

Antoni KRAHEL

DETEKCJA NIEOKRESOWYCH ZABURZEŃ PRZEBIEGÓW SIECIOWYCH

STRESZCZENIE *W przebiegach napięć i prądów sieciowych oprócz dominującej składowej periodycznej występują składowe aperiodyczne wywołane załączaniem, wyłączaniem odbiorników, ich niestabilną pracą itp. Zaburzenia te w szczególnych przypadkach mogą negatywnie wpływać na pracę urządzeń podłączonych do sieci. Pomiar tych składowych jest utrudniony ponieważ wymaga wcześniejszej ich rejestracji. W prezentowanym artykule przedstawiono koncepcję działania układu wyzwiania rejestracji nieokresowych zaburzeń przebiegów sieciowych.*

Słowa kluczowe: *jakość energii, rejestracja zaburzeń, zaburzenia nieokresowe*

1. WSTĘP

Tradycyjnie przyjmuje się że przebiegi napięć i prądów występujące w sieci energetycznej są okresowe. Jednak w rzeczywistości sieć energetyczna „żyje” – nieustannie włączane lub wyłączane są różne urządzenia: odbiorniki, generatory, kompensatory mocy biernej itp. Powoduje to, że na okresowe przebiegi

mgr inż. Antoni KRAHEL
e-mail: antoni.krahel@iel.gda.pl

Institut Elektrotechniki
Oddział w Gdańsku

sieciowe nakładane są aperiodyczne zaburzenia. Ich mnogość sprawia że można je traktować jako swoisty szum tła. W dobrze funkcjonującej sieci nie stanowią one problemu. Jednak mogą występować zaburzenia o większej wartości, które mogą negatywnie oddziaływać na podłączone do sieci urządzenia: powodować zawieszanie lub resetowanie komputerów, układów automatyki, wpływać na wyniki pomiarów w laboratorium itp. Wywoływane są one zwykle przez źle funkcjonujące lub źle podłączone do sieci urządzenia. Diagnostyka takich zaburzeń jest utrudniona, ponieważ występują one incydentalnie a więc nie można ich zmierzyć podłączając w dowolnym momencie odpowiedni przyrząd. Aby móc poddać takie zaburzenie analizie należy najpierw je zarejestrować. Służą do tego rejestratory. Przyrządy te ze względów ekonomicznych nie rejestrują w sposób ciągły przebiegów sieciowych, lecz „obserwują” sieć i w przypadku wykrycia zaburzenia rejestrują wycinek przebiegu zawierający to zaburzenie. Skuteczność działania tych przyrządów uzależniona jest od ich zdolności do prawidłowego wykrywania zaburzeń. W spotykanych konstrukcjach rejestratorów wyzwalenie rejestracji następuje po przekroczeniu zadanego poziomu wartości chwilowej lub jej pochodnej albo też przy zmianach wartości skutecznej lub wartości wybranych harmonicznym.

W referacie zaproponowano alternatywny sposób wykrywania nieokresowych zaburzeń wykorzystujący technikę uśredniania koherentnego [1].

2. ZASADA DZIAŁANIA DETEKTORA

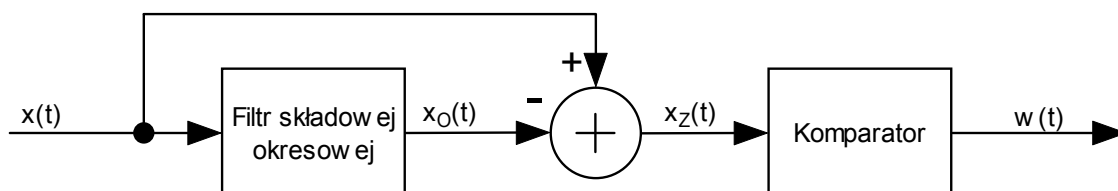
Występujące w sieci energetycznej przebiegi wartości chwilowej prądu i napięcia można rozpatrywać jako sumę składowej okresowej $x_0(t)$, złożonej z: podstawowej sinusoidy (50 Hz) i jej harmonicznym oraz składowej $x_Z(t)$ zawierającej pozostałe zaburzenia.

$$x(t) = x_0(t) + x_Z(t) \quad (1)$$

Na $x_Z(t)$ składają się zarówno zaburzenia aperiodyczne jak i periodyczne o częstotliwości różnej od częstotliwości harmonicznym sieci – interharmonicznym.

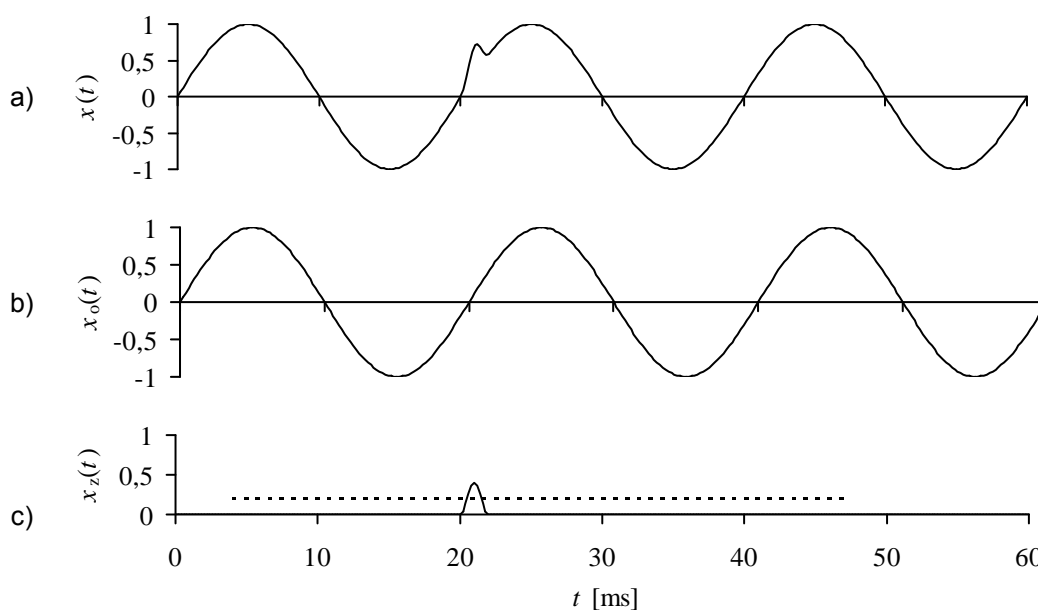
Ponieważ składowa okresowa a dokładniej jej pierwsza harmoniczna jest w sieci dominująca, detekcja pozostałych zaburzeń a w tym składowym aperiodycznym jest utrudniona. Zatem aby umożliwić detekcję niewielkim składowym aperiodycznym należy najpierw usunąć (zredukować) z analizowanego

przebiegu dominującą składową okresową jak to przedstawiono na rysunku 1. Oznaczenia wprowadzone na rysunku: $x(t)$ – sygnał mierzony: prąd, napięcie, moc itp, $x_0(t)$ – składowa okresowa sygnału mierzonego, $x_z(t)$ – składowa zaburzeń nieokresowych, $w(t)$ – sygnał wyzwalający.



Rys. 1. Schemat blokowy detektora nieokresowych zaburzeń

Zakładając, że po usunięciu składowej okresowej z analizowanego przebiegu składową dominującą (w sensie wartości szczytowych) są zaburzenia aperiodyczne ich detekcję można przeprowadzić za pomocą komparatora. Na rysunku 2 przedstawiono przykładowe przebiegi ilustrujące działanie zaproponowanego detektora. Sygnał wejściowy $x(t)$ posiada widoczne na zboczach narastającym drugiego okresu aperiodyczne zaburzenie. Sygnał na wyjściu filtru $x_0(t)$ jest od niego wolny, zatem ich różnica czyli $x_z(t)$ zawiera jedynie zaburzenie, którego detekcja nie stanowi już problemu.



Rys. 2. Przebiegi sygnałów ilustrujące działanie rejestratora: a) sygnał mierzony: prąd, napięcie, moc itp. – $x(t)$, b) składowa okresowa sygnału mierzonego – $x_0(t)$, c) składowa zaburzeń nieokresowych – $x_z(t)$

Z powyższego łatwo się zorientować, że w proponowanym rozwiązaniu kluczowe znaczenie ma filtr składowej okresowej. Powinien on przenieść bez zmian składową podstawową przebiegu sieciowego i jej harmoniczne, a wytłumić pozostałe składowe. Należy przy tym zaznaczyć, że filtr ten nie powinien zniekształcić przebiegu czasowego składowej okresowej tj. nie powinien zmieniać ani wartości amplitud harmoniczných ani ich wzajemnych relacji fazowych.

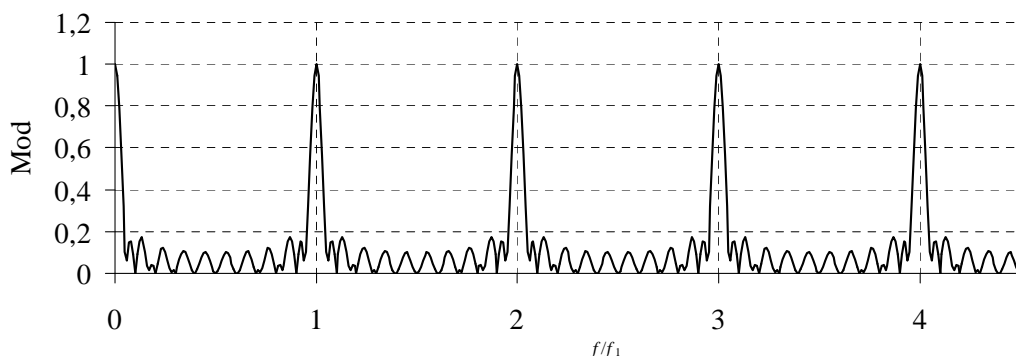
3. FILTR SKŁADOWEJ OKRESOWEJ

Wymagany do detektora filtr można zrealizować na kilka sposobów. W niniejszej pracy zaprezentowane zostanie najprostsze rozwiązanie (niekoniecznie najlepsze). Polega ono na wyznaczeniu wartości chwilowej sygnału wyjściowego jako wartości średniej z wartości sygnału wejściowego w chwili bieżącej i chwilach odpowiadających tej samej fazie w $M-1$ poprzednich okresach:

$$x_o(t) = \frac{1}{M} \sum_{m=0}^{M-1} x(t - mT) \quad (2)$$

gdzie: T jest okresem analizowanego przebiegu.

Postępowanie takie uwydatnia składowe, które przyjmują zbliżone wartości w M oddalonych od siebie o T chwilach czasu (w tym składową stałą), zaś tłumi te, które tego warunku nie spełniają. W dziedzinie częstotliwości odpowiada to przeniesieniu składowych o częstotliwościach będących wielokrotnościami częstotliwości pierwszej harmonicznój a stłumieniu pozostałych.



Rys. 3. Charakterystyka amplitudowa filtra składowej wg (2) ($M = 10$, $f_1 = 1/T$)

Wyraźnie widoczne jest to na rys. 3, na którym przedstawiono częstotliwościową charakterystykę amplitudową filtra realizującego równanie (2). Przyjęto przy tym, że filtr analizuje 10 ostatnich okresów przebiegu wejściowego tj. $M = 10$.

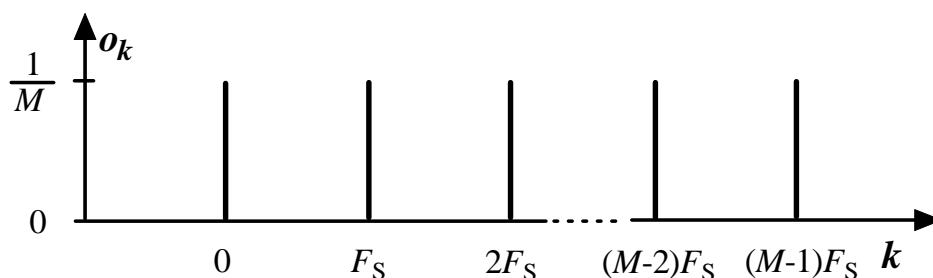
Cyfrowa realizacja filtra działającego wg powyższej zależności wymaga zapewnienia synchronicznego próbkowania (rozwiązanie powszechnie stosowane w analizatorach przebiegów sieciowych). Wtedy dla względnej częstotliwości próbkowania wynoszącej F_s próbek na okres analizowanego przebiegu zależność (2) sprowadzi się do równia różnicowego filtra o skończonej odpowiedzi impulsowej o postaci:

$$x_o(n) = \sum_{k=0}^{F_s(M-1)} o_k x(n-k) \quad (3)$$

gdzie:

$$o_k = \begin{cases} \frac{1}{M} & \text{dla } k = nF_s \\ 0 & \text{dla } k \neq nF_s \end{cases} \quad (4)$$

Okno takiego filtra opisane przez współczynniki o_k ma postać M równo oddalonych o F_s prążków o wartości $1/M$ jak to przedstawiono na rys. 4. Określenia użyte na rysunku oznaczają: o_k – wartość współczynników okna, F_s – względna częstotliwość próbkowania, M – liczba analizowanych okresów przebiegu wejściowego.



Rys. 4. Kształt okna filtra składowej okresowej

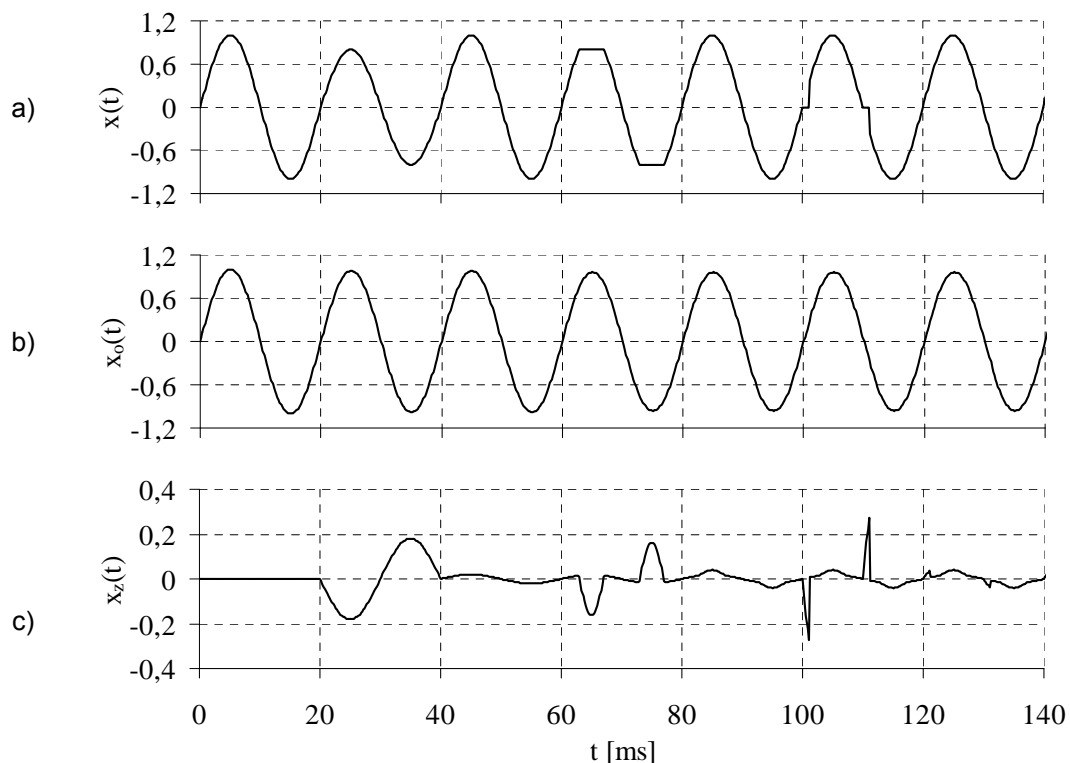
Taka postać okna jest korzystna z realizacyjnego punktu widzenia ponieważ wymaga wykonania jedynie M operacji sumowań w każdym cyklu próbkowania (tylko M współczynników o_k jest różnych od zera).

4. WYNIKI SYMULACYJNE

W celu sprawdzenia zachowania się układu detekcji przy różnych rodzajach zaburzeń przeprowadzono badania symulacyjne. Przyjęto następujące parametry filtru: częstotliwość próbkowania 5 kHz (synchronicznie z siecią 100 pr./okres), rozmiar okna 1000 kroków próbkowania (10 okresów analizowanego przebiegu).

Przeprowadzono dwa rodzaje prób: wykrywanie incydentalnych krótkotrwałych zaburzeń przebiegu okresowego i wykrywanie trwałych zmian parametrów przebiegu okresowego.

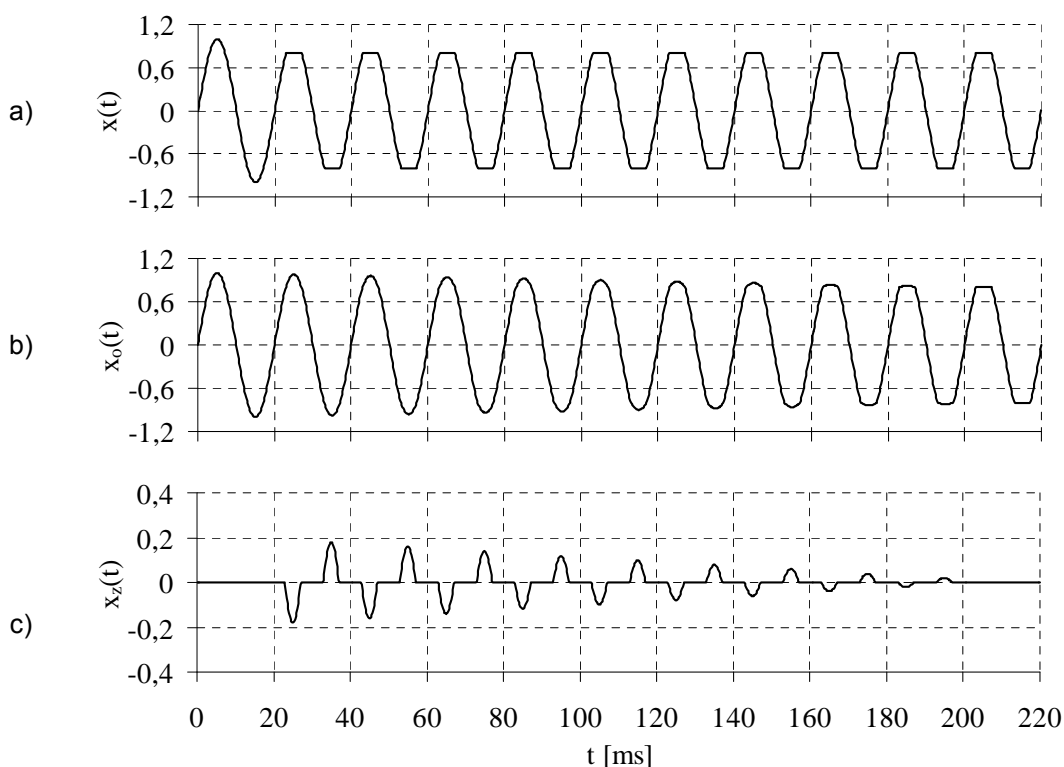
Do prób detekcji incydentalnych zaburzeń zastosowano pobudzenie sinusoidalne, które poddano krótkotrwałym deformacjom: zmniejszenie amplitudy o 20 % na jeden okres, ograniczenie przebiegu do 80 % wartości amplitudy na jeden okres, opóźnienie występowania przy przejściu przez zero o 1 ms (symulacja pracy prostownika tyrystorowego). Powyższe odkształcenia pokazane są na rys. 5 (wykres $x(t)$).



Rys. 5. Odpowiedź układu detekcji na różne rodzaje zaburzeń [zmniejszenie amplitudy o 20 % (20 – 40 ms), ograniczenie przebiegu (60 – 80 ms), opóźnienie załączenia (100 – 120 ms)]: a) sygnał analizowany – $x(t)$, b) składowa okresowa na wyjściu filtru – $x_0(t)$, c) wykryta składowa zaburzeń – $x_z(t)$

Na kolejnym wykresie przedstawiono odpowiedź filtru składowej okresowej $x_o(t)$ na powyższe pobudzenie. Jak widać jest to przebieg prawie sinusoidalny, występujące w pobudzeniu zaburzenia zostały wytłumione. Ostatni z wykresów przedstawia różnicę dwóch pierwszych przebiegów czyli wyznaczony sygnał zaburzeń $x_z(t)$. W przebiegu dominują występujące w analizowanym sygnale zaburzenia. Dodatkowego komentarza wymaga niewielka składowa która ujawnia się po zaniku właściwego zaburzenia. Jest ona reakcją filtru na zaburzenie, swoistym echem zaburzenia. Składowa ta zanika po czasie odpowiedzi impulsowej filtru (w prezentowanym przypadku po 10 okresach).

Reakcję układu detekcji na trwałą zmianę kształtu analizowanego przebiegu zbadano poprzez pobudzenie detektora sygnałem sinusoidalnym, który w pewnym momencie zmienia kształt na ograniczoną sinusoidę, jak to przedstawiono na rys. 6.



Rys. 6. Odpowiedź układu detekcji na zmianę kształtu analizowanego przebiegu:
 a) sygnał analizowany – $x(t)$, b) składowa okresowa na wyjściu filtru – $x_o(t)$, c) wykryta składowa zaburzeń – $x_z(t)$

Jak widać, zmiana kształtu analizowanego przebiegu została wykryta, po czym filtr w czasie równym czasowi jego odpowiedzi impulsowej dostraja się do nowego kształtu przebiegu.

5. PODSUMOWANIE

Zaprezentowana w artykule koncepcja detekcji nieokresowych zaburzeń a właściwie zmian kształtu okresowego przebiegu może zostać wykorzystana do wykrywania zmian sygnałów sieciowych. Zastosowanie eliminacji dominującej składowej okresowej z analizowanego przebiegu pozwala przyjąć jako kryterium klasyfikacji zaburzenia jego wartość szczytową niezależnie od momentu jego wystąpienia czy też jego kształtu.

LITERATURA

1. Lyons R. G.: Wprowadzenie do cyfrowego przetwarzania sygnałów. WKŁ, Warszawa, 2003.

Rękopis dostarczono, dnia 20.02.2007 r.

Opiniował: dr inż. Stefan Wójtowicz

DETECTION OF APERIODICAL DISTORTION OF WAVEFORMS IN ELECTRIC POWER NETWORK

Antoni KRAHEL

ABSTRACT *Voltage and current waveforms in power network consist of dominating periodic components and aperiodic components related to switching on and off of big loads or dynamic processes in the network. These aperiodic components in some cases have a negative impact on other devices connected to the network. The measurement process of these components is difficult, because it demands registration of waveforms when the disturbance happens. The idea of aperiodic disturbances detection, which can be used for triggering the registration is presented in the paper.*