

RZECZPOSPOLITA
POLSKA



Urząd Patentowy
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **233710**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **420921**

(51) Int.Cl.
G01R 15/24 (2006.01)
G01R 19/00 (2006.01)

(22) Data zgłoszenia: **21.03.2017**

(54)

Sposób pomiaru wysokiego napięcia

(43) Zgłoszenie ogłoszono:

24.09.2018 BUP 20/18

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:

29.11.2019 WUP 11/19

(73) Uprawniony z patentu:

**AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE,
Kraków, PL**

(72) Twórca(y) wynalazku:

ANDRZEJ BIEŃ, Kraków, PL

(74) Pełnomocnik:

recz. pat. Andrzej Rogowski

PL 233710 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób pomiaru wysokiego napięcia znajdujący zastosowanie w pomiarach wysokich napięć w systemach elektroenergetycznych, umożliwiający realizację pomiaru napięcia w sposób eliminujący kontakt galwaniczny pomiędzy przyrządem pomiarowym a przewodem z mierzonym wysokim napięciem i wykorzystujący do pomiaru napięcia zjawiska elektrooptyczne.

W energetyce wysokich napięć wykorzystuje się zjawiska elektrooptyczne do pomiaru prądu i napięcia. Podstawowym zjawiskiem wykorzystywanym w pomiarach wysokich napięć jest efekt Pockels'a.

Efekt Pockels'a jest liniowym efektem elektrooptycznym, określanym również, jako dwójłomność wymuszona. Zjawisko polega na zmianie współczynnika załamania światła proporcjonalnie do zewnętrznego pola elektrycznego.

Sensory do pomiaru napięć, pracujące w oparciu o efekt Pockels'a, odznaczają się bardzo dobrą dynamiką oraz szerokim widmem pomiarowym.

Działanie sensora optycznego do pomiaru napięcia opiera się na przepuszczeniu spolaryzowanej wiązki światła przez kryształ wykonany z materiału, którego współczynnik załamania światła jest zależny od natężenia pola elektrycznego w jego otoczeniu. Skutkiem przejścia strumienia fotonów przez taki kryształ jest przesunięcie fazy strumienia fotonów poddanych działaniu pola elektrycznego.

Przy pomiarach wysokich napięć stosowane były tradycyjnie przekładniki – transformatory napięciowe, dzielniki pojemnościowe lub rezystorowe. Układy z transformatorem napięciowym lub z dzielnikami pojemnościowymi są budowane tylko dla napięcia przemiennego, dla jednej częstotliwości tj. 50 Hz lub 60 Hz.

Częstotliwości inne np. harmoniczne są mierzone z bardzo małą wiarygodnością pomiarową i ich pomiar sprowadza się, w zasadzie, do obserwowania ich występowania. Pomiar harmonicznych umożliwia zastosowanie dzielnika rezystancyjnego. Jednak rozwiązanie to nie gwarantuje bezpieczeństwa eksploatacji, ponieważ w układzie pomiarowym nie ma galwanicznej separacji od wysokiego napięcia.

Wszystkie metody tradycyjne nie pozwalają na pełne pomiary parametrów wysokich napięć.

Wprowadzane ostatnio elektrooptyczne układy pomiarowe, wykorzystujące zjawiska związane z modulacją światła, są rozwiązaniami umożliwiającymi, pomiar także składowej stałej i wyższych harmonicznych w liniach wysokich napięć, w bezpieczny sposób.

W elektrooptycznych układach pomiarowych stosowana jest modulacja kąta polaryzacji światła oparta na zjawisku Pockels'a. W układach pomiarowych, opartych na zjawisku Pockels'a, za pomocą ustawień polaryzatorów i detektora światła, wyznaczany jest kąt polaryzacji światła spowodowany oddziaływaniem nieznanego pola elektrycznego a następnie, znanymi metodami, wyliczane jest napięcie, które spowodowało zmianę tego kąta. Metoda ta jest opisana, jako zależność nieliniowa bazująca na funkcji $\sin^2(\varphi)$ i wymaga, w związku z tym, wstępnej polaryzacji oraz przyjęcia założenia, że w okolicy punktu pracy można zależność nieliniową zastąpić zależnością liniową. Takie rozwiązanie dla pomiarów dokładnych, o niepewności mniejszej od 1%, jest poprawne tylko dla podstawowej harmonicznej w sieci elektroenergetycznej zmiennoprądowej, w stałoprądowej zaś zniekształca zaburzenia.

Znane z opisu patentowego USA nr 2013076338 urządzenie jest nazywane optycznym transformatorem napięciowym i wykorzystuje do pomiaru wysokiego napięcia efekt Pockels'a oraz sprzężenia zwrotne do stabilizacji mocy źródła światła i usuwające dryfty używanych elementów elektronicznych. Dla uzyskania większej dokładności stosuje się złożone przetwarzanie sygnałów świetlnych i sygnałów z czujników światła. Wymaga to złożonej aparatury i jej strojenia. Nie jest stosowana korekcja nieliniowości detekcji na drodze optycznej a tym bardziej metoda kompensacji sygnałów świetlnych.

Opis wynalazku EP 2 952 913 A1 również dotyczy wykorzystania efektu Pockels'a i skupia się na wykazaniu poprawy odporności aparatury pomiarowej na zmiany temperatury. Sam efekt stosowania zjawiska Pockels'a nie jest korygowany. W metodzie tej występują zniekształcenia kształtów obserwowanego napięcia, czyli wynalazek będzie miał zastosowanie przede wszystkim dla pomiarów podstawowej harmonicznej napięcia systemu elektroenergetycznego.

Także wynalazek CN 102749606 B opisuje podobny do EP 2 952 913 A1 sposób pomiaru, podając wprost zależności do pracy z przybliżeniem nieliniowości a nie jej eliminacją. Sposób ten skupia się na obserwacji dynamiki zmian napięcia mierzonego.

Znane elektrooptyczne układy pomiarowe nie pozwalają na interpretację wyników dla małych niepewności pomiarów oraz wyznaczania charakterystyk częstotliwościowych mierzonych napięć. Wynika to z nieliniowości obwodów detekcyjnych, na którą główny wpływ mają rodzaje stosowanych modulatorów i polaryzatorów światła odpowiednich do zjawisk stosowanych w tych układach.

Zjawisko wykorzystywane w znanych elektrooptycznych układach pomiarowych to efekty Pockels'a lub Kerra. Oba te zjawiska są liniowe, lecz do wykrywania zmiany kąta polaryzacji światła w tych urządzeniach wykorzystywanych jest przybliżony pomiar o charakterystyce typu $\sin^2(\varphi)$, wynikający z układu pracy stosowanych polaryzatorów i czujników światła.

Celem wynalazku jest opracowanie sposobu pomiaru wysokiego napięcia, poprzez wykorzystanie zjawisk elektrooptycznych, eliminującego wpływ nieliniowości, powstających przy detekcji i pomiarach tych zjawisk.

Istota wynalazku wykorzystującego do pomiaru wysokiego napięcia czujnik optoelektryczny oparty o efekt Pockels'a, przez który przepuszczany jest strumień spolaryzowanego światła i na który oddziałuje pole elektromagnetyczne wysokonapięciowej sieci energoelektrycznej, której napięcie jest mierzone, charakteryzuje się tym, że strumień spolaryzowanego światła poddaje się oddziaływaniu mierzonego wysokiego napięcia a następnie kompensuje się zmianę kąta polaryzacji światła, spowodowaną oddziaływaniem wysokiego mierzonego napięcia, sygnałem dostosowanym do zjawiska wykorzystywanego w elemencie optoelektrycznym realizującym proces kompensacji. Sygnał po kompensacji porównuje się ze spolaryzowanym sygnałem świetlnym, na który nie oddziaływało mierzone wysokie napięcie i określa się różnicę kątów polaryzacji światła pomiędzy spolaryzowanym strumieniem światła, nie poddanego oddziaływaniu wysokiego mierzonego napięcia a strumieniem światła, którego kąt polaryzacji został zmieniony przez oddziaływanie wysokiego mierzonego napięcia i który został następnie poddany działaniu kompensującemu. Następnie sygnałem reprezentującym różnicę kątów polaryzacji obu porównywanych sygnałów światła spolaryzowanego generuje się narastający sygnał realizujący kompensację. Kompensację prowadzi się do momentu, w którym nastąpi pełna kompensacja zmiany kąta polaryzacji strumienia światła, spowodowanej oddziaływaniem wysokiego mierzonego napięcia, a sygnał reprezentujący różnicę w kątach polaryzacji pomiędzy dwoma porównywanymi strumieniami świetlnymi wynosi 0. Przez cały okres pomiaru mierzy się, wartość generowanego sygnału kompensacyjnego i na podstawie wartości tego sygnału, w momencie pełnej kompensacji, określa się wartość mierzonego wysokiego napięcia.

Proces detekcji polaryzacji jest nieliniowy, informuje on tylko o tym, czy jest zmiana kompensacji czy jej nie ma.

Przedmiotem pomiaru, według sposobu będącego istotą wynalazku, jest wartość sygnału kompensującego zmianę kąta polaryzacji światła, która wywołana jest oddziaływaniem mierzonego wysokiego napięcia.

Zastosowanie tych samych metod, wykorzystujących zjawiska optoelektryczne, w procesie pomiarowym i kompensującym, pozwala na pominięcie wpływu zjawisk optoelektrycznych, powodujących jednakowe zniekształcenia występujące zarówno w procesie pomiaru jak i w procesie kompensacji odchylenia światła spowodowanym oddziaływaniem wysokiego napięcia, w których następuje oddziaływanie na światło. Na etapie detekcji istotny jest stan równowagi, bez znaczenia jest natomiast nieliniowość powstająca na etapie wyznaczania kąta polaryzacji strumienia światła mierzonym wysokim napięciem oraz na etapie kompensowania kąta polaryzacji wywołanej mierzonym napięciem.

Dla detekcji kompensacji zmiany polaryzacji spowodowanej oddziaływaniem mierzonego napięcia istotny jest tylko stan równowagi.

Proces kompensacji nie musi być oparty o to samo zjawisko, jakie jest wykorzystane na etapie działania wysokiego napięcia, stąd zmiana skali zjawiska. Na etapie kompensacji można oddziaływać na element optoelektryczny innym kontrolowanym polem elektrycznym lub magnetycznym, a nawet wykorzystać modulator akustyczno-optyczny.

Wartość sygnału kompensującego mierzonego znanymi metodami odpowiada wartości mierzonego wysokiego napięcia.

W sposobie pomiaru według wynalazku znajduje zastosowanie metoda kompensacji zjawiska o wartości nieznaney, tak samo oddziaływującym zjawiskiem, ale o znanej wartości. Kompensowane jest oddziaływanie nieznanego wysokiego napięcia na strumień świetlny, w wyniku którego następuje zmiana kąta polaryzacji a w etapie kompensacji doprowadza się do kompensacji tej zmiany znanym sygnałem o małej skali.

Proces detekcji polaryzacji jest nieliniowy, informuje on tylko o tym, czy jest zmiana kompensacji czy jej nie ma.

Przedmiotem pomiaru, według sposobu będącego istotą wynalazku, jest wartość sygnału kompensującego zmianę kąta polaryzacji światła, która wywołana jest oddziaływaniem mierzonego wysokiego napięcia.

Zastosowanie tych samych metod, wykorzystujących zjawiska optoelektryczne, w procesie pomiarowym i kompensującym, pozwala na pominięcie wpływu zjawisk optoelektrycznych, powodujących jednakowe zniekształcenia występujące w obu etapach, w których następuje oddziaływanie na światło. Na etapie detekcji istotny jest stan równowagi, bez znaczenia jest natomiast nieliniowość powstająca na etapie wyznaczania kąta polaryzacji strumienia światła mierzonym wysokim napięciem oraz na etapie kompensowania kąta polaryzacji wywołanej mierzonym napięciem.

Dla detekcji kompensacji zmiany polaryzacji spowodowanej oddziaływaniem mierzonego napięcia istotny jest tylko stan równowagi.

Proces kompensacji nie musi być oparty o to samo zjawisko, jakie jest wykorzystane na etapie działania wysokiego napięcia, stąd zmiana skali zjawiska. Na etapie kompensacji można oddziaływać na element optoelektryczny innym kontrolowanym polem elektrycznym lub magnetycznym, a nawet wykorzystać modulator akustyczno-optyczny.

Wartość sygnału kompensującego mierzonego znanymi metodami odpowiada wprost wartości mierzonego wysokiego napięcia.

W sposobie pomiaru według wynalazku znajduje zastosowanie metoda kompensacji zjawiska o wartości nieznannej, tak samo oddziaływującym zjawiskiem, ale o znanej wartości. Kompensowane jest oddziaływanie nieznanego wysokiego napięcia na strumień świetlny, w wyniku którego następuje zmiana kąta polaryzacji a w etapie kompensacji doprowadza się do kompensacji tej zmiany znanym sygnałem o małej skali.

Sposób pomiaru według wynalazku umożliwia pomiar składowych widma wysokiego napięcia o różnych częstotliwościach a jednocześnie zmniejsza niepewność pomiaru i upraszcza konstrukcję urządzeń realizujących ten sposób w obszarze strojenia – np. ustawiania detektorów polaryzacji.

Sposób pomiaru według wynalazku jest bliżej określony na podstawie przykładu realizacji uwidocznionego na rysunku, na którym fig. 1 przedstawia schemat blokowy układu pomiarowego wysokonapięciowego woltomierza kompensacyjnego, realizującego sposób pomiaru według wynalazku, a poszczególne bloki oraz elementy reprezentują:

Element nr 1 – reprezentuje źródło wysokiego napięcia i jego pole oddziałujące na blok 2, Blok czujnika optoelektrycznego 2 – zawiera układ czujnika elektrooptycznego napięcia, wykorzystany efekt Keera lub Pockels'a, Blok kompensacji 3 – zawiera układ kompensujący zmianę kąta polaryzacji światła powstającą w bloku 2, Blok nr 4 – układ czujnika braku zmiany polaryzacji czyli równowagi kątów polaryzacji sygnałów świetlnych wchodzącego do bloku nr 2 i wychodzącego bloku nr 3, Blok generowania sygnału kompensacyjnego 5 stanowi zadajnik sygnału kompensującego zmianę kąta polaryzacji powstałego w bloku nr 2 dla zjawiska wykorzystywanego w bloku nr 3, Blok pomiaru sygnału kompensacyjnego 6 stanowi układ pomiaru sygnału kompensacyjnego, Blok określania wartości mierzonego napięcia 7 stanowi układ przyporządkowania proporcjonalnej wartości mierzonego wysokiego napięcia sygnałom wyjściowemu z bloku 6, stanowiąc równocześnie interfejs wyprowadzający wyniki pomiaru wysokiego napięcia, L – źródło światła spolaryzowanego.

Sposób pomiaru wysokiego napięcia, według wynalazku, polega na oddziaływaniu wysokiego napięcia 1, na blok czujnika optoelektrycznego 2 – zawiera kryształ czujnika optoelektrycznego, przez który przepuszcza się spolaryzowany strumień światła, na który oddziałuje mierzone wysokie napięcie 1 i w wyniku tego oddziaływania ulega zmianie kąt polaryzacji światła wychodzącego z bloku 2. W bloku kompensacji 3 kompensuje się zmianę kąta polaryzacji światła powstałą w bloku 2. Kompensacja realizowana jest sygnałem kompensacyjnym generowanym w bloku 5. Sygnał z bloku generowania sygnału kompensacyjnego 5 jest dostosowany do wykorzystywanego zjawiska optoelektrycznego w bloku 3 dla np. wykorzystywanego zjawiska Faradaya jest to prąd oddziałujący na blok nr 3. Blok określania różnicy kątów polaryzacji sygnałów świetlnych 4 jest detektorem sprawdzającym stan polaryzacji strumienia światła wychodzącego z bloku 3 i wchodzącego do bloku 2 i przekazuje on do bloku 5 informację o wystąpieniu różnicy kątów polaryzacji światła pomiędzy strumieniem wchodzącym do bloku 2 a wychodzącym z bloku 3. Blok generowania sygnału kompensacyjnego 5 generuje narastający sygnał powodujący kompensację realizowaną w bloku 3, aż do momentu, gdy z bloku 4 przekazany zostanie sygnał stwierdzający brak różnicy kątów polaryzacji światła pomiędzy strumieniem

wchodzącym do bloku 2 a wychodzącym z bloku 3, czyli że w bloku 3 dokonana została kompensacja zmiany kąta polaryzacji, która powstała w bloku 2. Blok pomiaru sygnału kompensującego 6 mierzy sygnał kompensujący generowany w bloku 5 i wyprowadza go na zewnątrz tj. do bloku określania wartości mierzonego napięcia 7. Jest to sygnał, na podstawie którego określa się wartość mierzonego wysokiego napięcia.

Wynalazek znajduje zastosowanie w konstrukcji wysokonapięciowych woltomierzy kompensacyjnych wykorzystanych w bezpiecznych pomiarach wysokich napięć w sieciach przesyłowych systemu energetycznego. Umożliwi on dokonywanie pomiarów istotnych parametrów wysokich napięć oraz pozwala na monitorowanie pracy niespokojnych źródeł energii elektrycznej np. farm wiatrowych, czy odbiorów przemysłowych.

Zastrzeżenie patentowe

1. Sposób pomiaru wysokiego napięcia wykorzystujący czujnik optoelektryczny oparty o efekt Pockels'a, przez który przepuszczany jest strumień spolaryzowanego światła i na który oddziałuje pole elektromagnetyczne wysokonapięciowej sieci energoelektrycznej, której napięcie jest mierzone, **znamienny tym**, że strumień spolaryzowanego światła poddaje się oddziaływaniu mierzonego wysokiego napięcia a następnie kompensuje się zmianę kąta polaryzacji światła, spowodowaną oddziaływaniem wysokiego mierzonego napięcia, sygnałem dostosowanym do zjawiska wykorzystywanego w elemencie optoelektrycznym realizującym proces kompensacji a sygnał po kompensacji porównuje się ze spolaryzowanym sygnałem świetnym, na który nie oddziaływało mierzone wysokie napięcie i określa się różnicę kątów polaryzacji światła pomiędzy spolaryzowanym strumieniem światła, nie poddanego oddziaływaniu wysokiego mierzonego napięcia a strumieniem światła, którego kąt polaryzacji został zmieniony przez oddziaływanie wysokiego mierzonego napięcia i który został następnie poddany działaniu kompensującemu, zaś sygnałem reprezentującym różnicę kątów polaryzacji obu porównywanych sygnałów światła spolaryzowanego generuje się narastający sygnał realizujący kompensację, aż do momentu, w którym nastąpi pełna kompensacja zmiany kąta polaryzacji strumienia światła, spowodowanej oddziaływaniem wysokiego mierzonego napięcia, a sygnał reprezentujący różnicę w kątach polaryzacji pomiędzy dwoma porównywanymi strumieniami świetnymi wynosi 0, dodatkowo mierzy się, przez cały okres pomiaru, wartość generowanego sygnału kompensacyjnego i na podstawie wartości tego sygnału, w momencie pełnej kompensacji, określa się wartość mierzonego wysokiego napięcia.

Rysunek

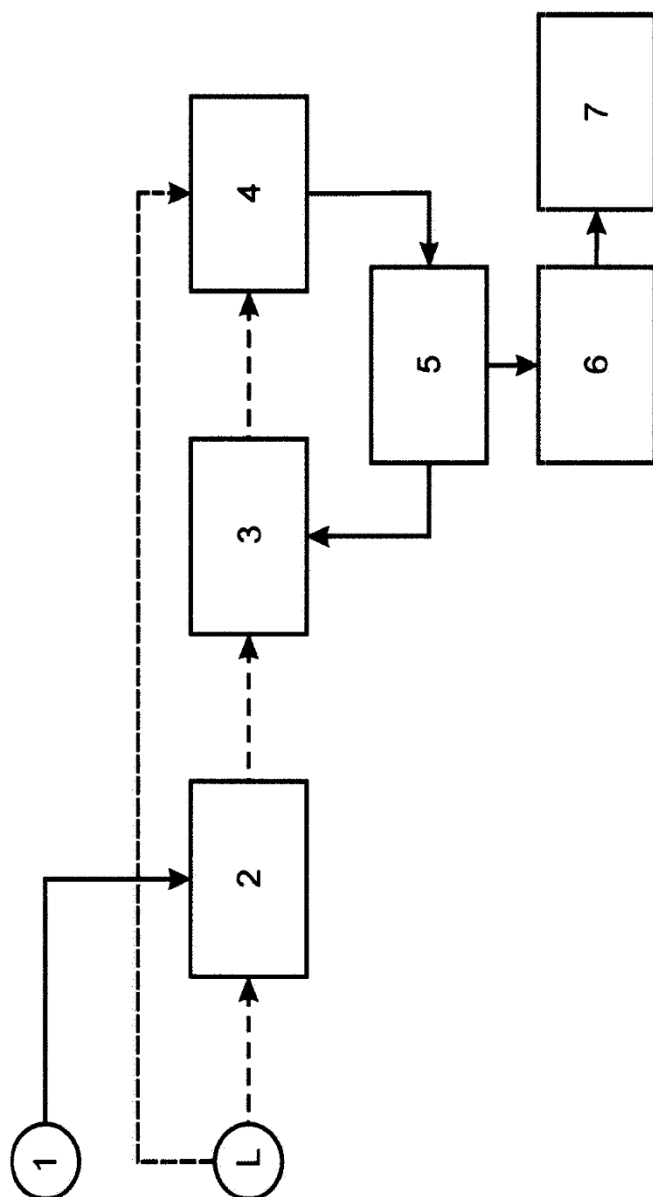


Fig. 1