

RZECZPOSPOLITA
POLSKA



Urząd Patentowy
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY**

(19) **PL**

(11) **214928**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **387184**

(22) Data zgłoszenia: **03.02.2009**

(51) Int.Cl.

G01R 15/14 (2006.01)

G01R 15/18 (2006.01)

G01R 15/24 (2006.01)

G01R 19/00 (2006.01)

(54)

Izolowany galwanicznie cyfrowy układ do pomiaru prądu

(43) Zgłoszenie ogłoszono:

16.08.2010 BUP 17/10

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:

30.09.2013 WUP 09/13

(73) Uprawniony z patentu:

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

(72) Twórca(y) wynalazku:

**MICHAŁ SZYPER, Kraków, PL
ANDRZEJ WETUŁA, Kraków, PL
ANDRZEJ BIEŃ, Kraków, PL**

(74) Pełnomocnik:

rzecz. pat. Alina Magońska

PL 214928 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest izolowany galwanicznie cyfrowy układ do pomiaru prądu w obwodach wysokiego napięcia, takich jak: podstacje, rozdzielnie, odbiorniki dużych mocy itp.

Pomiary wartości prądu w obwodach wysokonapięciowych, z uwagi na zagrożenie porażeniem lub wyładowaniem elektrycznym, wymagają stosowania specyficznych urządzeń pomiarowych zapewniających wysoki stopień bezpieczeństwa. Z uwagi na szeroki zakres wartości mierzonych prądów czujniki winne z jednej strony charakteryzować się małymi stratami i dużą czułością w zakresie małych prądów i jednocześnie wykazywać dużą liniowość w zakresie dużych prądów. Jednoczesne spełnienie tych wymagań jest trudne i kosztowne, wymaga to stosowania drogich materiałów magnetycznych o małych stratach, a z drugiej strony, aby uniknąć pogorszenia parametrów wskutek nasycenia, obwód magnetyczny musi posiadać znaczne wymiary geometryczne. Jako rozwiązanie alternatywne, w celu uniknięcia stosowania dużych wysokonapięciowych transformatorów prądowych, czasami stosuje się, optyczne czujniki prądu wykorzystujące efekt Faradaya, gdzie wytworzone przez prąd zmienne pole magnetyczne zmienia polaryzację światła w światłowodzie umieszczonym w pobliżu przewodnika przez który płynie prąd. Ten sposób zbierania informacji jest jednak wrażliwy na zakłócenia, skomplikowany i kosztowny.

W urządzeniach pomiarowych, gdzie nie mogą być zastosowane przekładniki prądowe z obwodem magnetycznym, np. z uwagi na zakres częstotliwości, funkcję czujnika prądu zazwyczaj pełni cewka Rogowskiego. Cewka Rogowskiego umożliwia, w oparciu o prawo Ampera, obliczenie wartości całki krzywoliniowej wektora indukcji magnetycznej po dowolnym zamkniętym konturze otaczającym przewód, przez który płynie prąd. Jeżeli przez przewód płynie prąd zmienny, a wzdłuż zamkniętego konturu rozłożona jest cewka wielozwojowa, to na jej wyprowadzeniach zostanie wygenerowane napięcie zmienne proporcjonalne do pochodnej natężenia prądu płynącego przez przewód, ilości zwojów cewki oraz częstotliwości prądu. Wartość napięcia indukowanego w cewce określa zależność:

$$u(t) = \frac{S \cdot N \cdot \mu_0}{2 \cdot \pi \cdot r} \cdot \frac{dI}{dt}$$

gdzie:

S - powierzchnia pojedynczego zwoju cewki,

N - liczba zwojów cewki,

r - promień cewki,

μ_0 - przenikalność magnetyczna.

Ponieważ częstotliwość prądu ma silny wpływ na wartość sygnału wyjściowego cewki Rogowskiego, zazwyczaj konieczne jest zastosowanie obróbki odebranego sygnału. Zaletą cewki Rogowskiego jako czujnika prądu jest dobra liniowość, brak elementu magnetycznego i możliwość pomiarów prądów o większych częstotliwościach. Niedogodnością jest mała amplituda sygnału wyjściowego oraz silna zależność amplitudy sygnału wyjściowego od częstotliwości.

Hybrydowe konstrukcje czujników prądu, w których stosuje się osobne detektory prądu dla zakresu małych prądów i zakresu dużych prądów, umożliwiają zmniejszenie wymiarów geometrycznych całego zespołu. Ponieważ dla zakresu dużych prądów sygnał pobierany jest z czujnika nie zawierającego obwodu magnetycznego możliwe jest zastosowanie transformatora prądowego małej mocy dla zakresu małych prądów.

W amerykańskim opisie patentowym nr US 6.346.805 ujawniono precyzyjną metodę pomiaru prądu, w której porównuje się pierwszy sygnał wytworzony przez pierwszy małej mocy transformator pomiarowy posiadający obwód magnetyczny z drugim sygnałem wytworzonym przez drugi niemagnetyczny transformator pomiarowy. Następnie dokonuje się selekcji jednego z sygnałów dla dalszego procesu konwersji w zależności od wartości mierzonego prądu oraz wymaganego stopnia dokładności pomiaru, a także w oparciu o różnice pomiędzy parametrami sygnałów (np. gradienty). W związku z tym faktem oba czujniki są dołączone do wspólnego układu cyfrowej konwersji sygnału. Jako niemagnetyczny transformator prądowy może być zastosowana cewka Rogowskiego, lub optyczny transformator pomiarowy wykorzystujący efekt Faradaya.

Znane jest z amerykańskiego opisu patentowego nr US 6.614.218 urządzenie pomiarowe, w którym jako czujnik prądu zastosowano cewkę Rogowskiego do której dołączono szeregowo, składający się z dwóch części pasywny układ całkujący, który następnie połączony jest z aktywnym układem całkującym. Wartości elementów zostały tak dobrane, że w zakresie małych częstotliwości wartość

funkcji transmitancji jest zależna od aktywnego układu całkującego, natomiast w zakresie wielkich częstotliwości funkcja transmitancja kształtowana jest przez pasywny obwód całkujący. W celu zminimalizowania oscylacji wysokiej częstotliwości cewka Rogowskiego jest obciążona rezystorem tłumiącym, którego wartość jest zbliżona do wartości charakterystycznej impedancji cewki. Urządzenie pomiarowe według wynalazku pracuje poprawnie w zakresie częstotliwości od 1 Hz do 1 MHz.

Z japońskiego zgłoszenia patentowego JP200310655 znane jest urządzenie do pomiaru prądu wykorzystujące cewkę Rogowskiego jako czujnik prądowy. W urządzeniu zastosowano tylko fragment pełnego obwodu cewki Rogowskiego, który jest połączony ze wzmacniaczem całkującym dla scałkowania sygnału wyjściowego odebranego z fragmentu cewki Rogowskiego. Sygnał następnie jest przesyłany do obwodu korekcji sygnału, który odtwarza sygnał odpowiedni dla sygnału pełnej cewki Rogowskiego.

Szerszy zakres częstotliwości uzyskano w urządzeniu pomiarowym według wynalazku przedstawionego w amerykańskim opisie patentowym nr US6,366,076. Zawiera ono dwa odmienne czujniki prądu; pierwszy z nich stanowi cewka Rogowskiego, która obejmuje przewód prądowy, drugi stanowi zespół kilku hallotronowych detektorów pola magnetycznego rozmieszczonych w otoczeniu przewodu prądowego. Suma sygnałów z detektorów pola magnetycznego po uformowaniu jest doprowadzona wraz z sygnałem z cewki Rogowskiego do procesora sygnałowego. Wyjściowy sygnał procesora sygnałowego jest proporcjonalny do natężenia prądu płynącego przez przewód prądowy. Urządzenie pracuje w szerokim zakresie częstotliwości, 0 Hz ÷ 10 MHz.

Z uwagi na fakt pośredniej metody pomiaru prądu, wartości sygnałów generowanych przez czujniki są niewielkie, zatem, obwody wejściowe przechwytyjące te sygnały winne charakteryzować się wysoką stabilnością czasową, być niewrażliwe na zmienne czynniki środowiskowe takie jak: temperatura, wilgotność, wibracje i zakłócenia elektromagnetyczne. Ponieważ zapewnienie wysokiej stabilności czasowej i środowiskowej nie zawsze jest możliwe, korzystna byłaby realizacja dostrojenia przyrządu w warunkach bieżącej eksploatacji. Kalibracja obwodu pomiarowego, po stronie wysokiego napięcia, winna być możliwa z poziomu niskiego napięcia, czyli bez fizycznej ingerencji w obwód po stronie wysokiego napięcia.

Istotą wynalazku jest izolowany galwanicznie cyfrowy układ do pomiaru prądu, w którym czujnik prądu zawierający cewkę Rogowskiego połączony jest z blokiem wejściowym o bardzo małym poborze mocy, który wyposażony jest, w co najmniej jeden podukład konwersji sygnału analogowego na postać cyfrową oraz połączony z nim podukład obróbki cyfrowej sygnału, który za pośrednictwem łączy światłowodowych złożonych z diod elektroluminescencyjnych, fotodiod i światłowodów sygnałowych połączony jest z cyfrowym modułem odbiorczym, w którym następuje dekodowanie odebranego sygnału i ekspozycja wyników pomiaru. Ponadto cyfrowy blok wejściowy połączony jest z konwerterem energii świetlnej na energię elektryczną, który za pośrednictwem wiązki światłowodów połączony jest z optoelektronicznym źródłem światła, którym jest dioda LED mocy.

Przedmiot wynalazku ujawniono w przykładzie wykonania na rysunku przedstawiającym schemat blokowy izolowanego galwanicznie cyfrowego układu do pomiaru prądu. Izolowany galwanicznie układ do pomiaru prądu w obwodach wysokiego napięcia ma czujnik prądu 1 zrealizowany w oparciu o cewkę Rogowskiego 2 obejmującą przewód prądowy wysokiego napięcia. Czujnik prądu 1 połączony jest z cyfrowym blokiem wejściowym 3, korzystnie umieszczonym blisko czujnika prądu 1. Oba wymienione elementy, oraz zasilający cyfrowy blok wejściowy 3 konwerter energii świetlnej na elektryczną 11, zabezpieczone są przed zewnętrznymi zakłóceniami elektromagnetycznymi wspólnym ekranem. Cyfrowy blok wejściowy 3 zawiera podukład konwersji sygnału analogowego na postać cyfrową oraz procesor cyfrowej obróbki sygnału, który za pośrednictwem łączy światłowodowych złożonych z diod elektroluminescencyjnych 4, 9, fotodiod 5, 8 i światłowodów sygnałowych 6, 7 połączony jest z cyfrowym modułem odbiorczym 10. Zastosowanie cyfrowego bloku wejściowego 3 wyposażonego w konwerter sygnału analogowego na postać cyfrową w połączeniu z procesorem sygnałowym w otoczeniu czujnika prądu 1 jest szczególnie korzystne, ponieważ niejako na miejscu, czyli w strefie wysokiego napięcia, mogą być zrealizowane procesy korekty charakterystyki czujnika 1, eliminacji szumów oraz bieżącej adaptacji do zmiennych warunków środowiskowych. Dodatkowe algorytmy niezbędne do realizacji zaawansowanych procesów uśredniania mogą być przesłane za pośrednictwem, dwukierunkowego łącza optoelektronicznego z modułu odbiorczego 10. Ponieważ moduł odbiorczy 10 pracuje w strefie niskich napięć i jest odizolowany galwanicznie od cyfrowego bloku wejściowego 3, możliwa jest bieżąca korekta programów sterujących obwodami w strefie wysokiego napięcia. Cyfrowy blok wejściowy 3 zasilany jest przez konwerter energii świetlnej na elektryczną 11,

który za pośrednictwem wiązki światłowodów 12 połączony jest z optoelektronicznym źródłem światła 13, które stanowi dioda LED mocy.

Przepływ prądu zmiennego przez przewód otoczony uzwojeniem cewki Rogowskiego 2 powoduje wyindukowanie na jej wyprowadzeniach napięcia zmiennego, którego amplituda jest proporcjonalna do wartości pochodnej przepływającego prądu. Sygnał napięciowy z cewki Rogowskiego 2 za pośrednictwem cyfrowego bloku wejściowego 3 przetwarza się na postać cyfrową, a następnie w tymże bloku dokonuje cyfrowej obróbki sygnału, która ma na celu wyznaczenie amplitudy sygnału dla częstotliwości podstawowej oraz wartości amplitud dla wybranych ustalonych częstotliwości. Obliczone wartości przesyła się za pośrednictwem łącza światłowodowego złożonego z diody elektroluminescencyjnej 4, fotodiody 8 i światłowodu sygnałowego 6 do cyfrowego modułu odbiorczego 10, w którym następuje dekodowanie odebranego sygnału, ekspozycja wyników pomiaru oraz adaptacja sygnałów dla innych urządzeń zewnętrznych. Cyfrowy blok wejściowy 3 zasilany jest bezpośrednio przez konwerter energii świetlnej na energię elektryczną 11, do którego energia świetlna jest dostarczana za pośrednictwem wiązki światłowodów 12 z optoelektronicznego źródła światła 13. Za pośrednictwem cyfrowego modułu odbiorczego 10 oraz łącza światłowodowego złożonego z diody elektroluminescencyjnej 9, fotodiody 5 i światłowodu sygnałowego 7 istnieje możliwość zdalnego ustawienia parametrów dla procesu obróbki sygnału w bloku wejściowym 3.

Reasumując, izolowany galwanicznie system do pomiaru prądu w obwodach wysokiego napięcia według wynalazku dzięki zastosowaniu bezrdzeniowego czujnika prądu 1 umożliwia pomiar prądów w szerokim zakresie bez obawy uszkodzenia lub degradacji, światłowodowe łącza dla transmisji sygnałów cyfrowych i transfer energii zapewniają wysoką odporność na wysokie napięcie, natomiast umiejscowienie obwodu konwersji sygnału i procesora sygnałowego bezpośrednio przy czujniku prądu 1 zapewnia dużą niezawodność i zwartość konstrukcji. Cechą korzystną jest możliwość bieżącej adaptacji systemu w czasie jego eksploatacji. Programowy proces korekcji parametrów wysokonapięciowej części systemu może zostać zrealizowany bez fizycznego kontaktu z wysokonapięciową częścią systemu.

Zastrzeżenie patentowe

Izolowany galwanicznie cyfrowy układ do pomiaru prądu w obwodach wysokiego napięcia zawierający czujnik prądowy w postaci cewki Rogowskiego, konwerter analogowo cyfrowy, światłowodowe łącza dla transferu sygnałów oraz światłowodowe łącza dla transferu energii zasilającej, **znamienny tym**, że czujnik prądowy (1) zawierający cewkę Rogowskiego (2) połączony jest z blokiem wejściowym (3) o bardzo małym poborze mocy, który wyposażony jest, w co najmniej jeden podukład konwersji sygnału analogowego na postać cyfrową oraz połączony z nim podukład obróbki cyfrowej sygnału, który za pośrednictwem łączy światłowodowych złożonych z diod elektroluminescencyjnych (4), (9), fotodiod (5), (8) i światłowodów sygnałowych (6), (7) połączony jest z cyfrowym modułem odbiorczym (10), w którym następuje dekodowanie odebranego sygnału i ekspozycja wyników pomiaru, ponadto cyfrowy blok wejściowy (3) połączony jest z konwerterem energii świetlnej na energię elektryczną (11), który za pośrednictwem wiązki światłowodów (12) połączony jest z optoelektronicznym źródłem światła (13), którym jest dioda LED mocy.

Rysunek



