

SZYMANDA Jarosław M.¹

Identyfikacja obiektów dyskretnych w kontekście propagacji zaburzeń

*filtry estymacyjne, algorytmy genetyczne,
programowanie liniowe, simpleks,
energetyka, funkcja celu*

Streszczenie

W referacie przedstawiono propozycję identyfikacji obiektów dyskretnych wykorzystującej koncepcje filtrów estymacyjnych. Podstawę proponowanej metody identyfikacji stanowią zmodyfikowane algorytmy estymacji. Postuluje się dołączenie filtrów estymacyjnych do kategorii pojęć związanych z filtrami adaptacyjnymi, sieciami neuronowymi i algorytmami genetycznymi. Kontekstem aplikacyjnym artykułu są zagadnienia logistyki wybranych elementów wytwarzania i dystrybucji energii elektrycznej, w szczególności kontroli jakości energii dostarczanej do odbiorców końcowych. Prezentowane wyniki obejmują wybrane elementy projektu w ramach prac podstawowych w zakresie archiwizacji i szybkiej identyfikacji sygnałów elektrycznych. Modelowanie systemu propagacji zaburzeń zrealizowano przy wykorzystaniu pakietu PSCAD X4.

IDENTIFICATION OF DISCRETE OBJECTS IN THE CONTEXT OF THE PROPAGATION OF DISTURBANCES IN THE POWER GRID

Abstract

In this paper the proposal of the identification of discrete objects using concepts of estimation filters is presented. Estimation methods and mathematical programming have been the subject of the first stage of the research project: "Novel signal processing methods and global power quality indices for assessment of power systems with distributed generation". The results are presented in the context of archiving and quick identification of electrical signals. Modeling system of propagation disturbance using PSCAD X4 package was carried out.

1. WSTĘP

W dobie intensywnie rozwijających się technologii pozyskiwania energii ze źródeł odnawialnych (energia słoneczna, elektrownie wodne i wiatrowe, źródła geotermalne) istotnego znaczenia nabierają zagadnienia związane z oceną jakości dystrybuowanej energii. Aktualny stan techniki znacząco wpływa na wzrost znaczenia jakości energii elektrycznej – z jednej strony wprowadza się do użytku coraz więcej urządzeń wymagających energii o wysokiej jakości, z drugiej strony odbiorniki te istotnie oddziałują na tę jakość. Analiza w tym zakresie coraz częściej odwołuje się do systemów logistycznych ułatwiających monitorowanie i akwizycję danych (*e-logistyka*) [5,7]. Do podlegających kontroli parametrów jakości energii elektrycznej należą m.in.: częstotliwość, wartość, wahania i skoki napięcia, zapad napięcia, przerwy w zasilaniu, napięcia przejściowe, asymetria napięcia zasilającego, harmoniczne dla napięcia i prądu. Szczegółowe wymagania określające procedury znormalizowanych badań zamieszczone są w odpowiednich normach i rozporządzeniach (m.in. PN-EN 50160). Logistyka to także zarządzanie i nadzorowanie elementów odpowiedzialnych za bezpieczną eksploatację całych systemów od wytwórców i dystrybutorów energii do odbiorców końcowych. Obecnie na rynku znanych jest wiele rozwiązań koncentrujących się na świadczeniu usług informacyjnych i doradczych z zakresu wykorzystania odnawialnych źródeł energii oraz energooszczędności [5]. Realizowane projekty najczęściej mają na celu promocję „czystej energii” oraz zobrazowanie niezwykle istotnego związku pomiędzy odnawialnymi źródłami energii a ochroną środowiska. W referacie prezentowana jest propozycja mająca wspomagać zarządzanie elementami wytwarzania i dystrybucji energii elektrycznej, w szczególności kontroli jakości energii dostarczanej do odbiorców końcowych. Pierwszy etap projektu w ramach prac podstawowych obejmuje elementy systemu w kontekście archiwizacji i szybkiej identyfikacji sygnałów elektrycznych. Przedstawiona propozycja identyfikacji obiektów dyskretnych wykorzystuje koncepcje filtrów estymacyjnych. Podstawę proponowanej metody identyfikacji stanowią zmodyfikowane algorytmy estymacji. W pewnym ogólnym sensie zagadnienia systematyki filtracji, filtry estymacyjne można zestawiać z takimi pojęciami jak algorytmy adaptacyjne, sieci neuronowe czy algorytmy genetyczne [2,3]. W pierwszym etapie badań, problem identyfikacji obiektów dyskretnych powiązано z określeniem możliwości filtracji próbek sygnałów podług zdefiniowanej a priori funkcji celu. Prezentowane wyniki obejmują wybrane elementy projektu w ramach prac podstawowych w kontekście archiwizacji i szybkiej identyfikacji sygnałów elektrycznych [7,8,9,10].

¹Politechnika Wroclawska, Wydział Elektryczny, 50-370 Wrocław, Wybrzeże Wyspiańskiego 27
e-mail: jaroslaw.szymanda@pwr.wroc.pl

2. FUNKCJA IDENTYFIKACJI ZDARZEŃ I OBIEKTÓW DYSKRETNYCH

Algorytm definiowania funkcji celu jest złożoną procedurą przetwarzania charakterystycznych parametrów (cech) próbek z określonym dla danego zagadnienia ograniczeniem. W ogólnym przypadku przedmiotowe ograniczenie może być łączone także z elementami optymalizacji, na przykład z minimalizacją warunków brzegowych niezbędnych do rozwiązania problemu [2,3,4]. Dla przedstawionego modelu filtracji przyjęto w pierwszej fazie zasadę rozdzielania obserwacji zdarzeń od kontekstu technicznego. Takie podejście zwiększyło możliwość doboru metod analizy z szerszego repozytorium narzędzi badawczych. W konsekwencji powyższych rozważań, zaproponowano wykorzystanie metod estymacyjnych, w których szczególną rangę przypisuje się zależnościom funkcjonalnym oraz statystyce kwalitatywnej [2,4]. W wyniku wstępnej analizy danych w zakresie przyjmowanych wartości oraz rozłożeniu w wektorze porządkowym (może być przyporządkowany zdarzeniom czasowym), stwierdzono występowanie charakterystycznych cech podług których można było zdefiniować estymacyjną funkcję celu. Dla celów klasyfikacji można wyróżnić między innymi: ze względu na sposób szacowania próby estymację punktową i przedziałową oraz ze względu na dobór próby estymację sekwencyjną i z ustaloną wielkością próby [2,4]. Przykładami mogą być często wykorzystywane estymatory: wartości średniej arytmetycznej, wariancji czy regresyjny dla wartości średniej Y_{sr} cechy Y z próby $\{Y, X\}_n$ wyrażony wzorem (1):

$$Y_{sr} = \bar{Y} + \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} (X_{sr} - \bar{X}) \quad (1)$$

gdzie: Y - cecha podstawowa
 X - cecha dodatkowa skorelowana z cechą Y
 X_{sr} - wartość średnia cechy X
 n - liczba elementów próby

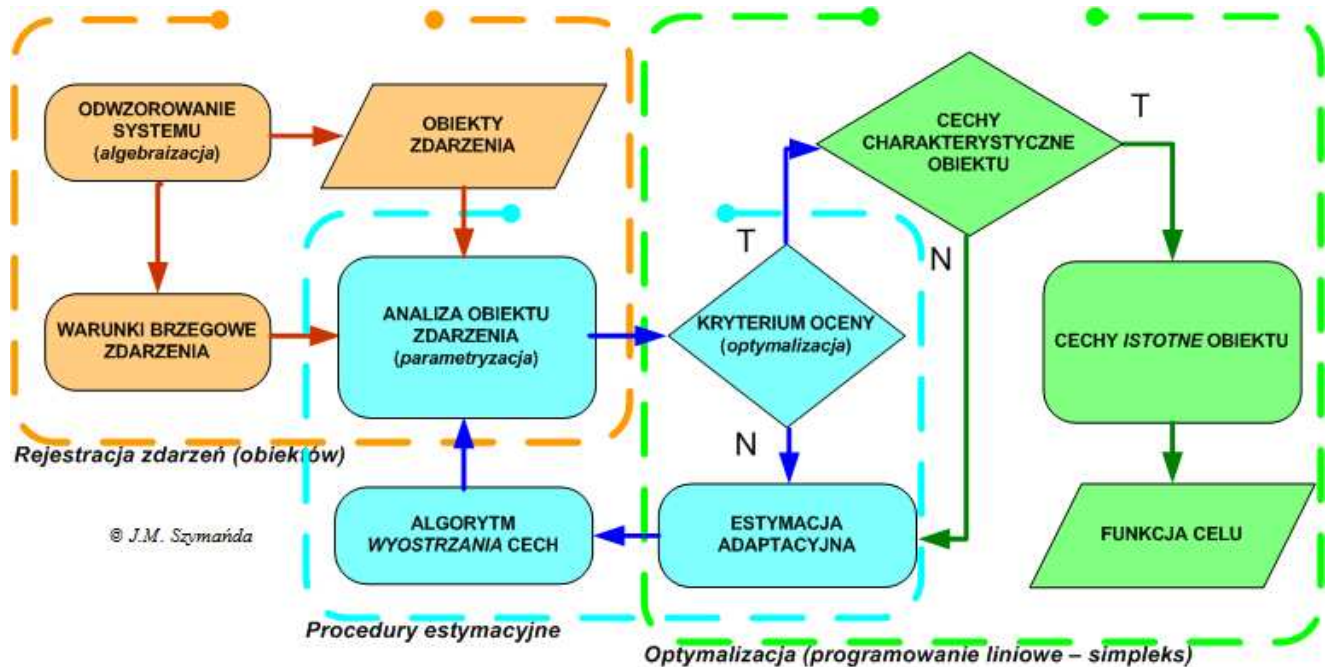
Programowanie matematyczne natomiast związane jest z poszukiwaniem i dostosowywaniem zbiorów wartości podług reguł optymalizacyjnych. W metodach optymalizacyjnych rozwiązanie problemu najczęściej sprowadza się do wyznaczenia funkcji celu przy określonych warunkach ograniczających i brzegowych. Dla celów kwalifikacji metod wymieniane są tutaj między innymi: programowanie liniowe i nieliniowe, dyskretne, stochastyczne, dynamiczne, sieciowe i inne [3,6]. Programowanie matematyczne niejednokrotnie jest jednym z elementów wprowadzanych do algorytmów podejmowania decyzji, w tym systemów ekspertowych. W projekcie analizowano możliwości identyfikacji obiektów wykorzystując metodę simpleks. Metoda ta dedykowana jest do rozwiązywania zadań programowania liniowego za pomocą kolejnych ulepszeń (optymalizacji) rozwiązania. Model matematyczny wyznaczenia funkcji celu spełniającej nałożone ograniczenia przedstawiono we wzorach (2):

$$\begin{aligned} (FC): Z &= \sum_{j=1}^n c_j x_j \rightarrow \max \text{ lub } \min \\ (O) : & \left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \otimes b_i \\ \text{operator relacji} = \otimes \in \{=, \leq, \geq\} \end{array} \right. \\ (WB): & \left\{ \begin{array}{l} x_j \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n \\ b_i \geq 0 \quad i = 1, 2, \dots, m \end{array} \right. \end{aligned} \quad (2)$$

gdzie: (FC) - funkcja celu Z
(O) - ograniczenia
(WB) - warunki brzegowe
 a_{ij}, b_i, c_j - wartości zadane (parametry algorytmu)
 x - wektor zoptymalizowanych rozwiązań
 \otimes - operator możliwych wariantów relacji dla każdego z równań definiujących ograniczenia

W pierwszym etapie badań symulacyjnych wykonano testy skorelowania metod estymacyjnych ze schematem optymalizacyjnym metody simpleks dla kilku reprezentatywnych algorytmów. Przykładowy diagram organizacji algorytmu określania istotnych cech obiektów przedstawiono na rysunku 1. Na diagramie zaznaczono trzy charakterystyczne obszary związane z wyznaczeniem funkcji celu: 1. „Rejestracja zdarzeń (obiektów)” – obejmuje procedury odwzorowywa-

nia obiektów monitorowanego systemu, najczęściej *dyskretyzacja* obiektów ciągłych (np. próbkowanie sygnałów) oraz akwizycja i archiwizacja obiektów; 2. „Procedury estymacyjne” – wstępna analiza statystyczna obiektów (próbek) oraz wybór estymatora wraz z algorytmem wyostrzania cech (tj. rekurencyjnej adaptacji parametrów estymatora); 3. „Optymalizacja” – wyznaczanie charakterystycznych i istotnych cech obiektu. Cechy istotne są podzbiorem cech charakterystycznych obiektu, i wybierane podług kryteriów estymacyjnych (*tutaj* filtracji próbek) dla zdefiniowanych a priori warunków brzegowych zdarzenia. Należy tutaj podkreślić, iż ewentualne zaniedbanie weryfikacji warunków brzegowych dla procedury estymacyjnej, może być przyczyną błędnego oznaczania istotnych i charakterystycznych cech obiektu.



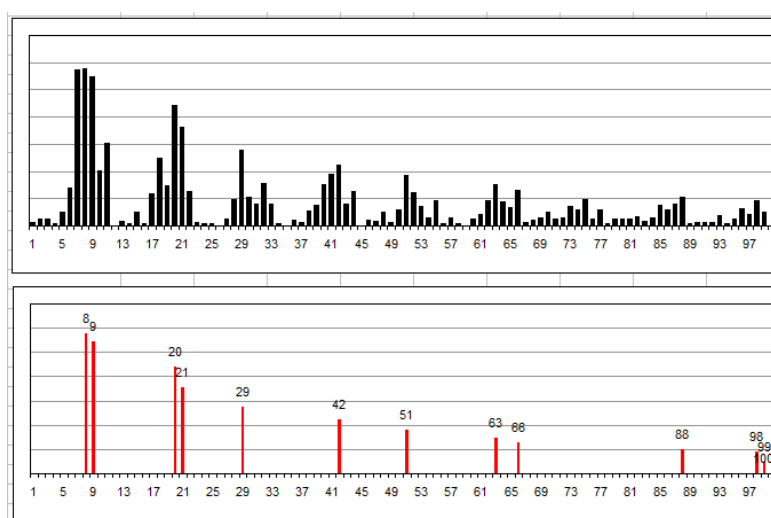
Rys.1. Wariant diagramu przepływu informacji w procedurach wyznaczania istotnych cech obiektu

```

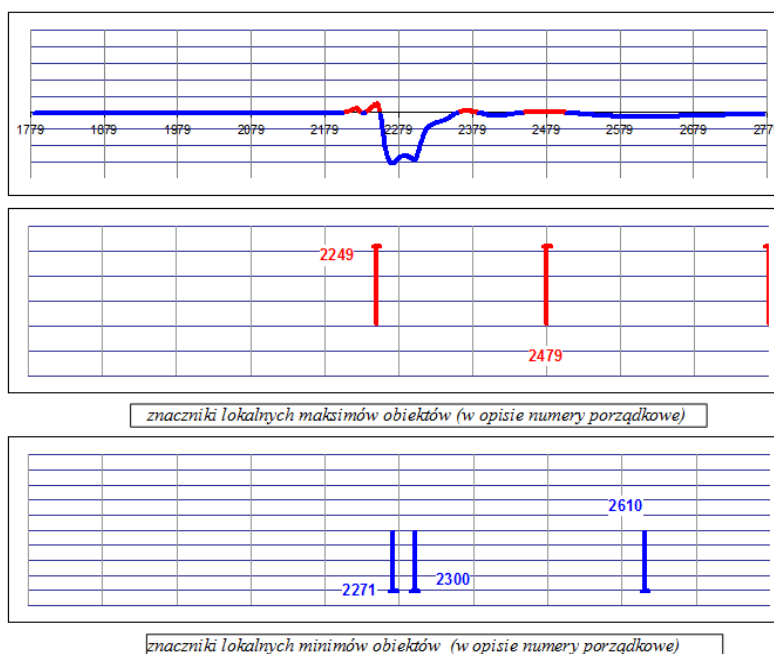
Iterative ESTFILTER Algorithm
begin
  convert to vector by normalize object X
  scale vector by parameters
  current_position ← start
  current_start ← start
  current_direction ← from start to end
  while current_position is inside vector
    do current_position ← current_start
    current_direction ← from current_start to end
    amplitude ← current_position
    while current_position is inside vector
      do amplitude ← amplitude (current_position)
      if amplitude less amplitude (current_position)
        if current_position great current_position (amplitude)
          amplitude ← amplitude (current_position)
          current_position (amplitude) ← current_position
        end if
      end if
    end while
    fixed vector (amplitude)
    current_position ← inc (current_position)
  end while
  scale vector by parameters
  convert to object X by denormalize vector
  goto estimation EST
end
© jaroslaw.szymanda@pwr.wroc.pl
    
```

Rys.2. Algorytm ESTFILTER wybierający istotne cechy obiektu X dla funkcji celu (FC): lokalne ekstremum

Dla wstępnych analiz postuluje się zawsze oznaczanie istotnych cech obiektu na podstawie rejestrowania obiektów w stanach wyróżnionych, na przykład podczas wystąpienia awarii systemu. *Zdarzenia awaryjne*, będące często splotem bardzo wielu okoliczności, w typowych algorytmach deterministycznych są bardzo trudnym elementem do zaprogramowania. Model identyfikacji obiektów poprzez *estymacyjną funkcję celu*, jest właśnie propozycją dedykowaną dla takich przypadków. Przewiduje się możliwość rejestrowania i gromadzenia charakterystycznych cech obiektu w stanach istotnych na przykład z punktu widzenia zabezpieczeń i automatyki systemów elektroenergetycznych. Propozycja realizacji technicznej takiego systemu została zaprezentowana między innymi w artykułach [8,9]. Identyfikacja obiektów, a w szczególności identyfikacja obiektów dyskretnych, może być oczywiście postrzegana jako zagadnienie filtracji. Dla ustalenia uwagi, dalszy opis odnosi się do przypadku filtracji próbek sygnału przy wykorzystaniu przykładowej estymacyjnej funkcji celu. W naszym przypadku funkcja celu dla estymatora określona została na podstawie cech charakterystycznych obiektu spełniające lokalne kryterium monotonicznie malejących amplitud próbek sygnału. Algorytm ESTFILTER filtrujący charakterystyczne cechy obiektu X i wybierający istotne cechy obiektu przedstawiono na rysunku 2. W referacie zamieszczono przykład filtracji próbek sygnału podług *funkcji celu* określonej dla lokalnych ekstremów estymowanych na podstawie warunków ograniczających. *Cechą charakterystyczną* filtrowanych obiektów są co do wartości bezwzględnej monotonicznie malejące amplitudy lokalnych maksimów próbek. Zgodnie z postulatami proponowanej metody identyfikacji, estymator zaimplementowany jest w algorytmie w formie sparametryzowanego opisu funkcyjnego. Omówiona zasada filtracji i efekt działania filtru estymacyjnego z określoną jak wyżej *funkcją celu* został przedstawiony na rysunkach 3 i 4



Rys.3. Przykład identyfikacji istotnych cech obiektu X (lokalne maksima) spełniających kryterium dla funkcji celu (FC): monotonicznie malejących wartości amplitud (oś x oznaczona jest numerami porządkowymi obiektów)

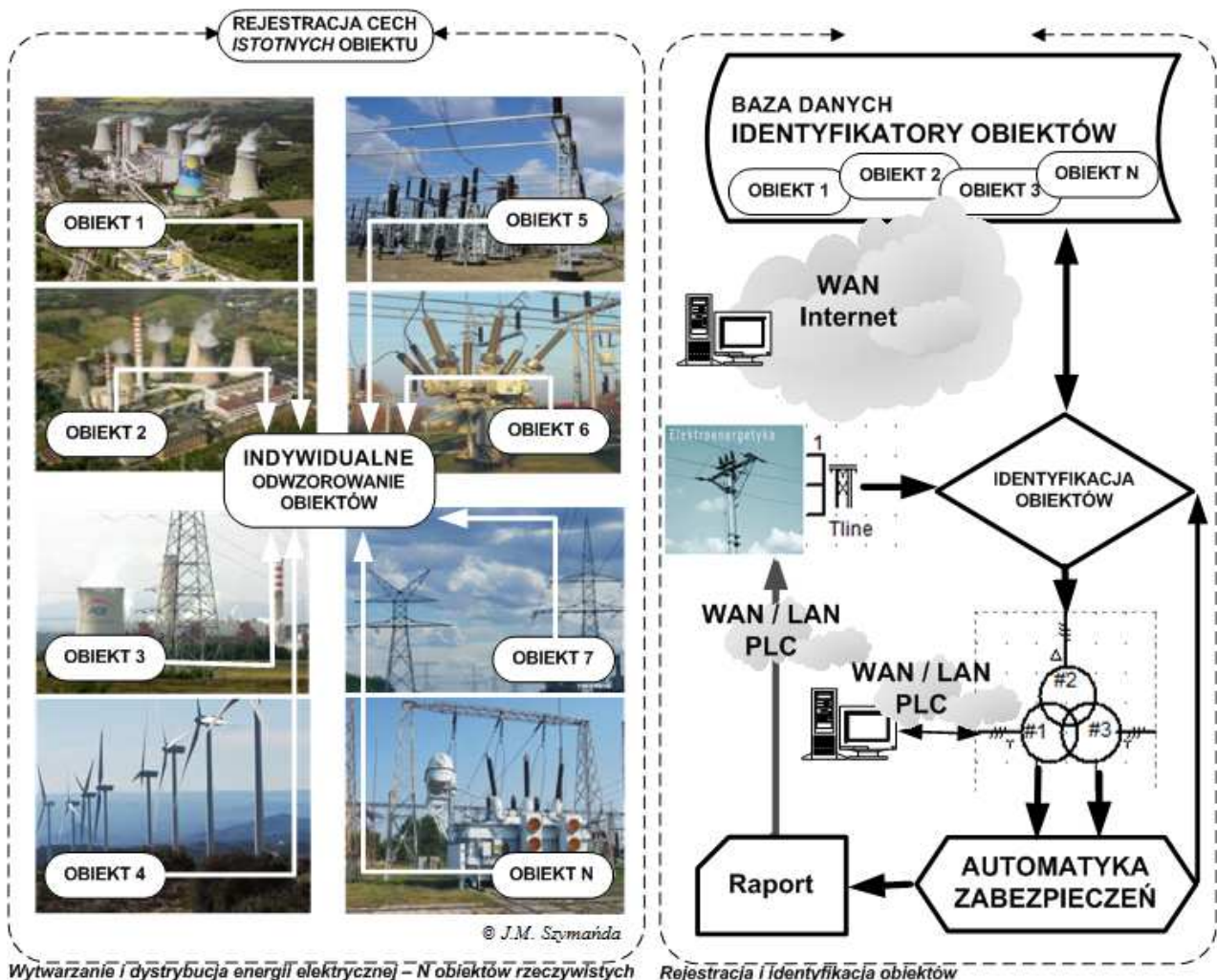


Rys.4. Przykład identyfikacji istotnych cech obiektu X (lokalne ekstrema) spełniających kryterium dla funkcji celu (FC): monotonicznie malejących wartości amplitud

3. PROPAGACJA ZABURZEŃ W SIECIACH ELEKTROENERGETYCZNYCH

3.1 Definicja pieczętki węzła systemu elektroenergetycznego NPSS

Proponowana metoda identyfikacji zdarzeń może być przedstawiona w kontekście logistyki systemu wytwarzania i dystrybucji energii elektrycznej. W pierwszym wariancie oceny możliwości monitorowania systemu elektroenergetycznego przy wykorzystaniu *estymacyjnej funkcji celu*, przyjęto iż w wybranych węzłach systemu możliwa będzie indywidualna rejestracja charakterystycznych cech obiektu, ze szczególnym uwzględnieniem rejestracji obiektów w stanach wyróżnionych. Przykładem mogą być stany awarii systemu. Przykładowy diagram funkcjonalny takiego ujęcia zagadnienia przedstawiony został na rysunku 5. Wyszczególnione tam obiekty reprezentują w sposób symboliczny wybrane newralgiczne z punktu widzenia bezpieczeństwa i niezawodności pracy węzły systemu elektroenergetycznego. W każdym z tych węzłów rejestrowana jest i archiwizowana w systemie indywidualna *metryka węzła*, którą również można określać przez analogię do wykorzystywanej w systemach bazodanowych *pieczętki czasowej*, pieczętką węzła systemu elektroenergetycznego. Proponuje się także, na potrzeby projektu, wprowadzenie uniwersalnego akronimu **NPSS** dla angielskiej nazwy pieczętki *Node Power System Stamp*. Zarejestrowane w pieczętce wartości uwzględniają nie tylko wartości własne węzła (obiektu), ale także umiejscowienie węzła w całym systemie, innymi słowy, wartości **NPSS** są efektem wzajemnej interakcji węzła i systemu. Realizowane prace weryfikacyjne projektu, zmierzają właśnie w kierunku określenia stopnia korelacji zdarzeń oraz możliwości identyfikacji węzła poprzez analizę danych telemetrycznych w sieciach elektroenergetycznych w dowolnym węzle obserwacyjnym (*monitorującym, dyspozytorskim, logistycznym*). Uwzględniając kompleksową obsługę logistyczną całego systemu elektroenergetycznego, na potrzeby projektu, przyjęto także określenie dedykowanego akronimu dla *węzła logistycznego* **NPSLogistics** (*Node Power System Logistics*). Poglądowy schemat sieci elektroenergetycznej z naniesionymi węzłami NPSS oraz NPSLogistics przedstawiono na rysunku 6.

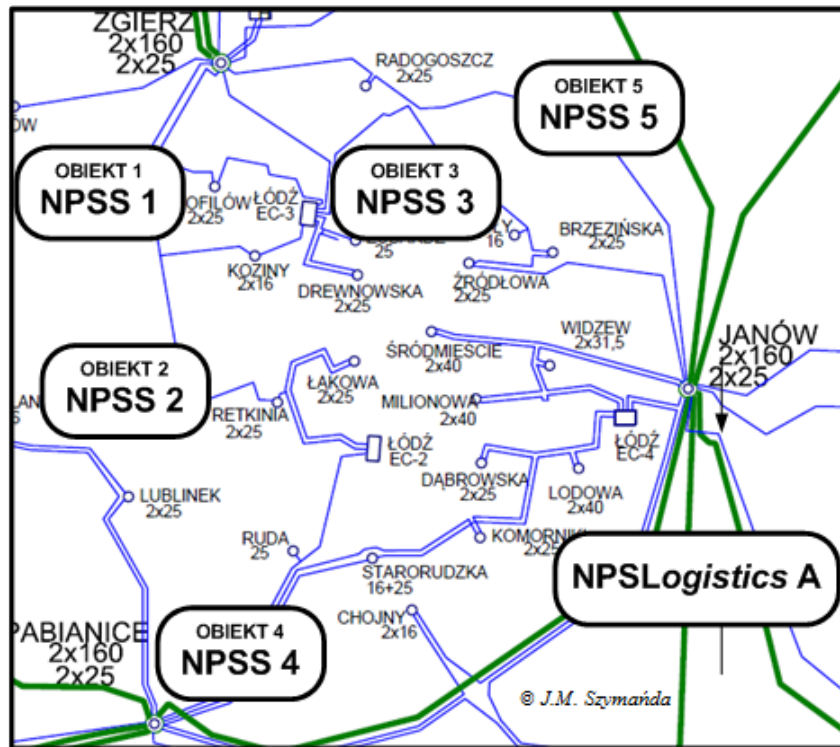


Rys.5. Diagram funkcjonalny propagacji i identyfikacji zaburzeń w sieciach elektroenergetycznych

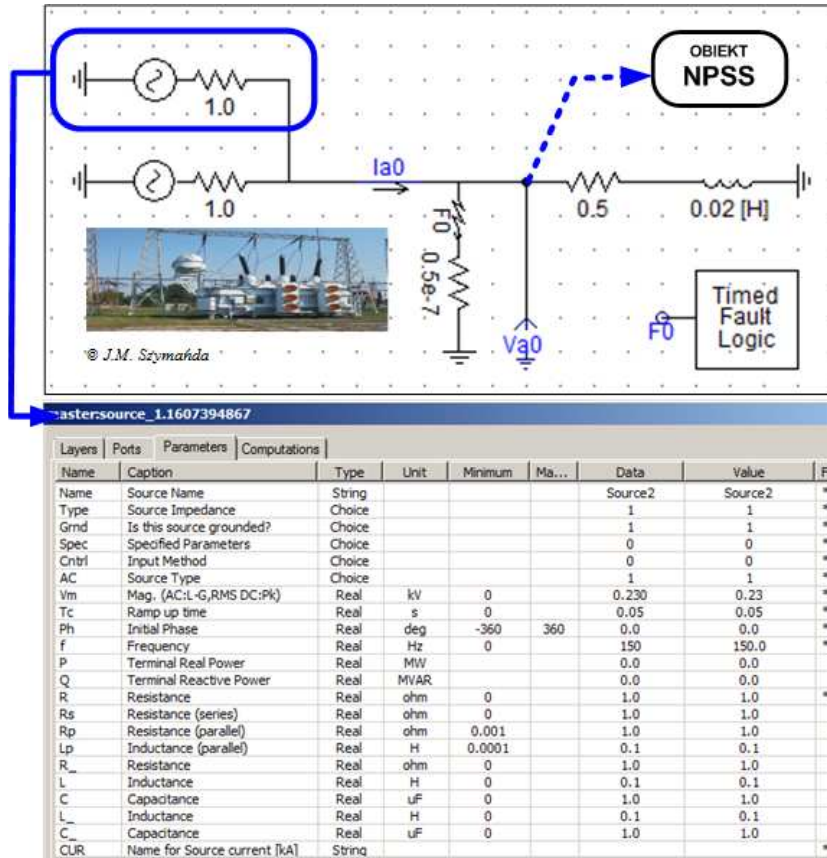
3.2 Model symulacji propagacji zaburzeń w systemie elektroenergetycznym

Modelowanie systemu propagacji zaburzeń zrealizowano przy wykorzystaniu pakietu PSCAD X4 w wersji 4.4.0/2011. Pakiet PSCAD jest uznanym, międzynarodowym zestawem programów umożliwiającym projektowanie i badanie złożonych systemów elektroenergetycznych. PSCAD posiada bogatą bibliotekę standardowych elementów gotowych do wstawienia do badanego modelu symulacyjnego. Bardzo ważną cechą pakietu jest uwzględnianie dla większości zdefinio-

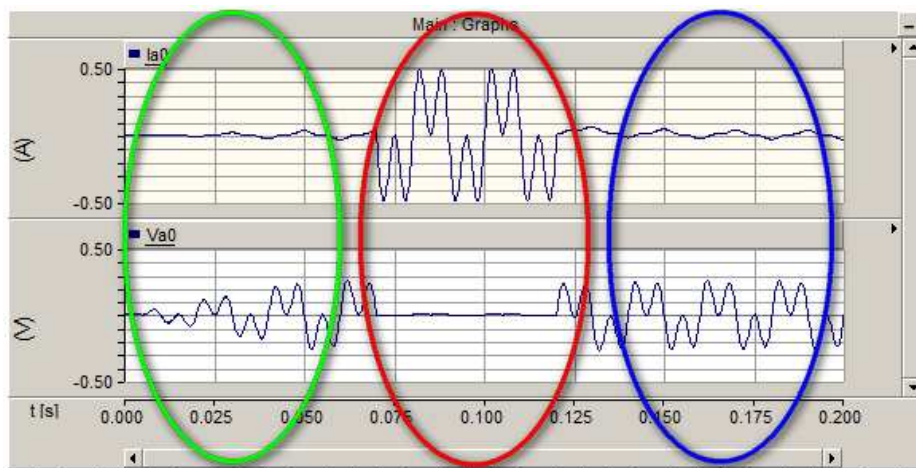
wanych elementów zaleceń oraz obowiązujących norm technicznych. Oprócz prostych elementów pasywnych, mogą być wykorzystywane także złożone komponenty, takie jak modele linii napowietrznych i kablowych, stacji rozdzielczych oraz wielu innych. Przykładowe modele umożliwiające badanie zależności pomiędzy węzłami NPSS a węzłami NPSLogistics przedstawiono na rysunkach 7 i 9.



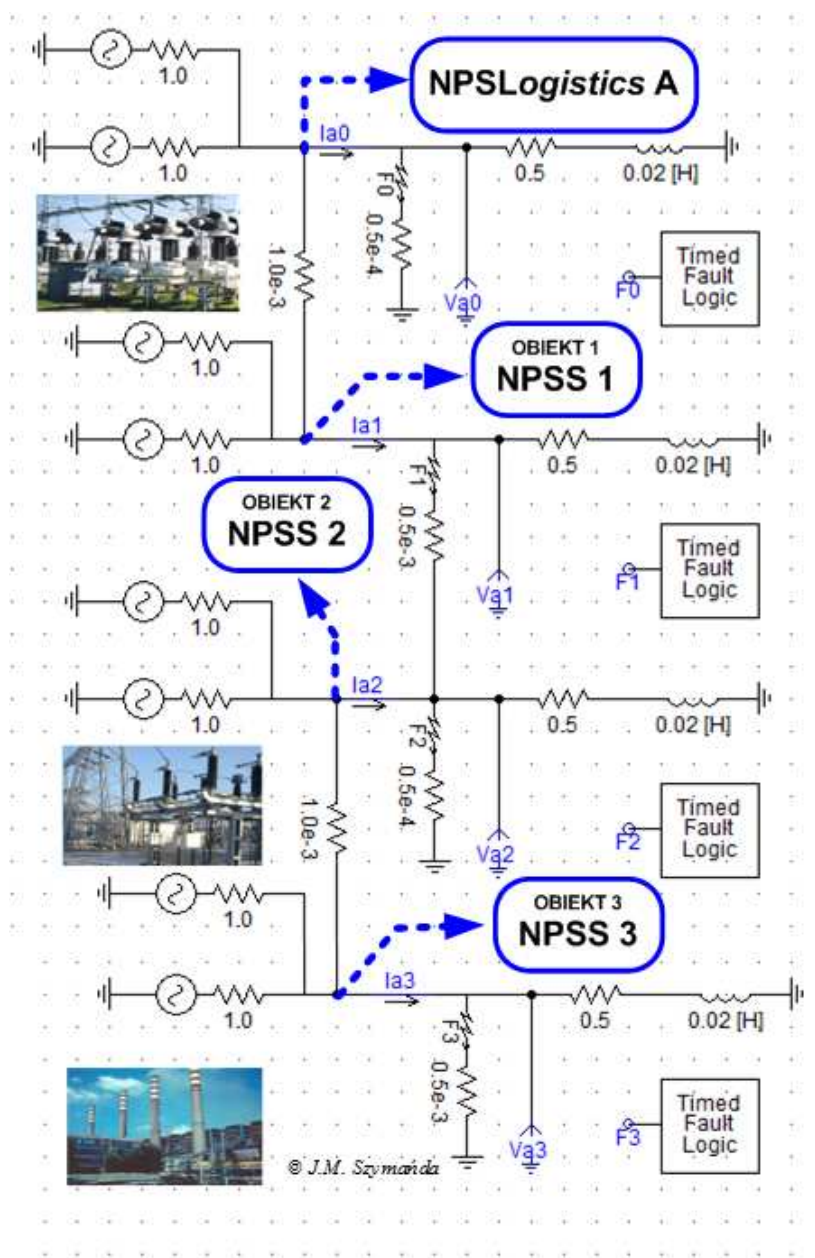
Rys.6. Poglądowy schemat sieci elektroenergetycznej z naniesionymi węzłami NPSS oraz NPSLogistics



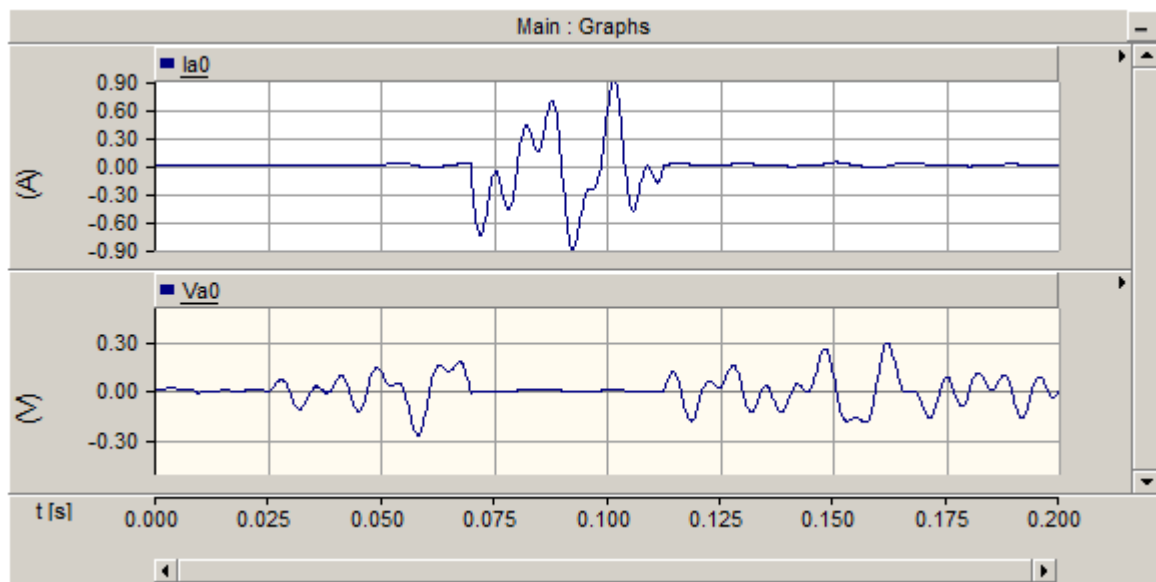
Rys.7. Wybrany wariant indywidualnego bloku z przykładowymi parametrami elektrycznymi obiektu; „Timed Fault Logic” – programator zdarzeń czasowych dla zdefiniowanych lokalnych awarii (np.zwarcia)



Rys.8. Obserwacje charakterystycznych przebiegów czasowych obiektu w węzle NPSS; kolorami oznaczono cechy obiektu dla stanów: niestabilnych (zielony), awarii-zwarcia (czerwony), ustalonych (niebieski)



Rys.9. Przykładowy schemat elektryczny modelu propagacji zaburzeń w sieci elektroenergetycznej, „Timed Fault Logic” – programator zdarzeń czasowych dla zdefiniowanych lokalnych awarii



Rys.10. Obserwacje charakterystycznych przebiegów czasowych obiektu w węzle *NPSLogistics A*

4. WNIOSKI

Po przeprowadzonych w pierwszym etapie badaniach symulacyjnych, stwierdzono możliwość wykorzystania *estymacyjnej funkcji celu* podczas identyfikacji obiektów na podstawie ustalonych cech charakterystycznych. Podniesiony w projekcie kontekst analizy propagacji zaburzeń w sieciach elektroenergetycznych uznano jako ważną propozycję, która w perspektywie dalszych prac weryfikacyjnych, mogłaby wzbogacić elementy logistyki w zakresie zarządzania i nadzorowania tych systemów. Podkreślono, że szybka identyfikacja i lokalizacja stanu awaryjnego w węzłach ma również strategiczne znaczenie w zakresie bezpieczeństwa energetycznego całych systemów od wytwórców i dystrybutorów energii do odbiorców końcowych. Na potrzeby projektu wprowadzono nowe pojęcia lokalizacyjne w strukturach sieci elektroenergetycznych: *pieczętki węzła systemu NPSS (Node Power System Stamp)* oraz *węzła logistycznego PSLogistics (Node Power System Logistics)*.

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] Date, C.J.: Wprowadzenie do systemów baz danych: WNT 2000
- [2] Góralski A.: Algorytmy i programy statystyki kwalitatywnej: WNT: Warszawa '79
- [3] Grabowski W.: Programowanie matematyczne: PWN: Warszawa 1982
- [4] Greń J.: Statystyka Matematyczna. Modele i zadania: PWN: Warszawa '1975
- [5] Magdziak R.: Analityzatory jakości energii elektrycznej - polscy producenci i dystrybutorzy, Portal branżowy dla elektroników Elektronika B2B, Raporty 2007.
- [6] Sysło M. M., Deo N, Lowalik S.J. :Algorytmy optymalizacji dyskretnej: PWN '93
- [7] Szymańda J.M.: System archiwizacji i identyfikacji sygnałów elektrycznych.: Transactions on computer applications in electrical engineering : XV Conference ZKwE '10, Poznan, April 19-21, 2010 / [sci. ed. Ryszard Nawrowski]. Poznań : Agencja Reklamowa COMPRINT, 2010. s. 75-76
- [8] Szymańda J.M.: The automatic data acquisition in distributed systems teletransmission: Logistyka 6/2010, CD Rom, Poland, 2010, 6, ADE, str.: 3587-3599: ISSN: 1231-5478
- [9] Szymańda J.M.: System automatycznej akwizycji danych w systemach rozproszonych.: Transactions on computer applications in electrical engineering : XVI Conference ZKwE '11, Poznan, April 11-12, 2011 / [sci. ed. Ryszard Nawrowski]. Poznań : Agencja Reklamowa COMPRINT, 2011. s. 271-272
- [10] Szymańda J.M.: The automation of data acquisition in distributed systems teletransmission.:2011 10th International Conference on Environment and Electrical Engineering, Rome, Italy, 8-11 May 2011 / eds. M. Caciotta, Z. Leonowicz. [Piscataway, NJ] : IEEE, cop. 2011. s. 744-746

Projekt został sfinansowany ze środków Narodowego Centrum Nauki przyznanych na podstawie decyzji numer DEC-2011/01/B/ST8/02515