

(19)



URZĄD
PATENTOWY
RZECZYPOSPOLITEJ
POLSKIEJ

(10) **PL 243560 B1**

(12)

Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **433675**

(22) Data zgłoszenia: **2020.04.24**

(43) Data publikacji o zgłoszeniu: **2021.10.25 BUP 30/2021**

(45) Data publikacji o udzieleniu patentu: **2023.09.11 WUP 37/2023**

(51) MKP:

G01R 22/10 (2006.01)

G06F 17/18 (2006.01)

(73) Uprawniony z patentu:

POLITECHNIKA WARSZAWSKA, Warszawa, PL

(72) Twórca(-y) wynalazku:

ROBERT ŁUKASZEWSKI, Warszawa, PL

KRZYSZTOF DOWALLA, Żąbki, PL

RYSZARD KOWALIK, Warszawa, PL

PIOTR BILSKI, Olsztyn, PL

(74) Pełnomocnik:

Piotr Mierzwiński, Warszawa, PL

(54) Tytuł:

**Urządzenie do detekcji zmiany trybu pracy oraz identyfikacji odbiorników elektrycznych
i sposób detekcji zmiany trybu pracy oraz identyfikacji odbiorników elektrycznych**

PL 243560 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest urządzenie do detekcji zmiany trybu pracy oraz identyfikacji odbiorników elektrycznych i sposób detekcji zmiany trybu pracy oraz identyfikacji odbiorników elektrycznych.

Z europejskiego zgłoszenia EP3174004A1 znany jest sposób rozkładu zużycia energii elektrycznej przez poszczególne odbiorniki energii w środowisku domowym. Urządzenie do wyznaczania rozkładu prądów w obwodzie zawiera blok komunikacji, blok akwizycji danych, blok szacowania stanu odbiornika, blok pamięci modelu, blok uczenia modelu, blok etykietowania i blok przetwarzania danych. W szczególności blok komunikacji odbiera bieżący szereg czasowy przebiegów prądu, wysłany z czujnika prądu przez sieć. Blok komunikacji otrzymuje szereg danych dostarcza do bloku akwizycji danych. Ponadto, blok komunikacyjny odbiera dane wysłane z agenta przez sieć i dostarcza do bloku etykietowania lub bloku przetwarzania danych. Ponadto blok komunikacyjny wysyła dane dostarczone do agenta z bloku etykietowania lub bloku przetwarzania danych przez sieć. Ponadto blok przetwarzania danych wykrywa stan działania każdego urządzenia w domu użytkownika na podstawie wyników estymacji stanu odpowiednich modeli urządzenia. Konfiguracja urządzenia pozwala na stosowanie modeli FHMM (Factorial Hidden Markov Model) do wyznaczania rozkładów prądów w danym obwodzie elektrycznym.

Wadą tego rozwiązania jest brak możliwości rozróżniania prądów od odbiorników o niskiej mocy oraz brak możliwości rozróżniania prądów od odbiorników o podobnych mocach. Metoda ta jest wrażliwa na zakłócenia zewnętrzne oraz na pracę w obwodzie analizowanym odbiorników o zmiennym poborze mocy jak np. pralka. Wyniki własnych badań eksperymentalnych wskazują, że metoda ta cechuje się słabą skutecznością oraz jest bardzo trudna i kosztowna w realizacji w przypadku analizy obwodu, w którym jednocześnie pracuje więcej niż 3 urządzenia oraz w przypadku zmiany stanu więcej niż jednego urządzenia w czasie krótszym od 1 s. Metoda ta wymaga też tworzenia nowego modelu w przypadku dodania do analizowanego obwodu elektrycznego każdego nowego odbiornika.

Część problemów rozwiązują przybliżone w dalszej części rozwiązania wymienione poniżej.

Z polskiego patentu nr PAT.229626 znany jest sposób identyfikacji odbiorników energii elektrycznej polegający na tym, że mierzy się sygnały prądu i napięcia zasilania sieci niskiego napięcia, próbuje je w układach przetworników analogowo-cyfrowych i przetwarza na sygnały cyfrowe a następnie grupuje się w dwa wektory próbek odwzorowujących te sygnały w dziedzinie czasu, które przekształca się w widma i identyfikuje się odbiorniki na podstawie wyznaczonych na wybranych częstotliwościach admitancji lub impedancji. Z tego samego dokumentu znane jest urządzenie do identyfikacji odbiorników energii elektrycznej zawierające moduł pomiaru prądu i moduł pomiaru napięcia, których wejścia połączone są z zaciskami sieci zasilającej i wyjście modułu pomiaru napięcia połączone jest poprzez przetwornik analogowo-cyfrowy i następnie blok przetwarzania FFT z blokiem obliczeń impedancji i/lub admitancji zespolonej.

Z polskiego opisu patentowego PAT.232306 znany jest sposób identyfikacji odbiorników energii elektrycznej obejmujący etap pomiaru prądu $i(t)$ w sieci zasilania, etap wykrywania momentu zmiany stanu sieci oraz etap identyfikacji odbiorników stanowiących źródło tych zmian. Zgodnie z tym wynalazkiem sposób cechuje się tym, że po etapie pomiaru prądu uzyskuje się sygnał $i(t)$ reprezentujący przebieg prądu w czasie, a następnie wyznacza się jego widmo poczynając od momentu zmiany stanu sieci w odcinku czasu dłuższym lub równym 2 ms, a następnie widmo to porównuje się z zespołem wzorców i identyfikuje się odbiornik na podstawie najbardziej dopasowanego wzorca. Z tego samego dokumentu znane jest urządzenie do detekcji zmian trybu pracy oraz identyfikacji odbiorników w sieci zasilania zawierające moduł pomiaru prądu, zgodnie z wynalazkiem cechujące się tym, że zawiera blok wyznaczania widma przyjmujący sygnał wyjściowy z modułu pomiaru prądu oraz blok wykrywania zmian sieci przyjmujący sygnał wyjściowy z modułu pomiaru prądu oraz moduł dyskryminatora połączony z blokiem wyznaczania widma oraz modulem pamięci przechowującym zespół wzorców.

Z polskiego patentu nr PAT.232305 znany jest sposób wykrywania zmian trybu pracy i identyfikacji odbiorników podłączonych do sieci zasilania obejmujący etap pomiaru przebiegów prądu $i(t)$ i napięcia $u(t)$ w sieci zasilania oraz etap identyfikacji odbiorników, w którym przed etapem identyfikacji wyznacza się moment przejścia napięcia $u(t)$ przez zero, a następnie poczynając od tego momentu wyznacza się czasowo-częstotliwościowe widmo przebiegu prądu $i(t)$, które porównuje się z zespołem wzorców i identyfikuje się odbiornik na podstawie najlepiej dopasowanego wzorca. Sposób według patentu PAT.232305 realizuje się za pomocą urządzenia wyposażonego w moduł pomiaru prądu oraz moduł pomiaru napięcia i moduł dyskryminatora. Urządzenie to zawiera ponadto moduł wyznaczania widma przyjmujący sygnał wyjściowy z modułu pomiaru prądu i moduł przetwarzania przebiegu napięcia

przyjmujący sygnał wyjściowy z modułu pomiaru napięcia, który ma wyjście połączone z wejściem modułu wyznaczania widma. Moduł dyskryminatora przyjmuje na wejściu sygnał wyjściowy z modułu wyznaczania widma i jest połączony z modułem pamięci mieszczącym zespół wzorców.

Wadą wymienionych, znanych systemów jest to, że sygnał zakłócający wprowadzany do sieci przez włączany odbiornik zależy od obciążenia tej sieci. W związku z tym w zależności od warunków pracy metody ze stanu techniki mogą zawodzić z uwagi na to, że przy jednoczesnym włączeniu wielu odbiorników zmieniają one swoje charakterystyczne wprowadzane do sieci zniekształcenia.

Problem ten częściowo rozwiązuje wynalazek opisany w polskim zgłoszeniu patentowym numer P.430955. Z opisu do tego zgłoszenia znany jest sposób identyfikacji w sieci zasilania włączanego odbiornika w sieci zasilania obejmujący etap pomiaru przebiegu prądu $i(t)$, po którym dalej przetwarza się prąd na sygnał napięciowy, sygnał napięciowy poddaje się próbkowaniu, a następnie transformacji uzyskując reprezentację sygnału, oraz etap identyfikacji odbiornika. Sposób opisany w tym dokumencie cechuje się tym, że etap pomiaru prądu przeprowadza się cyklicznie zapamiętując reprezentację sygnału, a ponadto w trakcie wykonywania etapu pomiaru prądu generuje się cykliczny sygnał impulsowy zsynchronizowany z określoną fazą napięcia zasilania sieci, natomiast w trakcie etapu identyfikacji wyznacza się różnicę pomiędzy bieżącą reprezentacją sygnału prądu a zapamiętaną reprezentacją sygnału prądu i różnicę tę porównuje się z zespołem wzorców odpowiadających odbiornikom, wybierając najbliższy wzorzec, zaś jako wynik identyfikacji przyjmuje się odbiornik odpowiadający najbliższemu wzorcowi. Z tego samego zgłoszenia patentowego P.430955 znane jest urządzenie do identyfikacji w sieci zasilania włączanego odbiornika zawierające moduł pomiaru prądu połączony za pośrednictwem przetwornika z modułem przetwarzania połączonym z modułem dyskryminatora, do którego jest dołączony ponadto moduł pamięci. Urządzenie opisane w tym dokumencie cechuje się tym, że przetwornik jest synchronizowany a do jego wejścia synchronizacji jest dołączone wyjście synchronizacji generatora impulsów z synchronizacją fazy napięcia wyposażonego w zaciski przystosowane do podłączania do sieci zasilania, przy czym moduł przetwarzania jest połączony z modułem dyskryminatora za pośrednictwem modułu odejmującego, oraz bufora. W takiej konfiguracji urządzenie według tego wynalazku wyznacza zniekształcenie sygnału wzorcowego analizując wynik odejmowania sygnału zniekształconego od zbuforowanego sygnału niezniekształconego zarejestrowanego wcześniej.

Wszystkie znane wynalazki opierają się na skomplikowanych metodach analizy sygnałów i skomplikowanych metodach przetwarzania danych numerycznych. Stosowane są różne metody analizy częstotliwościowej oraz modele Markova. Analiza taka wymaga dużej mocy obliczeniowej i co się z tym wiąże sporych kosztów realizacji.

W niniejszym zgłoszeniu patentowym proponuje się konfigurację układową pozwalającą na analizę sygnałów w dziedzinie czasu co pozwoli na znaczne zmniejszenie wymagań na moc obliczeniową zastosowanych układów. Jednocześnie analiza w dziedzinie czasu, a dokładniej bezpośrednia analiza wartości próbek prądu uzyskanych w wyniku pomiaru, w odróżnieniu od metod analizy sygnałów i danych stosowanych w znanych rozwiązaniach, nie powoduje utraty części informacji zawartych w analizowanych sygnałach prądu i napięcia. Zaletą rozwiązania jest to, że proponowane rozwiązanie pozwala na identyfikację stanów pracy odbiorników elektrycznych w badanym obwodzie z dużą dokładnością. Dodatkowo w proponowanym rozwiązaniu możliwa jest identyfikacja stanów pracy szerokiej gamy odbiorników, także tych o małej mocy oraz o mocach zbliżonych do siebie. Proponowany sposób jest ponadto bardziej odporny od znanych sposobów na zakłócenia pochodzące z zewnątrz badanego obwodu oraz umożliwia identyfikację stanów pracy odbiorników energii elektrycznych przy jednocześnie włączonych innych odbiornikach o zmiennej mocy pobieranej.

Podczas stabilnej pracy odbiornika energii elektrycznej lub wielu takich odbiorników zaobserwowano, że rejestrowane wartości chwilowe prądu są zbliżone w powtarzalnych chwilach (t_m) względem czasu osiągnięcia określonej fazy przez sygnał składowej podstawowej napięcia sieci nn (t_{0k} , gdzie k to numery kolejnych okresów składowej podstawowej sygnału napięcia sieciowego). W przypadku włączenia dodatkowego odbiornika, wyłączenia już włączonego odbiornika lub zmiany jego stanu wartości chwilowe prądu ulegają zmianie, która jest charakterystyczna dla danego typu odbiornika lub jego stanu. Koncepcja wynalazku polega na identyfikacji stanu pracy odbiornika energii elektrycznej na podstawie ciągłych pomiarów przebiegu sumarycznego prądu zasilania sieci nn tj. na wyznaczeniu różnicy wartości chwilowych sygnału prądu w odpowiednio wybranych okresach sygnału składowej podstawowej napięcia sieci nn mierzonych w chwilach t_m .

Urządzenie zawiera moduły sprzętowe pozwalające na dokładną detekcję fazy sygnału składowej podstawowej napięcia sieci nn np. detekcję chwili przejścia z wartości ujemnych do dodatnich (t_{0k} ,

gdzie k to numery kolejnych okresów składowej podstawowej sygnału napięcia sieciowego). Urządzenie posiada moduły pozwalające na pomiar wartości chwilowych sygnału. Dodatkowo, po spróbkowaniu sygnału prądu w module przetwornika analogowo-cyfrowego, urządzenie dokonuje obliczeń wyznaczających wektory próbek sygnału prądu odpowiadające wartościom chwilowym tego sygnału w danym okresie sygnału napięcia sieci oraz dokonuje operacji odejmowania wyznaczonych kolejnych wektorów obliczając wektor zmian. Urządzenie używając modułu dyskryminatora dokonuje porównywania wyznaczonego wektora zmian z wektorami wzorcowymi zapisanymi w pamięci urządzenia.

W sposobie według wynalazku wyznacza się różnicę wartości chwilowych sygnału prądu w odpowiednio wybranych okresach sygnału składowej podstawowej napięcia sieci n mierzonych w chwilach t_m . Chwile t_m są wyznaczone dla każdego okresu napięcia sieci w identycznych odstępach czasu względem chwili osiągnięcia określonej wartości fazy przez sygnał składowej podstawowej napięcia sieci n (np. chwili przejścia tego sygnału z wartości ujemnych do dodatnich t_{0k} , gdzie k to numery kolejnych okresów składowej podstawowej sygnału napięcia sieciowego). Teoretyczna częstotliwość sieci elektrycznej w Europie to 50 Hz, w praktyce zmienia się ona w zakresie setnych części Hz. Z tego powodu nie wystarczy wyznaczyć raz t_0 i przyjąć, że następny moment t_0 wystąpi za $F_s/50$ próbek, gdzie jako F_s oznaczona jest częstotliwość próbkowania. Aby poprawnie wyznaczyć t_0 należy poddać sygnał napięcia filtracji dolnoprzepustowej. Korzystnym jest wykorzystanie do tego celu filtra dolnoprzepustowego o paśmie zaporowym powyżej częstotliwości 70 Hz. Najlepsze rezultaty przy wykorzystaniu sposobu według wynalazku uzyskiwane są stosując częstotliwość próbkowania F_s jest nie mniejszą niż 10 kHz. Należy zauważyć, że wynalazek można zastosować również w sieci n o częstotliwości 60 Hz zmieniając wartości podanych w nim parametrów charakterystycznych proporcjonalnie w odniesieniu do częstotliwości 50 Hz.

Przedmiotem wynalazku jest urządzenie do detekcji zmiany trybu pracy oraz identyfikacji odbiorników energii elektrycznej OEE w sieci elektroenergetycznej, które zawiera tor napięciowy, który zawiera filtr dolnoprzepustowy, którego wejście jest dołączone równolegle do sieci elektroenergetycznej a wyjście poprzez moduł pomiaru napięcia i moduł przetwornika analogowo-cyfrowego oraz poprzez moduł detekcji fazy do modułu przetwarzania, i tor prądowy, który zawiera moduł pomiaru prądu, którego wejście połączone jest w sposób szeregowy do sieci elektroenergetycznej, a wyjście poprzez moduł przetwornika analogowo-cyfrowego i moduł bufora do modułu przetwarzania, jednocześnie wyjście modułu przetwarzania poprzez bufor cykliczny i moduł filtracji połączone jest z wejściem modułu wyznaczania wektora zmian, którego wyjście dołączone jest na wejście modułu dyskryminatora, ponadto na wejście modułu dyskryminatora dołączone jest wyjście modułu pamięci wzorców odbiornika OEE.

Korzystnie, moduł detekcji fazy jest przystosowany do wyznaczania chwili czasowej, w której wartość sygnału napięcia sieci elektrycznej zmienia się z wartości ujemnej na dodatnią.

Korzystnie, moduł przetwarzania jest przystosowany do przekazywania z modułu bufora do modułu bufora cyklicznego wartości próbek prądu, począwszy od próbki wyznaczonej przez moduł fazy napięcia, których liczba odpowiada czasowi jednego okresu sygnału napięcia.

Korzystnie, w module bufora cyklicznego przechowywane są wartości próbek prądu dla określonej liczby ostatnich okresów sygnału napięcia, które tworzą macierz próbek, która jest podawana na wejście modułu filtracji.

Korzystnie, moduł filtracji jest przystosowany do realizacji filtracji medianowej lub filtracji uśredniającej lub filtracji modowej.

Korzystnie, moduł filtracji jest przystosowany do realizacji filtracji dla szeregu próbek pobieranych w chwilach jednakowo odległych w czasie od fazy wyznaczonej przez moduł detekcji fazy.

Korzystnie, moduł wyznaczania wektora zmian jest przystosowany do pobierania z modułu filtracji macierzy próbek i jest przystosowany do wyznaczania wektorów zmian i jest przystosowany do przekazywania wartości tych wektorów na wejście modułu dyskryminatora.

Korzystnie, moduł dyskryminatora jest przystosowany do porównania wartości wektorów zmian z wektorami definicji wzorców, które są przechowywane w module pamięci wzorców.

Korzystnie, moduł dyskryminatora jest przystosowany do detekcji zdarzeń zachodzących w obwodzie elektrycznym i/lub identyfikacji odbiornika OEE i/lub identyfikacji zmiany stanu odbiornika OEE.

Przedmiotem wynalazku jest również sposób detekcji zmiany trybu pracy oraz identyfikacji odbiorników elektrycznych OEE wykorzystujący pomiary chwilowych wartości sygnałów prądu i detekcję fazy napięcia obejmujący etap pomiaru prądu w sieci zasilania i etap pomiaru napięcia, w którym,

po etapie pomiaru prądu przetwarza się sygnał prądu na jego postać cyfrową, którą przekazuje się do modułu bufora a,

po etapie pomiaru napięcia przetwarza się sygnał napięcia na jego postać cyfrową na podstawie której za pomocą modułu detekcji fazy przeprowadza się detekcję określonej wartości fazy sygnału napięcia, a następnie

za pomocą modułu przetwarzania wybiera się odpowiednie wartości próbek z modułu bufora, które dalej formuje się w macierz w której kolejne kolumny zawierają wartości próbek prądu w kolejnych okresach napięcia począwszy od momentu osiągnięcia określonej wartości fazy przez sygnał napięcia, a następnie

za pomocą modułu filtracji filtruje się macierz po jej wierszach otrzymując macierz próbek po filtracji, z której wyznaczane są w module wyznaczania wektora zmian wektory zmian odejmujące wartości próbek macierzy próbek po filtracji z okresu przed zmianą stanu odbiornika OEE od wartości próbek macierzy próbek po filtracji z okresu zarejestrowanego po analizowanej zmianie stanu, kiedy odbiornik OEE który zmienił stan i będzie już w nowym stanie ustalonym, a następnie

wyznaczone wektory zmian za pomocą modułu dyskryminatora porównuje się z umieszczonymi w module pamięci wzorców wzorcowymi wektorami cech wszystkich odbiorników OEE w danym obwodzie elektrycznym,

identyfikując odbiornik OEE na podstawie najbardziej dopasowanego wzorca.

Korzystnie, za pomocą modułu detekcji fazy wyznacza się chwilę czasową, w której wartość sygnału napięcia sieci elektrycznej zmienia się z wartości ujemnej na dodatnią.

Korzystnie, za pomocą modułu przetwarzania przekazuje się z modułu bufora do modułu bufora cyklicznego wartości próbek prądu, począwszy od próbki wyznaczonej przez moduł fazy napięcia, których liczba odpowiada czasowi jednego okresu sygnału napięcia.

Korzystnie, w module bufora cyklicznego przechowuje się wartości próbek prądu dla określonej liczby ostatnich okresów sygnału napięcia, które tworzą macierz próbek, którą podaje się na wejście modułu filtracji.

Korzystnie, filtrację przeprowadza się dla szeregu próbek pobieranych w chwilach jednakowo odległych w czasie od fazy wyznaczonej przez moduł detekcji fazy.

Korzystnie, wszystkie etapy przeprowadza się na próbkach sygnału w dziedzinie czasu.

Korzystnie, chwile próbkowania sygnału prądu są skorelowane w czasie z momentem osiągnięcia określonej fazy przez sygnał napięcia.

Korzystnie, filtrację stanowi filtracja medianowa lub filtracja uśredniająca lub filtracja modowa.

Przedmiot wynalazku został ukazany w przykładzie wykonania na rysunku, na którym:

Fig. 1 przedstawia schemat blokowy urządzenia do detekcji zmiany trybu pracy oraz identyfikacji odbiorników elektrycznych wykorzystujące pomiary chwilowych wartości sygnałów prądu i napięcia.

Fig. 2 przedstawia przykład zmian w pseudookresowym sygnale spowodowanych włączeniem dodatkowego OEE.

Fig. 3 przedstawia wyznaczenie zmian w sygnale prądu – wyznaczenie wektora zmian $\Delta I_k^{(x)}$. Analizowany fragment macierzy poddano filtracji medianowej, $n=15$.

Fig. 4a przedstawia sygnał prądu zarejestrowany z wykorzystaniem wynalazku gdy podczas rejestracji został włączony kinkiet z 4 lampami LED (okres nr 23), fig. 4b – powiększony fragment sygnału prądu zarejestrowanego z wykorzystaniem wynalazku.

Urządzenie zawiera moduły sprzętowe pozwalające na dokładną detekcję chwili osiągnięcia określonej fazy przez sygnał składowej podstawowej napięcia sieci nn (t_{0k} , gdzie k to numery kolejnych okresów składowej podstawowej sygnału napięcia sieciowego). Posiada ono również moduły pozwalające na wyznaczenie wartości chwilowych sygnału prądu w odpowiednich chwilach czasu.

Ponadto, po spróbkowaniu sygnału prądu w module przetwornika analogowo-cyfrowego, urządzenie dokonuje obliczeń określając wektory próbek sygnału prądu odpowiadające wartościom chwilowym tego sygnału w danym okresie sygnału napięcia sieci oraz dokonuje operacji odejmowania zdefiniowanej wzorem 3) tych wektorów wyznaczając wektor zmian $\Delta I_k^{(x)}$. Urządzenie, dzięki zastosowaniu modułu dyskryminatora 12 dokonuje porównywania wyznaczonego wektora zmian $\Delta I_k^{(x)}$ z wektorami definicji wzorców $\Delta I_{wzorc}^{(x)}$ zapisanymi w module pamięci 11 urządzenia.

Za pomocą modułu dyskryminatora (12) dokonuje detekcji zdarzeń zachodzących w obwodzie elektrycznym i/lub identyfikacji odbiornika OEE i/lub identyfikacji zmiany stanu. Sposób podejmowania decyzji o tym, który OEE zmienił stan i na jaki oraz czy zaszło zdarzenie w obwodzie nn realizowane w następujący sposób. W pamięci zapisane są wektory wzorców zmian stanów wszystkich odbiorników

OEE, przy czym są one różne dla każdego odbiornika OEE. Z wektorami wzorców powiązane są wartości określające wystarczające podobieństwo aktualnego wektora zmian i wektora wzorca (wartości są te różne dla różnych stanów i różnych odbiorników OEE; wartości te są dobierane doświadczalnie). Podobieństwo jest określane przez przyjętą miarę, którą może być: odległość wektorów w przestrzeni euklidesowej lub zwykła suma różnic między elementami wektorów o tych samych indeksach lub średnia arytmetyczna różnic między elementami wektorów o tych samych indeksach lub korelacja itp. (w przykładzie wykonania zastosowano te cztery miary, jednak możliwa jest też większa ich liczba, w innym przykładzie wykonania zastosowano metodę hybrydową polegającą na jednoczesnym stosowaniu kilku miar). Urządzenie według wynalazku w trakcie pracy wyznacza wektor zmian, ciągle, w każdym okresie napięcia nn. Po upływie każdego okresu porównano (stosując wcześniej wymienione miary) aktualny wektor zmian z każdym wektorem wzorców, bez względu na stosowaną miarę, w wyniku porównania otrzymano wartości (np. wyniki korelacji albo odległości między wektorami) przypisane do każdego wektora wzorca a tym samym do każdego odbiornika OEE. Wykorzystując najmniejszą wartość (to oznacza że wektory są najbardziej podobne, jednak przy zastosowaniu metody korelacji zachodzi konieczność uwzględnienia największej liczby) i w ten sposób zidentyfikowano odbiornik OEE i jego aktualny stan. Jeśli wartość ta jest mniejsza (przy korelacji większa) od liczby określającej wystarczające podobieństwo to znaczy, że odbiornik OEE zmienił swój stan na stan powiązany z danym wzorcem i jednocześnie w obwodzie nn zaszło zdarzenie w okresie, którego dotyczy analizowany aktualny wektor zmian.

W urządzeniu do detekcji zmiany trybu pracy oraz identyfikacji odbiorników energii elektrycznej OEE w sieci elektroenergetycznej według wynalazku wyodrębniono tor prądowy, tor napięciowy i tor wspólny.

W torze napięciowym, urządzenie posiada filtr dolnoprzepustowy 1, którego wejście jest dołączone równolegle do sieci elektroenergetycznej. Moduł pomiaru napięcia 2 realizuje pomiar przefiltrowanego sygnału napięcia dostarczonego z filtra 1. Wyjście modułu pomiaru napięcia 2 dołączone jest poprzez moduł przetwornika analogowo-cyfrowego 3 i moduł detekcji fazy 4 do modułu przetwarzania 7. Po próbkowaniu sygnału napięcia $u(t)$ w module przetwornika analogowo-cyfrowego 3 sygnał cyfrowy poddaje się detekcji w module detekcji fazy 4.

Urządzenie zawiera moduł pomiaru prądu 32, którego wejście połączone jest w sposób szeregowy (prądowy) z jednej strony z przewodem fazy sieci elektroenergetycznej, a z drugiej z odbiornikiem energii elektrycznej w sposób pokazany na Fig. 1. Wyjście modułu 32 jest połączone poprzez moduł przetwornika analogowo-cyfrowego 5 i moduł bufora 6 do modułu przetwarzania 7. Wyjście modułu pomiaru prądu 32 połączone jest poprzez moduł przetwornika analogowo-cyfrowego 5 do modułu bufora 6. Moduł bufora 6 przechowuje wartości ostatnich $2 \cdot M$ próbek odczytanych z wyjścia modułu przetwornika analogowo-cyfrowego 5. Konieczność przechowywania więcej niż M próbek wynika z potrzeby skorygowania opóźnienia wprowadzanego przez oba tory analogowe (napięciowy i prądowy), przy założeniu że opóźnienia te są nie większe od 20 ms.

W torze wspólnym, wyjście modułu przetwarzania 7 poprzez bufor cykliczny 8 i moduł filtracji 9 połączone jest z wejściem modułu wyznaczania wektora zmian 10, którego wyjście dołączone jest na wejście modułu dyskryminatora 12. Ponadto na wejście modułu dyskryminatora 12 dołączone jest wyjście modułu pamięci wzorców 11 odbiorników energii elektrycznej OEE.

Po otrzymaniu binarnego sygnału sterującego z modułu detekcji fazy 4 moduł przetwarzania 7 odczytuje z wyjścia modułu bufora 6 dokładnie $M = F_s/50$ kolejnych wartości próbek prądu, odpowiadających wektorowi I_k i przekazuje je na wejście modułu bufora cyklicznego 8. Z modułu bufora 6, spośród $2M$ przechowywanych wartości próbek przekazywane są te o indeksach $M-F+1$ do $2M-F$, gdzie F jest liczbą próbek odpowiadającą wzajemnemu opóźnieniu sygnałów w torach analogowych. W module bufora cyklicznego 8 przechowywane są wartości próbek dla ostatnich P_x+n wektorów I_k , dzięki czemu możliwe jest wyznaczenie wartości macierzy I_p , która jest podawana na wejście modułu filtracji 9. Moduł filtracji 9 realizuje filtrację medianową rzędu n wzdłuż wierszy macierzy I_p . Wyznaczone wartości po filtracji są zapisywane do macierzy I . Z wyjścia modułu filtracji 9 na wejście modułu wyznaczania wektora zmian 10 przekazywane są wartości próbek macierzy I . Moduł wyznaczania wektora zmian 10 realizuje wyznaczanie wektorów $\Delta I_k^{(x)}$ według wzoru 3) określonego w sposobie według wynalazku. Wektory zmian $\Delta I_k^{(x)}$ wyznaczone przez moduł wyznaczania wektora zmian 10 są podawane na wejście modułu dyskryminatora 12. Do wejść modułu dyskryminatora 12 dołączone są wyjścia modułu wyznaczania wektora zmian 10 oraz modułu pamięci wzorców 11 odbiorników OEE. W module pamięci wzorców 11 odbiorników OEE przechowywane są wzorce $\Delta I_{wzorz}^{(x)}$ znanych odbiorników OEE w postaci wektorów definicji

wzorców. W module dyskryminatora 12 porównywane są wektory zmian $\Delta I_k^{(x)}$ z wektorami definicji wzorców $\Delta I_{wzorc}^{(x)}$. Wynikiem porównania jest decyzja o tym który z odbiorników OEE zmienił stan (identyfikacja odbiornika OEE) i w jakim stanie się aktualnie znajduje (identyfikacja stanu odbiornika OEE).

Dodatkowo, przedstawiona zasada działania urządzenia według wynalazku pozwala na detekcję zdarzeń zachodzącym w obwodzie elektrycznym, do którego dołączone jest to urządzenie. Przy czym jako zdarzenie rozumie się włączenie, wyłączenie lub zmianę stanu dowolnego OEE dołączonego do obwodu elektrycznego do którego jednocześnie dołączone jest urządzenie według wynalazku. Detekcja zdarzeń jest realizowana w module dyskryminatora jednocześnie z identyfikacją OEE i identyfikacją stanu OEE.

Sposób detekcji zmiany trybu pracy oraz identyfikacji odbiorników elektrycznych OEE wykorzystujący pomiary chwilowych wartości sygnałów prądu i detekcję fazy napięcia obejmuje etap pomiaru prądu w sieci zasilania i etap pomiaru napięcia w sieci zasilania oraz etap identyfikacji odbiorników. Zgodnie z wynalazkiem po etapie pomiaru prądu przetwarza się sygnał prądu na jego postać cyfrową, którą przekazuje się do modułu bufora 6. Po etapie pomiaru napięcia przetwarza się sygnał napięcia na jego postać cyfrową na podstawie której za pomocą modułu detekcji fazy 4 przeprowadza się detekcję określonej wartości fazy sygnału napięcia, a następnie za pomocą modułu przetwarzania 7 wybiera się odpowiednie wartości próbek z modułu bufora 6, które dalej formuje się w macierz w której kolejne kolumny zawierają wartości próbek prądu w kolejnych okresach napięcia począwszy od momentu osiągnięcia określonej wartości fazy przez sygnał napięcia. W kolejnym etapie za pomocą modułu filtracji 9 filtruje się macierz po jej wierszach otrzymując macierz próbek po filtracji, z której wyznaczane są w module wyznaczania wektora zmian 10 wektory zmian odejmując wartości próbek macierzy próbek po filtracji z okresu przed zmianą stanu odbiornika OEE od wartości próbek macierzy próbek po filtracji z okresu zarejestrowanego po analizowanej zmianie stanu, kiedy odbiornik OEE który zmienił stan i będzie już w nowym stanie ustalonym. Wyznaczone wektory zmian za pomocą modułu dyskryminatora 12 porównuje się z umieszczonymi w module pamięci wzorców 11 wzorcowymi wektorami cech wszystkich odbiorników OEE w danym obwodzie elektrycznym, identyfikując w ten sposób odbiornik OEE na podstawie najbardziej dopasowanego wzorca.

Podczas stabilnej pracy odbiornika energii elektrycznej OEE lub wielu takich odbiorników zaobserwowano, że rejestrowane wartości chwilowe prądu są zbliżone w powtarzalnych chwilach (t_m) względem chwil t_{0k} (fig. 4a i fig. 4b). W przypadku włączenia dodatkowego odbiornika, wyłączenia już włączonego odbiornika lub zmiany jego stanu wartości chwilowe prądu ulegają zmianie. Zmiana ta jest charakterystyczna dla danego typu odbiornika lub jego stanu. Na fig. 4b, będącym powiększeniem zaznaczonego na fig. 4a przerywaną linią fragmentu sygnału, oznaczono czasy t_{0k} . Wyznaczenie czasów t_{0k} umożliwia podział sygnału na okresy. W trakcie trwania okresu $n=23$ został włączony kinkiet z 4 lampami LED.

Znajomość indeksów kolejnych chwil t_0 pozwala na przekształcenie zebranych wartości próbek sygnału do macierzy I_p , którą można opisać zależnością:

$$I_p = \begin{matrix} & \begin{matrix} \text{k=numer okresu} \end{matrix} & \\ \begin{matrix} \downarrow \\ \text{m=numer próbek w okresie} \end{matrix} & \begin{bmatrix} I_p(1,1) & I_p(1,2) & I_p(1,3) & \dots & I_p(1,K-2) & I_p(1,K-1) & I_p(1,K) \\ I_p(2,1) & I_p(2,2) & I_p(2,3) & \dots & I_p(2,K-2) & I_p(2,K-1) & I_p(2,K) \\ I_p(3,1) & I_p(3,2) & I_p(3,3) & \dots & I_p(3,K-2) & I_p(3,K-1) & I_p(3,K) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ I_p(M-2,1) & I_p(M-2,2) & I_p(M-2,3) & \dots & I_p(M-2,K-2) & I_p(M-2,K-1) & I_p(M-2,K) \\ I_p(M-1,1) & I_p(M-1,2) & I_p(M-1,3) & \dots & I_p(M-1,K-2) & I_p(M-1,K-1) & I_p(M-1,K) \\ I_p(M,1) & I_p(M,2) & I_p(M,3) & \dots & I_p(M,K-2) & I_p(M,K-1) & I_p(M,K) \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Poszczególne wiersze macierzy I_p odpowiadają wartościom chwilowym prądu, które wystąpiły w takim samym odstępie czasu względem momentu t_0 w okresach k od 1 do K .

Indeks k wskazuje numer okresu składowej podstawowej sygnału napięcia w sieci energetycznej, zaś indeks m numer próbki w tym okresie. Pojedynczy okres ma M próbek, gdzie M to liczba naturalna, odpowiadająca liczbie próbek zarejestrowanych podczas trwania jednego okresu (20 ms) składowej podstawowej napięcia sieci energetycznej (50 Hz) dla wykorzystywanej w przykładzie częstotliwości próbkowania $F_s=24900$ Hz. Poszczególne kolumny zawierają, więc próbki które zostały zarejestrowane w k -tym okresie (składowej podstawowej 50 Hz). Macierz ma $F_s/50$ wierszy, czyli dla wykorzystywanej F_s liczba wierszy macierzy I_p wynosi 498. W innym przykładzie wykonania, rozwiązanie zastosowano w sieci nn o częstotliwości 60 Hz zmieniając wartości podanych w nim parametrów charakterystycznych proporcjonalnie w odniesieniu do częstotliwości 50 Hz (dla 60 Hz czas trwania jednego okresu to 16,(6)ms, uzyskano macierz I_p o $F_s/60$ wierszach czyli 415 wierszach).

Wszystkie wiersze macierzy I_p są poddawane filtracji w wyniku czego otrzymywana jest macierz I . Korzystnym jest zastosowanie filtracji medianowej rzędu $n=15$. Filtracja medianowa rzędu n , polega na wyznaczeniu mediany ruchomej, dla okna o szerokości n na wartościach próbek wzdłuż wierszy macierzy I_p . Na fig. 2 pokazano pierwszych 250 próbek każdego wiersza macierzy I , co odpowiada pierwszym połowom kolejnych okresów sygnału prądu (fig. 4a) o podstawowej częstotliwości 50 Hz.

Porównując wartości m -tych próbek w okresie $k=23$ z wartościami m -tych próbek w okresie $k=24$ można zaobserwować zmiany wartości chwilowych sygnału prądu mogące świadczyć o zmianie stanu przez któryś z OEE. Punktem białym oznaczono przykładową próbkę sygnału w okresie $k=23$, zaś czarnym próbkę w okresie $k=24$.

Aby wyznaczyć wektor zmian $\Delta I_k^{(x)}$, które zaszły w sygnale w wyniku zmiany stanu przez OEE należy odjąć odpowiadające wartości próbek macierzy I z okresu przed zmianą stanu OEE od wartości próbek macierzy I z okresu zarejestrowanego po analizowanej zmianie stanu, kiedy OEE który zmienił stan i będzie już w nowym stanie ustalonym (Fig. 3). Wartość m -tej próbki w k -tym okresie oznacza się jako $i_{m,k}$. Wartość różnicy między wartościami m -tych próbek z okresu k i okresu $k'=k-P_x$ oznaczono jako $\Delta i_{m,k}$ i oblicza się według wzoru 1). Jako P_x oznacza się liczbę okresów sygnału o częstotliwości 50 Hz między okresami o numerach k i k' . Wartość P_x jest charakterystyczna dla OEE o numerze porządkowym x , gdzie:

$$x \in N \wedge x \in < 1, X >$$

Wartość X to liczba odbiorników OEE, które można poddać detekcji korzystając z urządzenia opisanego w niniejszym wynalazku. Wartość P_x powinna być tak dobrana, aby w przypadku gdy k' jest okresem występującym przed zmianą stanu OEE to okres k jest okresem po zmianie stanu OEE. Wartość P_x wyznaczana jest doświadczalnie.

$$\Delta i_{m,k} = i_{m,k} - i_{m,k-P_x} \quad 1)$$

$$\text{dla } m \in N \wedge m \in < 1, M > \wedge \text{dla } k \in N \wedge k \in < 1, K >$$

$$\wedge P_x \in N \wedge x \in N$$

Wektor próbek odpowiadający k -temu okresowi sygnału prądu można określić jako:

$$I_k = [i_{1,k}, \dots, i_{m,k}, \dots, i_{M,k}] \quad 2)$$

Dysponując definicją $\Delta i_{m,k}$ oraz I_k możliwe jest zdefiniowanie wektora zmian ΔI_k określonego wzorem 3).

$$\Delta I_k^{(x)} = I_k - I_{k-P_x}, \text{ dla } k \in N \wedge k \in < P_x + 1, K > \wedge x \in < 1, X > \quad 3)$$

Wektor zmian $\Delta I_k^{(x)}$ jest jednocześnie wektorem cech, na podstawie którego identyfikowany jest OEE o numerze porządkowym x poprzez porównanie z wzorcowymi wektorami cech $\Delta I_{wzor}^{(x)}$ wszystkich OEE w danym obwodzie elektrycznym. Wzorcowe wektory cech $\Delta I_{wzor}^{(x)}$ uzyskuje się w wyniku eksperymentów polegających na identycznych pomiarach i operacjach przetwarzania danych jak przy wyznaczeniu wektora zmian $\Delta I_k^{(x)}$. Wzorcowe wektory zmian oraz ich parametry (to jakiego OEE dotyczą,

jakiego rodzaju zmiany stanu, ile okresów 50 Hz upłynęło między odejmowanymi okresami) są umieszczane w pamięci modułu definicji wzorców w urządzeniu.

Warto zauważyć, że dla wcześniej przedstawionego przykładowego włączenia OEE stan nieustalony trwa mniej niż 1 okres napięcia sieci i proponowany sposób umożliwia identyfikację zmiany stanu tego odbiornika OEE już po przetworzeniu następnego pełnego okresu, po okresie w którym nastąpiła zmiana stanu. Dla innych odbiorników OEE stany przejściowe mogą trwać znacząco dłużej.

Wynalazek znajduje zastosowanie przy nieinwazyjnej identyfikacji odbiornika energii elektrycznej oraz jego stanów pracy na podstawie pomiarów sumarycznego prądu płynącego w obwodzie zasilającym określony fragment sieci nn. Rozwiązanie to pozwala na detekcję stanu określonego odbiornika oraz jednoznacznie opisuje zidentyfikowane urządzenie wyłącznie na podstawie pomiarów wartości chwilowych sygnału prądu oraz detekcji fazy sygnału napięcia zasilania obwodu sieci nn. Należy zauważyć, że wynalazek znajduje zastosowanie również w sieci nn o częstotliwości 60 Hz zmieniając wartości podanych w nim parametrów charakterystycznych proporcjonalnie w odniesieniu do częstotliwości 50 Hz.

Zastrzeżenia patentowe

1. Urządzenie do detekcji zmiany trybu pracy oraz identyfikacji odbiorników energii elektrycznej OEE w sieci elektroenergetycznej **znamiennie tym**, że zawiera tor napięciowy, który zawiera filtr dolnoprzepustowy (1), którego wejście jest dołączone równolegle do sieci elektroenergetycznej a wyjście poprzez moduł pomiaru napięcia (2) i moduł przetwornika analogowo-cyfrowego (3) oraz poprzez moduł detekcji fazy (4) do modułu przetwarzania (7), i tor prądowy, który zawiera moduł pomiaru prądu (32), którego wejście połączone jest w sposób szeregowy do sieci elektroenergetycznej, a wyjście poprzez moduł przetwornika analogowo-cyfrowego (5) i moduł bufora (6) do modułu przetwarzania (7), jednocześnie wyjście modułu przetwarzania (7) poprzez bufor cykliczny (8) i moduł filtracji (9) połączone jest z wejściem modułu wyznaczania wektora zmian (10), którego wyjście dołączone jest na wejście modułu dyskryminatora (12), ponadto na wejście modułu dyskryminatora (12) dołączone jest wyjście modułu pamięci wzorców (11) OEE.
2. Urządzenie według zastrz. 1, **znamiennie tym**, że moduł detekcji fazy (4) jest przystosowany do wyznaczania chwili czasowej, w której wartość sygnału napięcia sieci elektrycznej zmienia się z wartości ujemnej na dodatnią.
3. Urządzenie według zastrz. 1–2 **znamiennie tym**, że moduł przetwarzania (7) jest przystosowany do przekazywania z modułu bufora (6) do modułu bufora cyklicznego (8) wartości próbek prądu, począwszy od próbki wyznaczonej przez moduł (4) fazy napięcia, których liczba odpowiada czasowi jednego okresu sygnału napięcia.
4. Urządzenie według zastrz. 1–3 **znamiennie tym**, że w module bufora cyklicznego (8) przechowywane są wartości próbek prądu dla określonej liczby ostatnich okresów sygnału napięcia, które tworzą macierz próbek, która jest podawana na wejście modułu filtracji (9).
5. Urządzenie według zastrz. 4, **znamiennie tym**, że moduł filtracji (9) jest przystosowany do realizacji filtracji medianowej lub filtracji uśredniającej lub filtracji modowej.
6. Urządzenia według zastrz. 1–5, **znamiennie tym**, że moduł filtracji (9) jest przystosowany do realizacji filtracji dla szeregu próbek pobieranych w chwilach jednakowo odległych w czasie od fazy wyznaczonej przez moduł detekcji fazy (4).
7. Urządzenie według zastrz. 5, **znamiennie tym**, że moduł wyznaczania wektora zmian (10) jest przystosowany do pobierania z modułu filtracji (9) macierzy próbek i jest przystosowany do wyznaczania wektorów zmian i jest przystosowany do przekazania wartości tych wektorów na wejście modułu dyskryminatora (12).
8. Urządzenie według zastrz. 1, 2, 3, 4, 5, 6 i 7, **znamiennie tym**, że moduł dyskryminatora (12) jest przystosowany do porównania wartości wektorów zmian z wektorami definicji wzorców, które są przechowywane w module pamięci wzorców OEE (11).
9. Urządzenie według zastrz. 1–8, **znamiennie tym**, że moduł dyskryminatora (12) jest przystosowany do detekcji zdarzeń zachodzących w obwodzie elektrycznym i/lub identyfikacji odbiornika OEE i/lub identyfikacji zmiany stanu odbiornika OEE.

10. Sposób detekcji zmiany trybu pracy oraz identyfikacji odbiorników elektrycznych OEE wykorzystujący pomiary chwilowych wartości sygnałów prądu i detekcję fazy napięcia obejmujący etap pomiaru prądu w sieci zasilania i etap pomiaru napięcia **znamienny tym**, że po etapie pomiaru prądu przetwarza się sygnał prądu na jego postać cyfrową, którą przekazuje się do modułu bufora (6) a po etapie pomiaru napięcia przetwarza się sygnał napięcia na jego postać cyfrową na podstawie której za pomocą modułu detekcji fazy (4) przeprowadza się detekcję określonej wartości fazy sygnału napięcia, a następnie za pomocą modułu przetwarzania (7) wybiera się odpowiednie wartości próbek z modułu bufora (6), które dalej formuje się w macierz w której kolejne kolumny zawierają wartości próbek prądu w kolejnych okresach napięcia począwszy od momentu osiągnięcia określonej wartości fazy przez sygnał napięcia, a następnie za pomocą modułu filtracji (9) filtruje się macierz po jej wierszach otrzymując macierz próbek po filtracji, z której wyznaczane są w module wyznaczania wektora zmian (10) wektory zmian odejmujące wartości próbek macierzy próbek po filtracji z okresu przed zmianą stanu odbiornika OEE od wartości próbek macierzy próbek po filtracji z okresu zarejestrowanego po analizowanej zmianie stanu, kiedy odbiornik OEE który zmienił stan i będzie już w nowym stanie ustalonym, a następnie wyznaczone wektory zmian za pomocą modułu dyskryminatora (12) porównuje się z umieszczonymi w module pamięci wzorców (11) wzorcowymi wektorami cech wszystkich odbiorników OEE w danym obwodzie elektrycznym, identyfikując odbiornik OEE na podstawie najbardziej dopasowanego wzorca.
11. Sposób według zastrz. 10, **znamienny tym**, że za pomocą modułu detekcji fazy (4) wyznacza się chwilę czasową, w której wartość sygnału napięcia sieci elektrycznej zmienia się z wartości ujemnej na dodatnią.
12. Sposób według zastrz. 10–11, **znamienny tym**, że za pomocą modułu przetwarzania (7) przekazuje się z modułu bufora (6) do modułu bufora cyklicznego (8) wartości próbek prądu, począwszy od próbki wyznaczonej przez moduł (4) fazy napięcia, których liczba odpowiada czasowi jednego okresu sygnału napięcia.
13. Sposób według zastrz. 10–12, **znamienny tym**, że w module bufora cyklicznego (8) przechowywane są wartości próbek prądu dla określonej liczby ostatnich okresów sygnału napięcia, które tworzą macierz próbek, którą podaje się na wejście modułu filtracji (9).
14. Sposób według zastrz. 10–13, **znamienny tym**, że filtrację przeprowadza się dla szeregu próbek pobieranych w chwilach jednakowo odległych w czasie od fazy wyznaczonej przez moduł detekcji fazy (4).
15. Sposób według zastrz. 10–14, **znamienny tym**, że wszystkie etapy przeprowadza się na próbkach sygnału w dziedzinie czasu.
16. Sposób według zastrz. 10–15, **znamienny tym**, że chwile próbkowania sygnału prądu są skorelowane w czasie z momentem osiągnięcia określonej fazy przez sygnał napięcia.
17. Sposób według zastrz. 10–16, **znamienny tym**, że filtrację stanowi filtracja medianowa lub filtracja uśredniająca lub filtracja modowa.

Rysunki

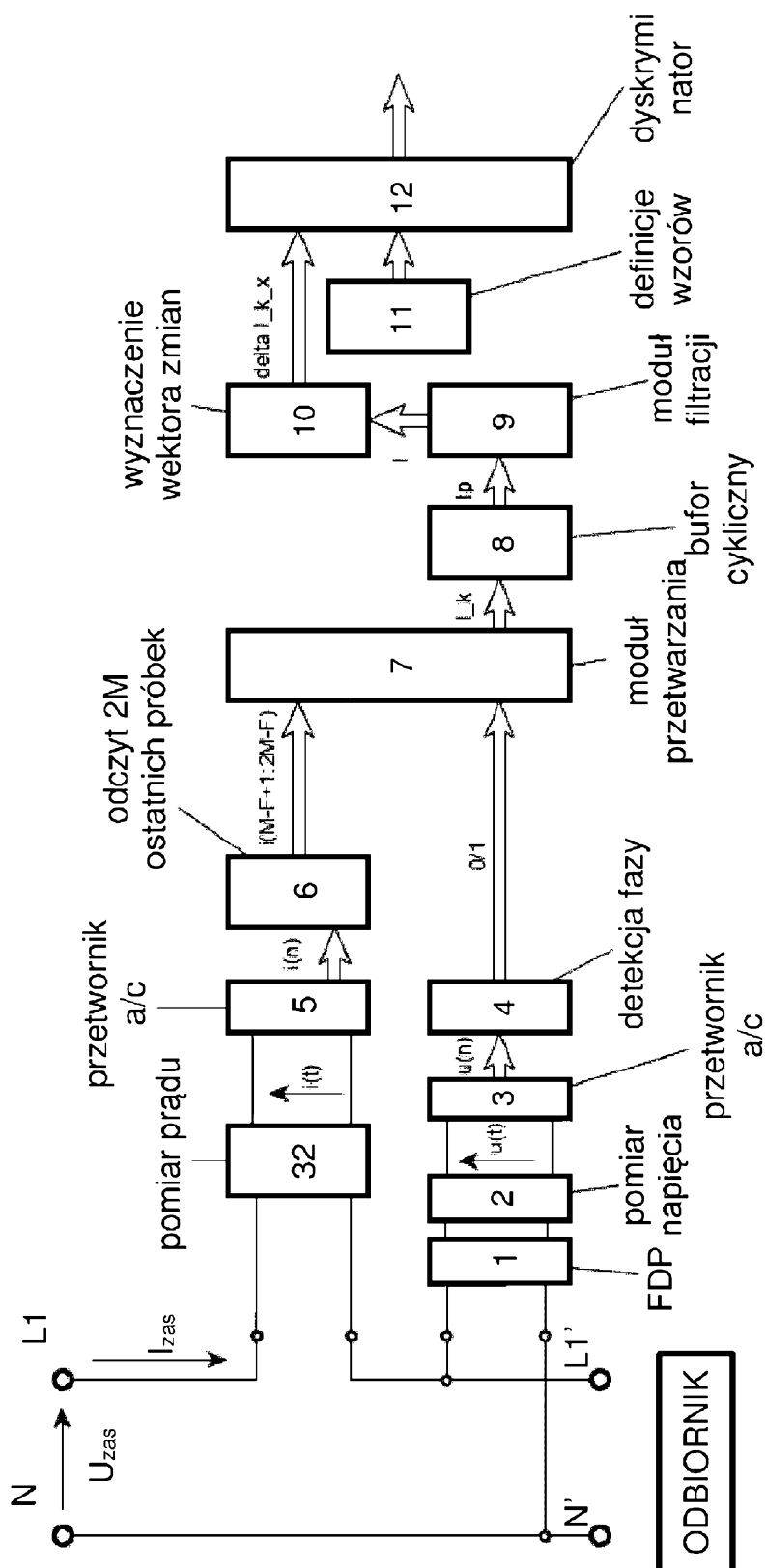


Fig. 1

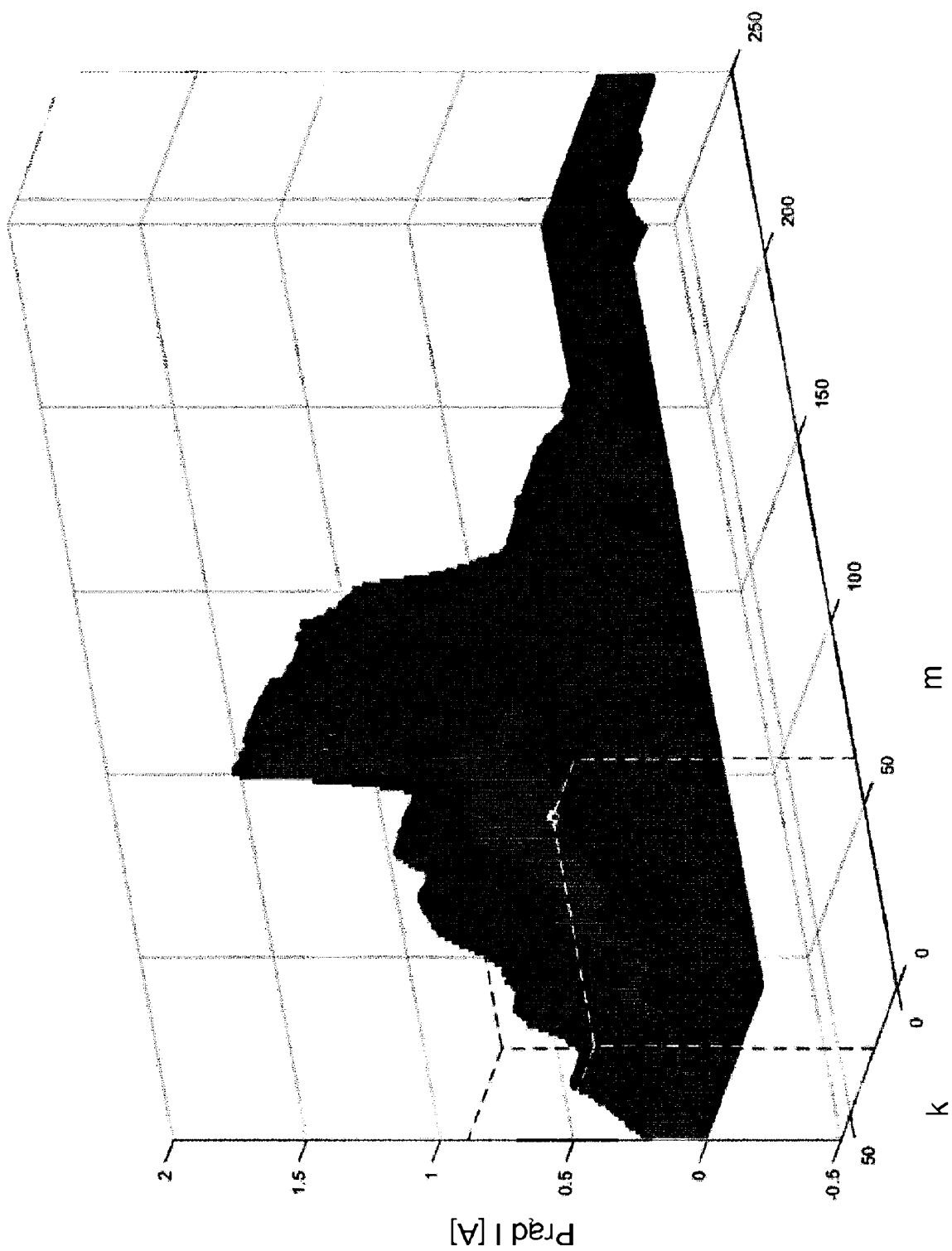


Fig. 2

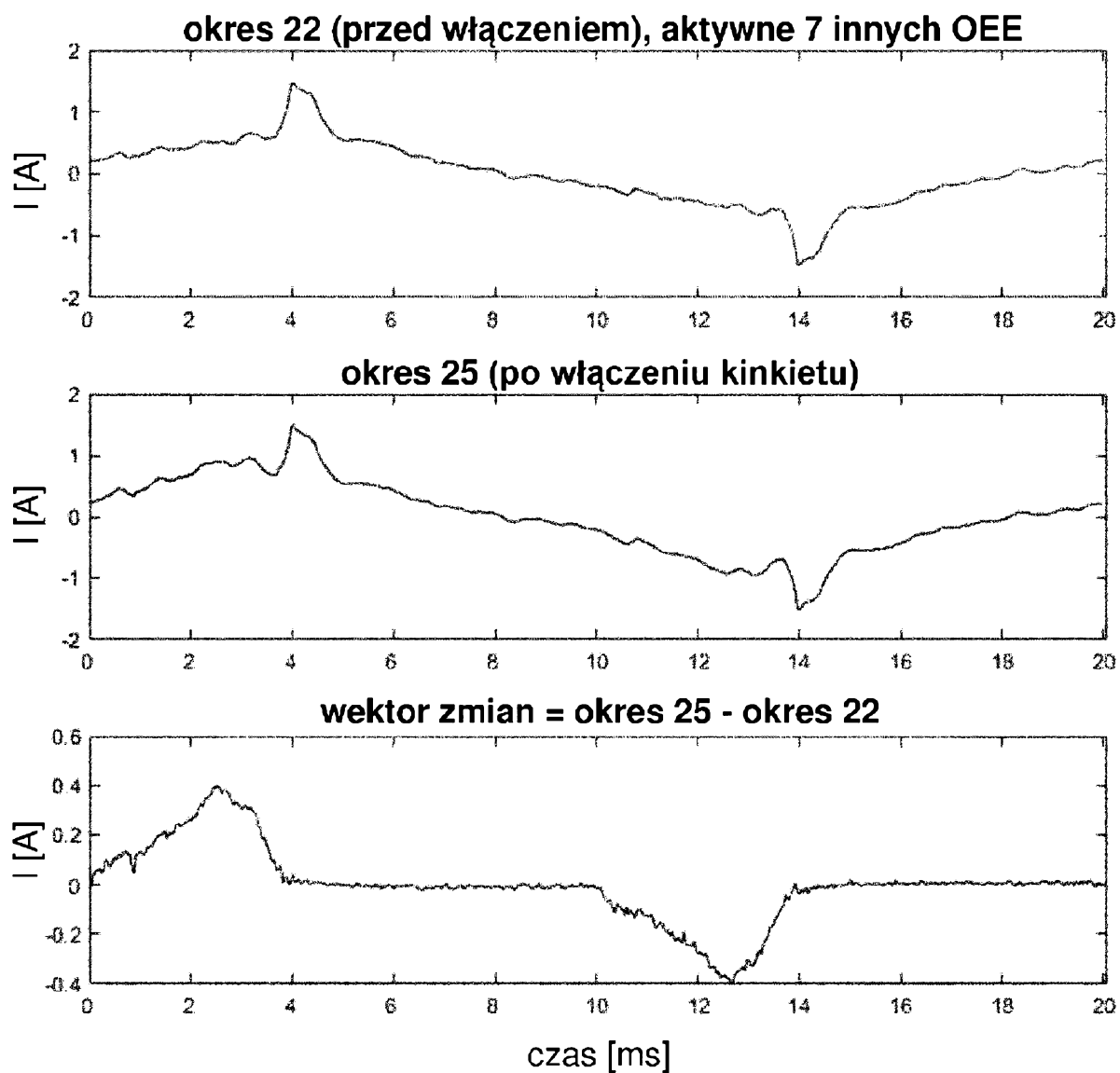


Fig. 3

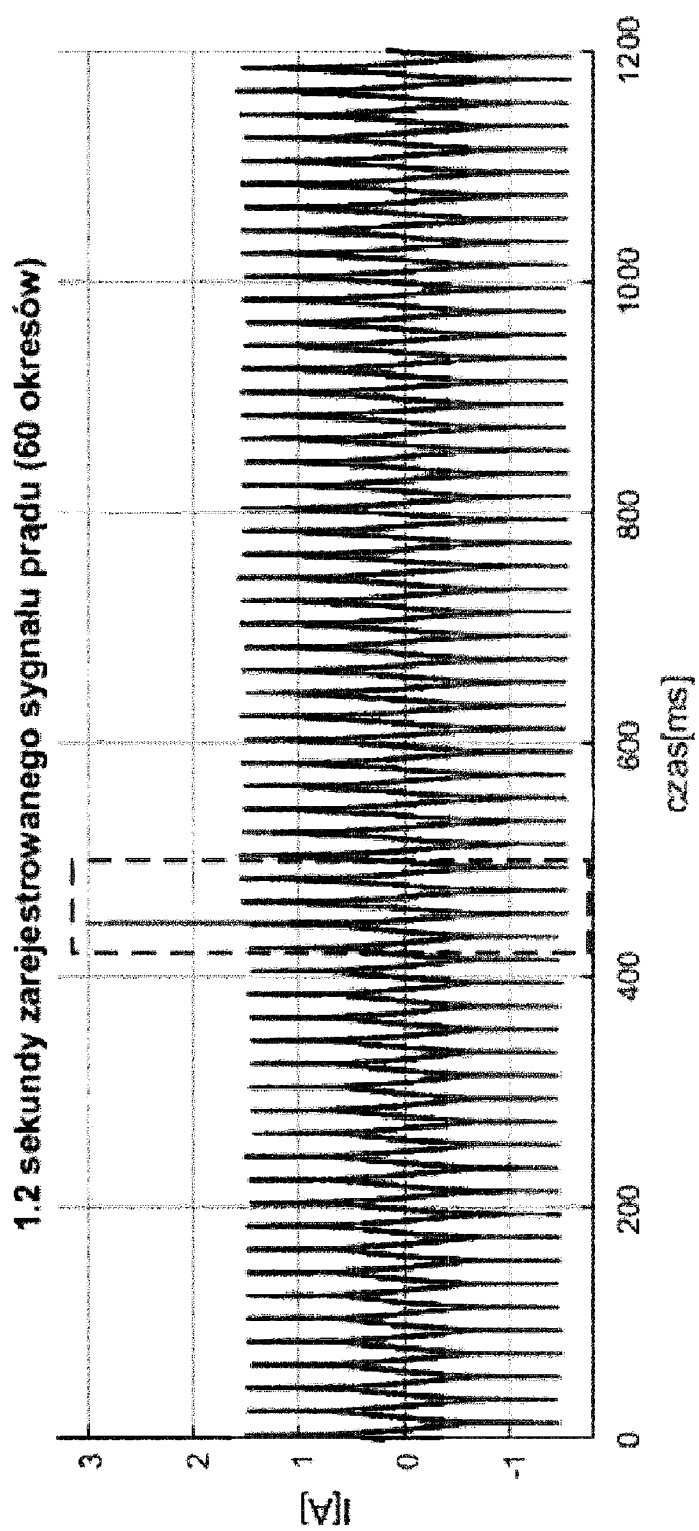


Fig. 4a

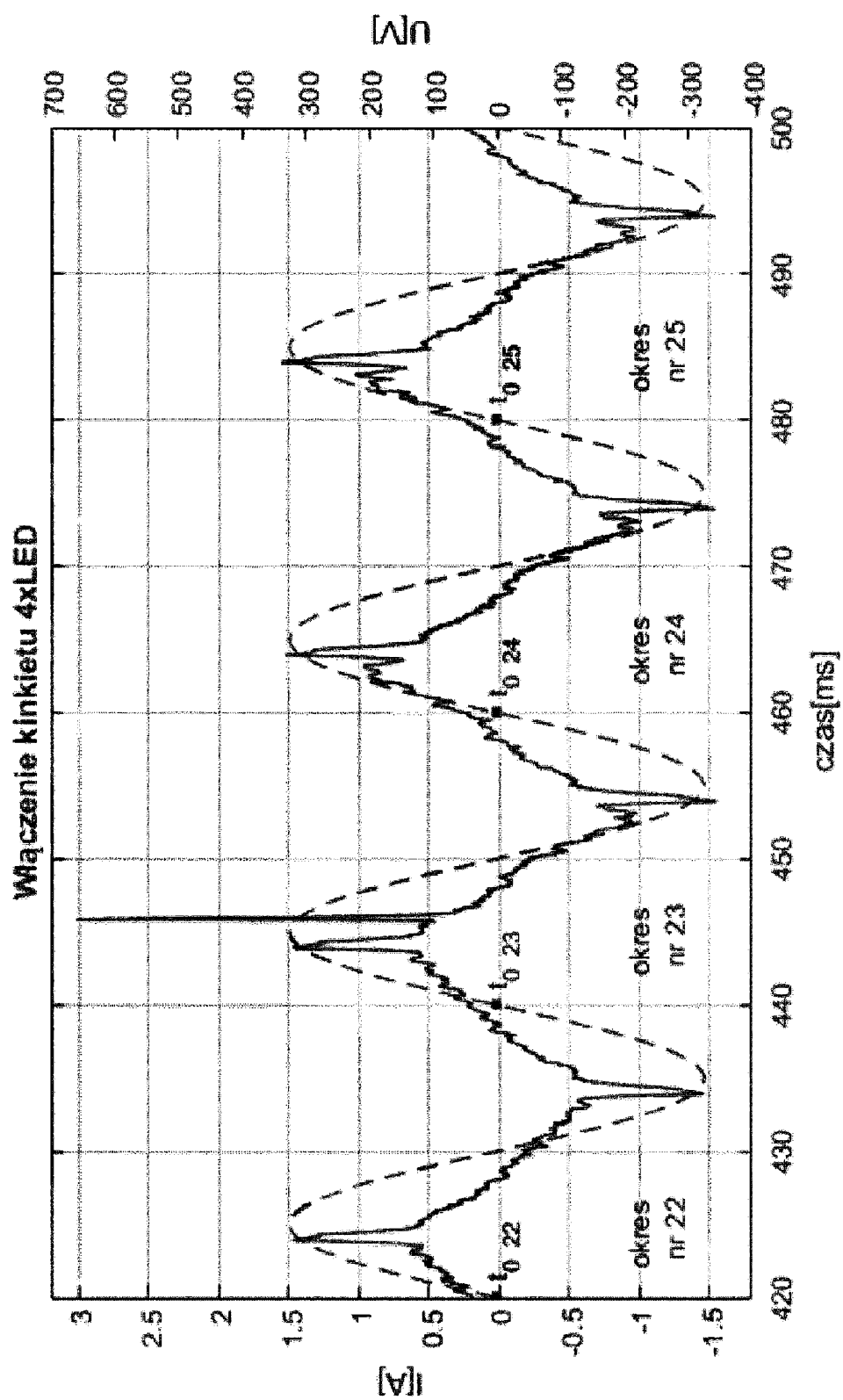


Fig. 4b