c i centryczne położenie elipsy, rys. 2b.

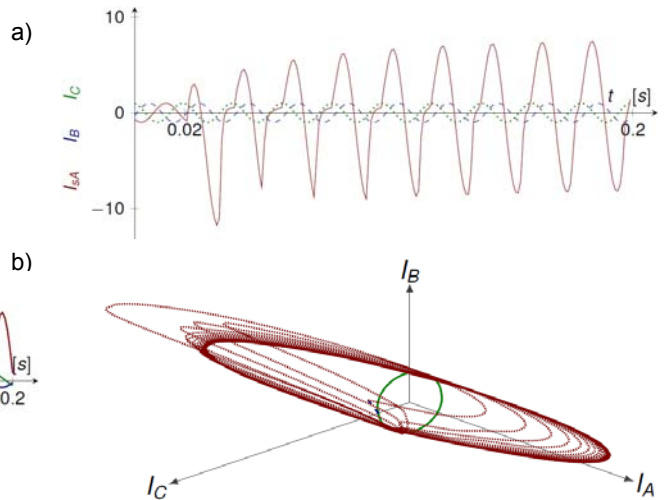


Rys. 3. a) Przebiegi prądów pierwotnych przy bliskim doziemieniu, b) trójwymiarowa trajektoria zakreślana przez wektor prądu (1), c) wartości estymat parametrów zamkniętych krzywych eliptycznych odpowiadających stanom ustalonym przed i po doziemieniu

Sygnaly prądowe do drugiego i trzeciego przykładu zostały wygenerowane w modelu linii przesyłowej wyposażonej w przekładniki prądowe, których rdzenie magnetyczne łatwo ulegają nasyceniu [21], podczas symulacji bliskiego doziemienia fazy A. W celu łatwiejszego wskazania odkształceń prądu wtórnego, które są następstwem nasycenia rdzenia magnetycznego przekładnika prądowego, w przykładzie drugim wykorzystano jako prądy wtórne prądy pierwotne odniesione do strony wtórnej przekładnika, a w przykładzie trzecim wygenerowane oryginalne prądy wtórne.

Wyniki dla przykładu drugiego zebrano na rysunku 3. Na rysunku 3a przedstawiającym prądy wtórne widoczna jest wyraźnie składowa aperiodyczna w prądzie zwarcia. Jej

obecność powoduje rozciąganie krzywej eliptycznej, rys. 3b, wzdłuż osi współrzędnych I_A skojarzonej prądem z doziemionej fazy w linię spiralną, rys. 3b. Z porównania rys. 3a i 3b widać, że w miarę jak składowa aperiodyczna prądu maleje, następuje zacieśnianie się przebiegów kolejnych zwojów spirali i widoczna staje się, położona w centrum układu współrzędnych, tzw. *elipsa graniczna* odpowiadająca nowemu stanowi ustalonemu.



Rys. 4. a) Przebiegi prądów wtórnych przy bliskim doziemieniu, b) trójwymiarowa trajektoria zakreślana przez wektor prądu (1)

Wyniki do trzeciego przypadku, w którym prąd wtórny fazy doziemionej A jest dodatkowo odkształcony na skutek nasycenia rdzenia przekładnika prądowego i również zawiera składową aperiodyczną, przedstawia rysunek 4. Porównanie rys. 4b z 3b pozwala jednoznacznie określić te części krzywej spiralnej, które są zdeformowane przez nasycenie rdzenia przekładnika. Choć wyglądają one jakby były wciśnięte do wnętrza, to jednak w rzeczywistości te fragmenty są wygięte poza płaszczyznę zawierającą krzywą spiralną.

C. Rekonstrukcja kształtu prądu wtórnego

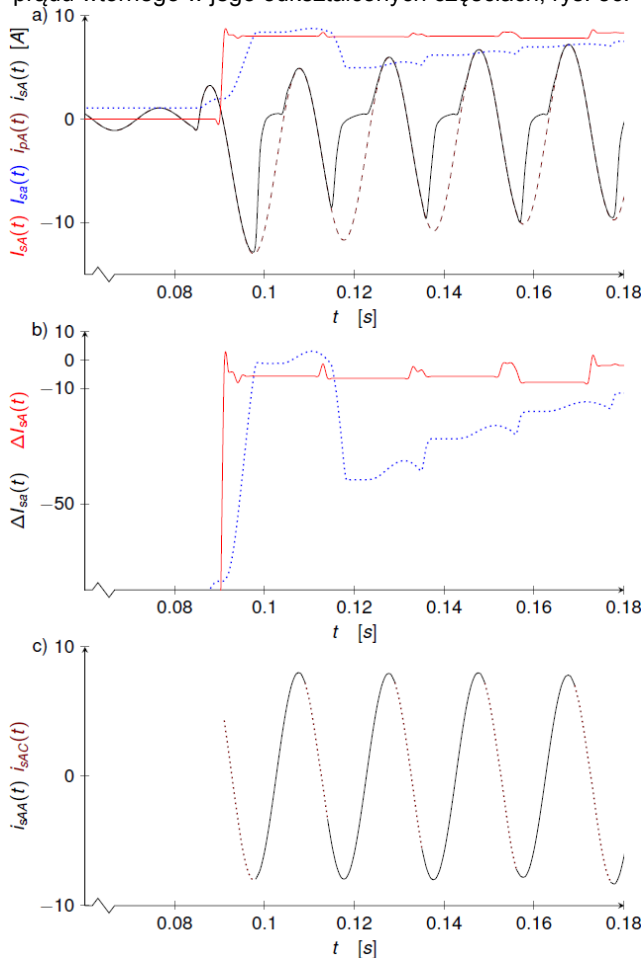
Analiza przeprowadzona w paragrafie B pozwala stwierdzić, że w prądzie wtórnym można wyróżnić dwie, na przemian występujące, części: „zdrową” i odkształconą na skutek nasycenia rdzenia przekładnika prądowego, którym odpowiadają odpowiednie fragmenty linii spiralnej w przestrzeni trójwymiarowej I_A, I_B i I_C . Do detekcji przejścia jednej części w drugą wykorzystano osobny algorytm [21].

Każdy kolejny zwoj krzywej spiralnej jest aproksymowany tzw. bieżącą elipsą lokalną (3) z parametrami I_{sA} , φ_{sA} i x . Parametr x stanowi estymatę składowej aperiodycznej prądu wtórnego, (rys. 3c, linia ciągła niebieska), obecność której pogarsza dokładność estymacji parametrów bieżącej elipsy lokalnej (3).

Wiedząc, które próbki prądu wtórnego zostały zmierzone w jego zdrowej części, można je wykorzystać do estymacji parametrów bieżącej elipsy lokalnej (3). Opuszczenie parametru x , estymującego wartości składowej aperiodycznej w (3), powoduje zastąpienie bieżącej elipsy lokalnej (3) przez odpowiadającą danej krzywej spiralnej elipsę graniczną.

$$(4) \quad \left(\frac{i_{sA}(n)}{I_{sA}} \right)^2 + \left(\frac{i_B(n)}{1} \right)^2 + \left(\frac{i_C(n)}{1} \right)^2 = 1$$

Równanie (4) zawiera tylko parametry I_{SA} i φ_{SA} składowej podstawowej prądu wtórnego wyestymowane w jego zdrowych częściach i pozwala na wyznaczenie przybliżonych poprawnych wartości składowej podstawowej prądu wtórnego w jego odkształconych częściach, rys. 5c.



Rys. 5. a) Wyniki estymacji amplitudy składowej podstawowej prądu wtórnego, b) wartości błędów estymat amplitudy, c) wykres westymowanej składowej podstawowej prądu wtórnego

Oznaczenia linii na rysunkach:

a) ciągła - zmierzony prąd wtórny i estymata jego amplitudy, kreskowana - prąd pierwotny odniesiony na stronę wtórną, kropkowana - estymata amplitudy składowej podstawowej algorytmem uśredniającym kwadraty próbek;

b) ciągła - błąd estymacji amplitudy proponowaną metodą, kropkowana - błąd estymacji amplitudy metodą uśredniającą;

c) kropkowana - część składowej podstawowej prądu wtórnego estymowany na podstawie (3), ciągła - obliczona na podstawie (4) część składowej podstawowej prądu wtórnego.

Wyniki i dyskusja

Przykładowy wynik estymacji parametrów składowej podstawowej odkształconego przez nasycenie rdzenia prądu wtórnego został przedstawiony na rysunku 5. Przeprowadzone badania symulacyjne potwierdzają poprawne zrekonstruowanie składowej podstawowej prądu wtórnego z błędem mniejszym niż 10%. Rysunek 5b przedstawia wykres błędów estymacji wartości amplitudy składowej podstawowej prądu wtórnego przez proponowany algorytm (linia ciągła) i uśredniający kwadraty próbek w jednym okresie sygnału (linia kropkowana). Głównym czynnikiem przyczyniającym się do występowania błędów estymacji parametrów równania (3) jest zastosowanie modelu wartości stałej do estymacji składowej aperiodycznej prądu. Poprawa dokładności estymacji parametrów (3) może zostać uzyskana przez

zastosowanie bardziej złożonych metod estymacji czy wprowadzenie procedur adaptacyjnych lub korekcyjnych. Zagadnienia te stanowią obecnie przedmiot badań autorów.

Przebieg wyestymowanej składowej podstawowej prądu wtórnego przedstawia rys. 5c. Wyróżnić można w nim dwie części odpowiadające odpowiednio zdrowej i odkształconej części prądu wtórnego: pierwsza (kropkowana czerwona linia), w której proponowany algorytm usuwa tylko składową aperiodyczną i druga (ciągła czarna linia), której wartości są obliczane na podstawie równania elipsy granicznej (4).

Do określania przejść pomiędzy zdrową i odkształconą częścią prądu wtórnego w symulacjach zastosowano algorytmy opisane w [21]. Jak już stwierdzono wyżej, detekcja momentu wyjścia rdzenia przekładnika prądowego z nasycenia sprawia dużo więcej kłopotów niż momentu wejścia w nasycenie. Dlatego proponuje się zastąpienie dodatkowego krótkiego fragmentu już nieodkształconego prądu wtórnego wartościami obliczonymi na podstawie (4).

Wnioski

W artykule przedstawiona została nowa metoda estymacji parametrów składowej podstawowej prądu wtórnego odkształconego na skutek nasycenia rdzenia przekładnika prądowego z jednoczesną eliminacją składowej aperiodycznej.

Proponowana metoda wykorzystuje bardzo krótkie okno pomiarowe, co pozwala na wprowadzenie dodatkowych procedur zwiększających dokładność estymacji.

Przedstawiona metoda nie wymaga znajomości parametrów elektrycznych czy magnetycznych przekładnika prądowego i wykorzystuje tylko informacje niesione przez sygnał prądu wtórnego.

Badania zostały wykonane w ramach Grantów No. 50937003, 51007045, 51120175001 przyznanych przez the National Natural Science Foundation of China.

LITERATURA

- [1] Powell L.J., Current transformer burden and saturation, *IEEE Trans. Ind. Appl.*, IA-15 (May/Jun. 1979), no. 3, 294–303
- [2] Pan J., Vu K., Hu Y., An efficient compensation algorithm for current transformer saturation effects, *IEEE Trans. Power Del.*, 19 (Oct. 2004), no. 4, 1623–1628
- [3] Rebizant W., Bejmert D., Current-transformer saturation detection with genetically optimized neural networks, *IEEE Trans. Power Del.*, 22 (Apr. 2007), no. 2, 820–827
- [4] Rebizant W., Bejmert D., Genetic Optimization of ANN-based Decision Units for Protection Purposes, *Przegląd Elektrotechniczny (Electrical Review)*, 4 (Apr. 2007), 129–133
- [5] Kasztenny B., Finney D., Generator protection and CT-saturation problems and solutions, *IEEE Trans. Ind. Appl.*, 41 (Nov./Dec. 2005), no. 6, 1452–1457
- [6] Gangadharan P.K., Sidhu T.S., Finlayson G.J., Current transformer dimensioning for numerical protection relays, *IEEE Trans. Power Del.*, 22 (Jan. 2007), no. 1, 108–115
- [7] Wiszniewski A., Rebizant W., Schiel L., Correction of current transformer transient performance, *IEEE Trans. Power Del.*, 23 (Apr. 2008), no. 2, 624–632
- [8] Kang Y.C., Lim U.J., Kang S.H., Crossley P.A., Compensation of the distortion in the secondary current caused by saturation and remanence in a CT, *IEEE Trans. Power Del.*, 19 (Oct. 2004), no. 4, 1642–1649
- [9] Kang Y.C., Park J.K., Kang S.H., Johns A.T., Aggarwal R.K., An algorithm for compensating secondary currents of current transformers, *IEEE Trans. Power Del.*, 12 (Jan. 1997), no. 1, 116–124
- [10] Locci N., Muscas C., A digital compensation method for improving current transformer accuracy, *IEEE Trans. Power Del.*, 15 (Oct. 2000), no. 4, 1104–1109
- [11] Bittanti S., Cuzzola F.A., Lorito F., Pongcia G., Compensation of nonlinearities in a current transformer for the reconstruction of the primary current, *IEEE Trans. Control Syst. Technol.*, 9 (Jul. 2001), no. 4, 565–573

- [12] Khorashadi-Zadeh H., Sanaye-Pasand M., Correction of saturated current transformers secondary current using ANNs, *IEEE Trans. Power Del.*, 21 (Jan. 2006), no. 1, 73–79
- [13] Yu D.C., Cummins J.C., Wang Z., Yoon H.J., Kojovic L.A., Correction of current transformer distorted secondary currents due to saturation using artificial neural networks, *IEEE Trans. Power Del.*, 16 (Apr. 2001), no. 2, 189–194
- [14] Hong Y.Y., Chang-Chian P.C., Detection and correction of distorted current transformer current using wavelet transform and artificial intelligence, *Inst. Eng. Technol. Gen. Transm. Distrib.*, 2 (2008), no. 4, 566–575
- [15] Stachel P., Schegner P., Detection and correction of current transformer saturation effects in secondary current signals, *Proc. IEEE PES Gen. Meeting, Canada*, 2009, 1–6.
- [16] Lu Z., Smith J.S., Wu Q.H., Morphological lifting scheme for current transformer saturation detection and compensation, *IEEE Trans. Circuits Syst.*, 55 (Nov. 2008), no. 10, 3349–3357
- [17] Kang Y.C., Ok S.H., Kang S.H., Crossley P.A., Design and evaluation of an algorithm for detecting current transformer saturation, *Proc. IEE., Gen. Transm. Distrib.*, 151 (Jan. 2004), no. 1, 27–35
- [18] Chawande P., Soman S.A., Apte P.R., Pandit S., Experimental evaluation of current transformer performance under saturation, *Proc. 7th Int. Power Eng. Conf., Singapore*, (2005), 1–5
- [19] Dashti H., Sanaye-Pasand M., Davarpanah M., Current transformer saturation detectors for busbar differential protection, *Proc. 42nd Int. Universities Power Eng. Conf., Brighton, U.K.*, (2007), 338–343
- [20] Kasztenny B., Rosolowski E., Lukowicz M., Izykowski J., Current related relaying algorithms immune to saturation of current transformers, *Proc. 6th Int. Conf. Develop. Power Syst. Prot., Nottingham, U.K.*, (1997), 265–368.
- [21] Bak D., Dong X.Z., Wang B., Shin Z.X., Rebizant W.: New Method of Detection of Current Transformer Saturation, *Proc. of the DPSP 2012 Conference, Birmingham, UK*, (2012), paper P083
- [22] Bak D., Rebizant W., Low Current and Flashing HIF Detection Method, *Proc of the 4th International Conference on Advanced Power System Automation and Protection, APAP2011, Beijing, China*, (2011), 724-729
- [23] Bak D., Lee S.J., Kang S.H., Choi M.S., Rebizant W., 3DPPS for Early Detection of Arcing Fault, *Proc. of the Int. Symposium on Modern Electric Power Systems MEPS10, Wroclaw, Poland*, (2010), paper 09.6
- [24] Bak D., Lee S.J., Kang S.H., Choi M.S., Rebizant W., New Approach to Arcing High Impedance Faults Detection in Medium Voltage Distribution Network, *Proc. of the 3rd International Conference on Advanced Power System Automation and Protection, APAP2009, Jeju, Korea*, (2009), paper 161
- [25] Requirements for Instrument Transformers, American National Standards Institute, ANSI Standard C57.13-1968

Autorzy: dr inż. Dominik Bąk, State Key Laboratory on Power System, Department of Electrical Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China, E-mail: dominikjanbak@o2.pl;
 prof. Xinzhou Dong, State Key Laboratory on Power System, Department of Electrical Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China, E-mail: xzdong@tsinghua.edu.cn;
 prof. dr hab. inż. Waldemar Rebizant, Instytut Energoelektryki, Politechnika Wroclawska, ul. Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wroclaw, E-mail: waldemar.rebizant@pwr.wroc.pl