

RZECZPOSPOLITA
POLSKA



Urząd Patentowy
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY**

(19) **PL**

(11) **233787**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **420922**

(22) Data zgłoszenia: **21.03.2017**

(51) Int.Cl.

G01R 15/24 (2006.01)

G01R 19/00 (2006.01)

(54)

Układ wysokonapięciowego woltomierza kompensacyjnego

(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:

rzec. pat. Andrzej Rogowski

PL 233787 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest układ wysokonapięciowego woltomierza kompensacyjnego, znajdującego zastosowanie w pomiarach wysokich napięć w systemach elektroenergetycznych i pracujący w układzie eliminującym kontakt galwaniczny pomiędzy przyrządem pomiarowym a przewodem z mierzonym wysokim napięciem oraz wykorzystującego 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 Pockelsa.

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

Sensory do pomiaru napięć, pracujące w oparciu o efekt Pockelsa, 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 światła przez taki kryształ jest przesunięcie fazy strumienia światła poddanego 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 Pockelsa. W układach pomiarowych, opartych na zjawisku Pockelsa, 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 Pockelsa 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 Pockelsa i skupia się na wykazaniu poprawy odporności aparatury pomiarowej na zmiany temperatury. Sam efekt stosowania zjawiska Pockelsa nie jest korygowany. Należy się zatem liczyć ze zniekształceniami 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 przybliżaniem 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 wykorzy-

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

Celem wynalazku jest opracowanie takiej konstrukcji układu wysokonapięciowego woltomierza kompensacyjnego, która służy do pomiaru wysokiego napięcia, wykorzystując zjawiska elektrooptyczne oraz eliminując jednocześnie wpływ nieliniowości, powstających przy detekcji i pomiarach tych zjawisk.

Istotą wynalazku jest układ wysokonapięciowego woltomierza kompensacyjnego wyposażonego w czujnik optoelektryczny, na który oddziałuje pole elektromagnetyczne wysokonapięciowej sieci energoelektrycznej, charakteryzujący się tym, że wejście bloku modulacji sygnału świetlnego, zawierającego czujnik optoelektryczny, połączone jest z wyjściem źródła światła spolaryzowanego. Na blok modulacji sygnału świetlnego działa mierzone wysokie napięcie, powodując zmianę kąta polaryzacji światła. Sygnał świetlny o zmienionej polaryzacji, w stosunku do sygnału wejściowego, w wyniku oddziaływania mierzonego wysokiego napięcia, podawany jest z wyjścia bloku modulacji sygnału świetlnego na pierwsze wejście bloku kompensującego zmianę kąta polaryzacji światła. Z wyjścia bloku kompensującego zmianę kąta polaryzacji światła skompensowany sygnał świetlny podawany jest na pierwsze wejście bloku czujnika wykrywającego brak zmiany kąta polaryzacji. Na drugie wejście bloku kompensującego zmianę kąta polaryzacji światła podawany jest wstępnie spolaryzowany sygnał świetlny z wyjścia źródła światła spolaryzowanego. Wyjście bloku czujnika wykrywającego brak zmiany kąta polaryzacji połączone jest z wejściem bloku zadajnika sygnału kompensującego. Pierwsze wyjście bloku zadajnika sygnału kompensującego połączone jest z wejściem drugim bloku kompensującego zmianę kąta polaryzacji światła, a drugie wyjście bloku zadajnika sygnału kompensującego jest połączone z wejściem bloku pomiaru sygnału kompensującego. Wyjście bloku pomiaru sygnału kompensującego połączone jest z wejściem bloku generującego sygnał wyjściowy, określający wartość mierzonego napięcia wysokonapięciowej sieci energoelektrycznej.

Sygnał kompensujący z bloku zadajnika sygnału kompensującego jest dostosowany do wymagań kompensacji zjawiska wykorzystywanego do kompensacji kąta polaryzacji światła, spowodowanego oddziaływaniem wysokiego napięcia, realizowanej w bloku kompensującym zmianę kąta polaryzacji światła.

W bloku kompensującym zmianę kąta polaryzacji światła, dla kompensacji sygnału podawanego z bloku modulacji sygnału świetlnego, wykorzystywane jest zjawisko modulacji sygnału świetlnego sygnałem prądowym o niskim napięciu, korzystnie zjawisko Faradaya.

Zjawiskiem wykorzystywanym do polaryzowania sygnału świetlnego, w bloku modulacji sygnału świetlnego, jest efekt elektrooptyczny, korzystnie efekt Pockelsa.

Sygnał z bloku zadajnika sygnału kompensującego jest przesyłany do bloku pomiaru sygnału kompensującego, w momencie, gdy blok czujnika wykrywającego brak zmiany polaryzacji przekaże sygnał o zakończeniu procesu kompensacji, w bloku kompensującym zmianę polaryzacji światła sygnału przekazanego z bloku modulacji sygnału świetlnego.

Detektor zmiany polaryzacji może być nieliniowy, informuje on tylko o tym, czy jest zmiana kompensacji, czy jej nie ma. Natomiast przedmiotem pomiaru jest wartość sygnału kompensującego zmianę kąta polaryzacji światła, która wywołana jest oddziaływaniem mierzonego wysokiego napięcia w bloku modulacji sygnału świetlnego i która jest następnie kompensowana w bloku kompensacyjnym.

Zastosowanie metod, wykorzystujących zjawiska optoelektryczne, w obwodzie pomiarowym i kompensującym, pozwala na pominięcie wpływu zjawisk jednakowo występujących w obu obwodach, w tym wypadku w obu miejscach oddziaływania na światło, natomiast na etapie detekcji istotny jest stan równowagi, bez znaczenia jest natomiast nieliniowość etapu wyznaczania kąta polaryzacji strumienia światła mierzonym wysokim napięciem oraz etapu kompensowania kąta polaryzacji wywołanej mierzonym napięciem, natomiast dla detekcji kompensacji zmiany polaryzacji spowodowanej oddziaływaniem mierzonego napięcia istotny jest tylko stan równowagi.

Urządzenie kompensujące nie musi być oparte na tym samym zjawisku, jakie jest wykorzystane w elemencie poddawany działaniu wysokiego napięcia, stąd zmiana skali zjawiska. W bloku kompensującym można oddziaływać na drugi kryształ innym kontrolowanym polem elektrycznym lub magnetycznym, a nawet wykorzystać modulator akustyczno-optyczny.

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

W rozwiązaniu 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 bloku kompensacji doprowadza się do kompensacji tej zmiany znanym sygnałem o małej skali.

Rozwiązanie według wynalazku umożliwia pomiar składowego widma wysokiego napięcia o różnych częstotliwościach, a jednocześnie zmniejsza niepewność pomiaru i upraszcza konstrukcję w obszarze strojenia – np. ustawiania detektorów polaryzacji.

Przedmiot wynalazku w przykładzie wykonania (realizacji) jest uwidoczniony na rysunku, na którym fig. 1 przedstawia schemat blokowy układu pomiarowego wysokonapięciowego woltomierza kompensacyjnego, a poszczególne bloki oraz elementy reprezentują:

Element nr 1 – wysokonapięciowa sieć energoelektryczna stanowiąca źródło wysokiego napięcia i jego pola oddziałującego na blok nr 2, Blok nr 2 – blok modulacji sygnału świetlnego zawierający optyczny czujnik napięcia, wykorzystany efekt Kerra lub Pockelsa, Blok nr 3 – blok kompensujący zmianę kąta polaryzacji światła powstającą w bloku nr 2, Blok nr 4 – blok czujnika wykrywającego brak zmiany kąta polaryzacji, czyli równowagi kąta polaryzacji sygnału wychodzącego ze źródła światła spolaryzowanego L i wychodzącego z bloku nr 3, Blok nr 5 – blok zadajnika sygnału kompensującego zmianę kąta polaryzacji powstałą w bloku nr 2, Blok nr 6 – blok pomiaru sygnału kompensującego, Blok nr 7 – blok generującego sygnał wyjściowy, proporcjonalny do mierzonego wysokiego napięcia, interfejs wyprowadzający wyniki pomiaru, L – źródło światła spolaryzowanego.

Zasada działania układu wysokonapięciowego woltomierza kompensacyjnego, według wynalazku, polega na oddziaływaniu wysokiego napięcia 1, na blok 2 zawierający kryształ czujnika optoelektrycznego, przez który przepuszczany jest spolaryzowany strumień światła w ten sposób, że zmianie ulega kąt polaryzacji światła wychodzącego z bloku 2. Zjawiskiem wykorzystywanym, przez czujnik optoelektryczny znajdujący się w bloku modulacji sygnału świetlnego (2), do polaryzowania sygnału świetlnego mierzonym wysokim napięciem, jest efekt elektrooptyczny, korzystnie efekt Pockelsa. W bloku 3 kompensuje się zmianę kąta polaryzacji światła powstałą w bloku 2. Sygnałem kompensującym kąt polaryzacji światła spowodowany oddziaływaniem mierzonego wysokiego napięcia jest sygnał kompensujący, generowany w bloku 5. Sygnał kompensujący z bloku zadajnika sygnału kompensującego (5) jest dostosowany do wymagań kompensacji zjawiska wykorzystywanego do kompensacji kąta polaryzacji światła, spowodowanego oddziaływaniem wysokiego napięcia, realizowanej w bloku kompensatora (3).

W procesie kompensacji sygnału podawanego z wyjścia bloku modulacji sygnału świetlnego (2) do wejścia bloku kompensującego zmianą kąta polaryzacji światła (3) wykorzystywane jest zjawisko modulacji sygnału świetlnego sygnałem prądowym o niskim napięciu, korzystnie zjawiskiem Faradaya.

Blok 4 jest detektorem sprawdzającym stan polaryzacji światła wychodzącego z bloku 3 i wychodzącego ze źródła światła spolaryzowanego (L) i przekazuje on do bloku 5 informację o wystąpieniu różnicy kątów polaryzacji światła pomiędzy strumieniem wychodzącym ze źródła światła spolaryzowanego (L) a wychodzącym z bloku 3. Blok 5 generuje narastający sygnał powodujący kompensację realizowaną w bloku 3.

Sygnał z bloku zadajnika sygnału kompensującego (5) jest przesyłany do bloku pomiaru sygnału kompensującego (6), a w momencie, gdy blok czujnika wykrywającego brak zmiany polaryzacji (4) przekaże sygnał o zakończeniu, w bloku (3), procesu kompensacji sygnału przekazanego z bloku (2), czyli o braku różnicy w kącie polaryzacji porównywanego sygnału przekazanego z bloku (2) z sygnałem pobieranym bezpośrednio ze źródła światła spolaryzowanego (L) zmierzona wartość sygnału kompensującego jest traktowana jako wynik pomiaru i w oparciu o nią w bloku (7) jest określana wartość mierzonego wysokiego napięcia.

Kąt polaryzacji światła, który uznawany jest za odniesienie, dobierany jest dla potrzeb stosowanego w czujniku zjawiska.

Wynalazek zostanie wykorzystany w bezpiecznych pomiarach wysokich napięć w sieciach przesyłowych systemu energetycznego. Umożliwi on dokonywanie pomiarów istotnych parametrów wysokich napięć oraz pozwoli na monitorowanie pracy niespokojnych źródeł energii elektrycznej np. ferm wiatrowych, czy odbiorów przemysłowych.

Wykaz oznaczeń

L – źródło światła spolaryzowanego

1 – wysokonapięciowa sieć energoelektryczna

2 – blok modulacji sygnału świetlnego

- 3 – blok kompensujący zmianę kąta polaryzacji światła
- 4 – blok czujnika wykrywającego brak zmiany kąta polaryzacji
- 5 – blok zadajnika sygnału kompensującego
- 6 – blok pomiaru sygnału kompensującego
- 7 – blok generującego sygnał wyjściowy

Zastrzeżenie patentowe

1. Układ wysokonapięciowego woltomierza kompensacyjnego wyposażonego w czujnik optoelektryczny (2), na który oddziałuje pole elektromagnetyczne wysokonapięciowej sieci energoelektrycznej (1), **znamienny tym**, że wyjście źródła światła spolaryzowanego (L) jest połączone z wejściem bloku modulacji sygnału świetlnego (2), zawierającego czujnik optoelektryczny, na który działa mierzone wysokie napięcie sieci energoelektrycznej (1), powodując zmianę kąta polaryzacji światła, a sygnał świetlny o zmienionej polaryzacji podawany jest z wyjścia bloku (2) na pierwsze wejście bloku kompensującego zmianę kąta polaryzacji światła (3), zaś z jego wyjścia skompensowany sygnał świetlny podawany jest na pierwsze wejście bloku czujnika wykrywającego brak zmiany kąta polaryzacji (4), a na drugie wejście bloku (4) podawany jest sygnał świetlny z wyjścia źródła światła spolaryzowanego (L), zaś wyjście bloku (4) połączone jest z wejściem bloku zadajnika sygnału kompensującego (5), natomiast pierwsze wyjście bloku zadajnika sygnału kompensującego (5) połączone jest z wejściem drugim bloku kompensującego zmianę kąta polaryzacji światła (3), a drugie wyjście bloku (5) połączone jest z wejściem bloku pomiaru sygnału kompensującego (6), zaś wyjście bloku (6) połączone jest z wejściem bloku generującego sygnał wyjściowy (7), określający wartość mierzonego napięcia wysokonapięciowej sieci energoelektrycznej (1).

Rysunek

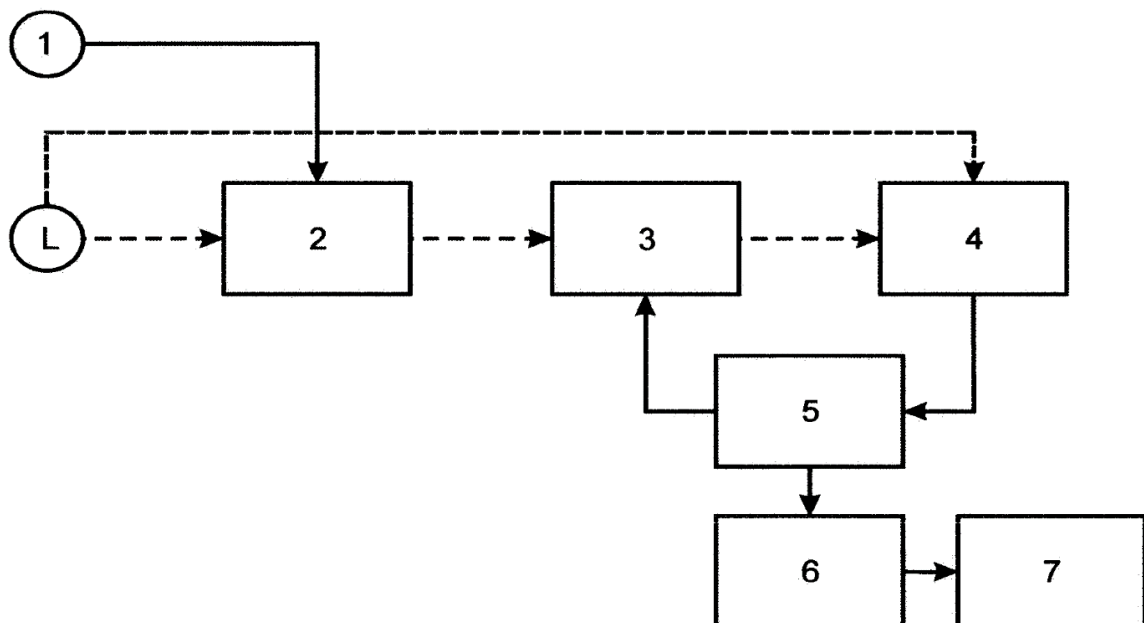


Fig. 1

