

RZECZPOSPOLITA
POLSKA



Urząd Patentowy
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY**

(19) **PL**

(11) **231854**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **421519**

(22) Data zgłoszenia: **08.05.2017**

(51) Int.Cl.

G01R 15/06 (2006.01)

G01R 15/08 (2006.01)

G01R 19/00 (2006.01)

(54)

Wielopoziomowy hierarchiczny dzielnik napięcia z autokalibracją

(43) Zgłoszenie ogłoszono:

19.11.2018 BUP 24/18

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:

30.04.2019 WUP 04/19

(73) Uprawniony z patentu:

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

(72) Twórca(y) wynalazku:

JERZY NABIELEC, Kraków, PL

(74) Pełnomocnik:

rzec. pat. Andrzej Rogowski

PL 231854 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest wielopoziomowy hierarchiczny dzielnik napięcia z autokalibracją, przeznaczony do pomiarów wysokiego napięcia, który służy do redukcji bardzo wysokich napięć, rzędu kilkuset kV, do wartości dostosowanej do zakresu tradycyjnych instrumentów pomiarowych, czyli do 300 Vrms lub standardowych przetworników analogowo-cyfrowych, czyli ± 10 V DC.

Klasyczne dzielniki napięcia: rezystancyjne, indukcyjne lub pojemnościowe posiadają szereg wad. Podstawową wadą jest zmiana, współczynnika dzielnika napięcia w czasie, na skutek starzenia się elementów lub warunków środowiskowych, takich jak temperatura, wilgotność lub zanieczyszczenie środowiska. Przykładowo, zmiany w wilgotności powietrza powodują zmiany w rezystancjach upływu bocznikujących impedancje dzielnika, tym samym skutkując niekontrolowanymi zmianami współczynnika dzielnika. Podobnie, zewnętrzne zanieczyszczenia (zapylenie, tłuste zabrudzenia) bocznikując elementy dzielnika zapoczątkowują niekontrolowane zmiany współczynnika dzielnika. Ponadto, obciążenie dzielnika z określoną impedancją również zmienia współczynnik dzielnika.

Zmieniają się również dynamiczne własności dzielnika napięcia. Poza elementami rezystancyjnymi, każdy dzielnik napięcia zawiera pasożytnicze elementy reaktancyjne. Dzielniki indukcyjne zasadniczo zawierają elementy reaktancyjne. Wartości pojemności pasożytniczej zmieniają się w niekontrolowany sposób, wskutek obecności lub przemieszczenia obcych przewodników w otoczeniu dzielnika napięcia. Zmiany w geometrii dzielnika napięcia wywołane cieplnym rozszerzeniem jego elementów skutkują zmianami pojemności występujących w dzielniku. Niekontrolowane zmiany pojemności mogą być spowodowane przez zmiany temperatury oraz wilgotności, a nawet wpływ ciśnienia powietrza na względną przenikalność powietrza. Co więcej, starzenie się materiału dielektrycznego, również wpływa na niekontrolowane zmiany pojemności. Indukcyjność każdego elementu przewodzącego wywołuje pojawianie się nieokreślonego pasożytniczego sprzężenia magnetycznego pomiędzy głównym obwodem a elementami przewodzącym w jego otoczeniu. Pasożytnicze pojemności lub indukcyjności tworzą obwody rezonansowe, które w istotny sposób zmieniają właściwości metrologiczne dzielnika napięcia, szczególnie dla sygnałów zawierających wyższe harmoniczne. Znane są przykłady przypadków ferrozrezonansu w indukcyjnych dzielnikach napięcia, które znacznie zniekształcają amplitudę oraz charakterystykę częstotliwościową dzielnika napięcia.

Znane są rozwiązania projektowane dla uniknięcia, co najmniej części wspomnianych powyżej wad.

Z amerykańskiego opisu patentowego US3256484 znana jest sonda wysokiego napięcia do oscyloskopu, w której zapewniono wysoki stopień izolacji poprzez zastosowanie ciekłego dielektryka, który częściowo wypełnia komorę z dzielnikiem napięcia. Ponieważ temperatura wrzenia freonu zastosowanego, jako ciekły dielektryk wynosi $+4,1$ stopnia Celsjusza, pozostałą część komory wypełniają opary ciekłego dielektryka pod ciśnieniem. Takie rozwiązanie umożliwia kilkukrotne zwiększenie wytrzymałości izolacji w otoczeniu dzielnika napięcia, w stosunku do suchego powietrza. Sonda umożliwia również pomiar wysokich napięć do 30 kV w zakresie częstotliwości DC – 70 MHz, oraz czasu narastania około 3,3 ns.

Z rosyjskiego zgłoszenia patentowego RU2399920 znany jest sposób bezkontaktowego pomiaru współczynnika zniekształceń napięcia i prądu w elektrycznej trakcji kolejowej, w której czujniki pola elektrycznego i magnetycznego są zamontowane na końcu dwumetrowego pręta i umiejscowione poniżej przewodu jezdnego. Sygnały z obu czujników są doprowadzane do wejść dwukanałowego oscyloskopu połączonego z komputerem, za pośrednictwem którego dokonuje się synchronicznej rejestracji oraz analizy spektralnej sygnałów.

Z amerykańskiego opisu patentowego US3256484 znana jest sonda, której wadą jest konieczność utrzymywania określonej ilości ciekłego freonu, natomiast polimerowe materiały izolacyjne, ze względu na nieuniknione prądy powierzchniowe nie zapewniają stabilnych parametrów dotyczących pojemności i indukcyjności w zmiennych warunkach środowiskowych (wilgotność, zapylenie), co skutkuje niekontrolowaną zmianą metrologicznych właściwości statycznych i częstotliwościowych.

Z amerykańskiego opisu patentowego US6100750 znany jest dzielnik napięcia niezależny od częstotliwości, który ma szeregowo połączone rezystory włączone pomiędzy zacisk wejściowy a zacisk referencyjny do otrzymywania sygnału wejściowego. Zacisk wyjściowy zapewniający sygnał wyjściowy jest przyłączony do węzła pomiędzy szeregowo połączonymi rezystorami. Wpływ pasożytniczych pojemności eliminuje się natomiast za pomocą kondensatorów kompensujących.

Znany jest układ opisany w dokumencie PCT/EP2012/0666147 pod tytułem „Adaptacyjny dzielnik napięcia o skorygowanej charakterystyce częstotliwościowej do pomiaru wysokich napięć „. Układ ten zawiera dwa dzielniki napięcia równoległe, przyłączone do tego samego mierzonego napięcia. Jeden z dzielników ma zmienną strukturę. Przez sekwencyjną wymianę jego impedancji, które są przyległe do napięcia odniesienia i pomiar napięć na nich oraz na wyjściu gałęzi o stałej strukturze wyznacza się stosunek wartości wymienionych impedancji oraz stosunek wartości tych impedancji do dużej impedancji przyłączonej bezpośrednio do wysokiego napięcia. Na podstawie analizy harmonicznej określa się właściwości metrologiczne każdego z dzielników jednocześnie.

W artykule p.t. „Voltage divider with autocalibration – laboratory studies of passive version” autorstwa J. Nabelca, A. Wetula, i D. Borkowskiego – opublikowanym w Przeglądzie Elektrotechnicznym, ISSN 0033-2097, R.92 NR 11/2016 zaprezentowany został układ dzielnika napięcia z autokalibracją w wersji pasywnej. Dzielnik składa się z dwóch gałęzi zbudowanych z zespołów impedancyjnych, przy czym pierwsza gałąź o stałej strukturze składa się z dwóch zespołów impedancyjnych: górnego zespołu impedancyjnego i dolnego zespołu impedancyjnego charakteryzowanych przez współczynnik K ; połączonych szeregowo i wpiętych pomiędzy wejście wysokiego napięcia U a masę GND i mająca wyjście pomiarowe z węzła pomiędzy zespołem impedancyjnym górnym i zespołem impedancyjnym dolnym a druga gałąź o zmiennej strukturze, która składa się z trzech zespołów impedancyjnych; górnego zespołu impedancyjnego Q , środkowego zespołu impedancyjnego P i dolnego zespołu impedancyjnego T , który jest zbocznikowany łącznikiem S . Zespoły impedancyjne Q , P i T połączone są szeregowo i wpięte pomiędzy wejście wysokiego napięcia U a masę GND. Gałąź o zmiennej strukturze ma wyjścia pomiarowe z węzła pomiędzy zespołem impedancyjnym górnym Q i zespołem impedancyjnym dolnym T oraz z węzła pomiędzy zespołem impedancyjnym środkowym P i zespołem impedancyjnym dolnym T a masę GND.

Układ dzielnika opisany w cytowanym artykule przystosowany jest do realizacji metody pomiarowej wysokiego napięcia, przy zastosowaniu której wyznacza się wartość mierzonego wysokiego napięcia wejściowego tylko przy wykorzystaniu wyników pomiarów wewnętrznych napięć układu a dodatkowo posiada unikalną zaletę jaką jest autokalibracja układu kondycjonowania.

Autokalibracja układu dwugałęziowego dzielnika napięcia polega na wyznaczeniu stałej podziału K , dzielnika napięcia, stanowiącego pierwszą gałąź o strukturze stałej, zbudowanego z dwóch zespołów impedancyjnych o nieznanach wartościach. Nieznane są również wartości szeregowo połączonych zespołów impedancyjnych górnego środkowego i dolnego stanowiących gałęzi o zmiennej strukturze dwugałęziowego dzielnika napięcia. Nie są również znane relacje pomiędzy tymi wszystkimi impedancjami. Wszystkie te impedancje mogą mieć charakter rezystancyjny, pojemnościowy lub indukcyjny. Jedynym kryterium doboru ich wartości jest to, aby napięcia na nich występujące pokrywały około 80% zakresu wejściowego stosowanych woltomierzy. Dopuszcza się również powolną fluktuację wartości tych impedancji pod wpływem zmian środowiskowych lub starzenia.

Procedura wyznaczania stałej K realizowana jest w 2 krokach, w trakcie których zakłada się, że wartości impedancji dzielnika nie ulegają zmianie.

W pierwszym kroku styk zwierający, jest zamknięty powodując, iż druga gałąź dzielnika o zmiennej strukturze składa się jedynie z połączonych szeregowo zespołów impedancyjnych górnego i środkowego. Wyznaczane są wskazania napięć wyjściowego, mierzonego na zespole impedancyjnym dolnej gałęzi o stałej strukturze impedancji oraz napięcia na środkowym zespole impedancyjnym gałęzi o zmiennej strukturze, przy założeniu, że w trakcie tego pomiaru wysokie napięcie wejściowe nie zmienia się.

W drugim kroku styk zwierający, jest otwarty. Wyznaczane są wskazania napięcia wyjściowego, mierzonego na zespole impedancyjnym dolnej gałęzi o stałej strukturze impedancji i napięcia na środkowym zespole impedancyjnym gałęzi o zmiennej strukturze oraz napięcie na dolnym zespole impedancyjnym gałęzi o zmiennej strukturze, przy założeniu, że w trakcie tego pomiaru napięcie wejściowe U_2 nie zmienia się. Dopuszczalne jest, aby moduły napięcia wejściowego w obu cyklach pomiarowych miały różne wartości. Taka sytuacja często ma miejsce w sieci energetycznej podczas jej normalnej pracy. Wynika stąd, że moduły wskazów napięcia wyjściowego w obu cyklach pomiarowych również mogą się różnić w ślad za zmianami mierzonego wejściowego napięcia.

Do identyfikacji wartości stałej dzielnika stosowana jest zależność wykorzystująca wyniki rejestracji powyżej procedury pomiaru napięć.

$$U_2 = KV_2 = \frac{W_1 Y}{V_2 W_1 - W_2 V_1} V_2 = \frac{1}{1 - \lambda} Y = \Gamma Y$$

gdzie;

– U to napięcie wejściowe mierzone w pierwszym (1) i drugim kroku (2) procedury pomiarowej, K stała podziału, V napięcie wyjściowe mierzone w pierwszym (1) i drugim kroku (2) procedury pomiarowej, W napięcie na zespole impedancyjnym środkowym gałęzi o zmiennej strukturze mierzone w pierwszym (1) i drugim kroku (2) procedury pomiarowej λ to współczynnik $\lambda = \frac{W_2 V_1}{W_1 V_2}$ a Γ to współczynnik $\Gamma = \frac{1}{1 - \lambda}$.

Poszukiwana wartość stałej K jest określona poprzez jednoczesne pośrednie wyznaczenie wskazu wejściowego napięcia dzielnika w drugim kroku procedury autokalibracji przy wykorzystaniu zależności i bezpośrednio wyznaczenie wskazu napięcia wyjściowego dzielnika w drugim kroku procedury autokalibracji.

Dla pośredniego wyznaczenia wartości wskazu napięcia wejściowego wartości elementów gałęzi dzielnika o zmiennej konfiguracji, to znaczy zespołów impedancyjnych górnego, środkowego i dolnego mogą być dobrane na wiele sposobów. Jeżeli w układzie zastosujemy impedancję dolną gałęzi o zmiennej strukturze o małej wartości modułu w porównaniu do modułu dominującej impedancji górnej, to moduł wskazu napięcia na zespole impedancyjnym dolnym będzie niewielki. Wtedy, aby uzyskać oczekiwaną wartość modułu wskazu napięcia wyjściowego, moduł Γ powinien mieć duże wartości, przez co moduł λ będzie niewiele mniejszy od 1. Jest zgodne z faktem, że włączenie zespołu impedancji dolnej gałęzi o zmiennej strukturze o niewielkim module w porównaniu do modułu impedancji całej gałęzi powoduje niewielką zmianę modułu prądu płynącego w tej gałęzi, a przez to moduł ilorazu wskazów napięć $W_{1(2)}$ i $W_{1(1)}$ mierzonych na zespole impedancji środkowej gałęzi o zmiennej strukturze będzie również niewiele mniejszy od jedności. Wtedy błędy wyznaczenia tych wskazów mogą spowodować, że mianownik zależności wyznaczającej napięcie wyjściowe określającej Γ może przyjmować wartości zbliżone do oszacowanego bezwzględnego błędu jego określenia a może nawet zmienić znak.

W pomiarach, w których konieczne jest kondycjonowanie napięcia, czyli obniżenie napięć rzędu kilkuset woltów do poziomu akceptowanego przez typowe przetworniki A/D, czyli +10V DC, wskaźnik uwarunkowania numerycznego ma jeszcze na tyle małe wartości, że błędy graniczne pomiaru wewnętrznych napięć układu przenoszą się w niewielkim stopniu na wynik pomiaru napięcia wejściowego. Wtedy moduł identyfikowany stałą podziału, reprezentowanej, jako liczba zespolona, przyjmuje niewielkie wartości, przykładowo nie przekraczające 15.

W przypadku pomiaru bardzo wysokich napięć, rzędu kilkudziesięciu lub kilkuset kV zwielokrotnienie, nawet bardzo małych błędów granicznych pomiaru wewnętrznych napięć układu, jest na tyle duże, że błąd graniczny pomiaru napięcia wejściowego układu uzyskuje wartości nie do zaakceptowania.

Problemem rozwiązywanym przez opisywany wynalazek jest zaprojektowanie układu, który przeznaczony będzie do pomiaru wejściowego wysokiego napięcia, poprzez wyznaczenie jego wartości tylko przy wykorzystaniu wyników pomiarów wewnętrznych napięć układu i realizującej funkcję autokalibracji układu kondycjonowania oraz charakteryzującego się niskim błędem granicznym

Rozwiązaniem problemu jest układ wielopoziomowego hierarchicznego dzielnika napięcia z autokalibracją wykorzystujący dwugałęziowy dzielnik napięcia z autokalibracją, w którym gałąź pierwsza posiada strukturę stałą, składającą się z dwóch zespołów impedancyjnych połączonych szeregowo i wpięta jest pomiędzy wejście wysokiego napięcia a masę przy czym wyjściem jest napięcie mierzone na dolnym zespole impedancyjnym, natomiast druga gałąź posiada zmienną strukturę i składa się z trzech zespołów impedancyjnych; górnego, środkowego i dolnego, przy czym dolny zespół impedancyjny, zbocznikowany jest łącznikiem zwierającym a cała gałąź o zmiennej strukturze wpięta jest pomiędzy wejście wysokiego napięcia a masę. Napięcie jest mierzone na zespole impedancyjnym środkowym oraz niezależnie na zespole impedancyjnym dolnym a układ dwugałęziowego dzielnika napięcia z autokalibracją został opisany w artykule p.t. „Voltage divider with autocalibration – laboratory studies of passive version” oraz omówiony w opisie stanu techniki, natomiast wynalazek modyfikuje i rozbudowuje opisany układ, uzyskując w ten sposób rozwiązanie problemu wysokiego błędu granicznego pomiaru napięcia wejściowego układu.

Istota wielopoziomowego hierarchicznego dzielnika napięcia z autokalibracją dla pomiarów wysokiego napięcia, zawierającego dzielnik pierwszego poziomu składający się z dwóch równoległych gałęzi, zbudowanych z zespołów impedancyjnych, wpiętych pomiędzy punkt o potencjale U_A a punkt o potencjale U_B , o różnicy ich potencjałów odpowiadającej wysokiemu napięciu U_{AB} , w którym pierwsza gałąź o stałej strukturze składa się z dwóch zespołów impedancyjnych; górnego zespołu impedancyjnego Z i dolnego zespołu impedancyjnego R , połączonych szeregowo, przy czym równolegle do zespołu impedancyjnego R przyłączony jest przyrząd pomiarowy napięcia V o wyjściu cyfrowym a druga gałąź o zmiennej strukturze składa się z trzech zespołów impedancyjnych; górnego zespołu impedancyjnego Q oraz środkowego zespołu impedancyjnego P i dolnego zespołu impedancyjnego T , połączonych szeregowo, przy czym do dolnego zespołu impedancyjnego T przyłączony jest równolegle przyrząd pomiarowy napięcia Y , o wyjściu cyfrowym oraz łącznik S , łączący węzeł pomiędzy zespołami impedancyjnymi P i T z punktem o potencjale U_B , zaś równolegle do środkowego zespołu impedancyjnego P przyłączony jest przyrząd pomiarowy napięcia W , o wyjściu cyfrowym, zaś dzielnik wyposażony jest w cyfrowy układ zarządzania sekwencją przełączania łącznika zwierającego S oraz zarządzający realizacją procedur obliczeniowych, według wynalazku, polega na tym, że hierarchiczny N – poziomowy dzielnik napięcia z autokalibracją dla pomiarów wysokiego napięcia utworzony jest poprzez zastąpienie, w układzie dzielnika n – tego poziomu, w gałęzi drugiej, o zmiennej strukturze, zespołu impedancyjnego dolnego T_n , gdzie indeks n określa poziom dzielnika, wraz z równolegle przyłączonym do tego zespołu impedancyjnego przyrządem pomiarowym Y_n , włączonymi pomiędzy punkt o potencjale U_B a węzeł stanowiący połączenie tego zespołu impedancyjnego i ze środkowym zespołem impedancyjnym P_n oraz stykiem S_n zwierającym ten węzeł do punktu o potencjale U_B , układem odwzorowującym w całości strukturę znanego dwugałęziowego dzielnika napięcia pierwszego poziomu. Zastąpienie w układzie dzielnika n – tego poziomu, w gałęzi drugiej, o zmiennej strukturze, zespołu impedancyjnego dolnego T_n wraz z równolegle przyłączonym do tego zespołu impedancyjnego przyrządem pomiarowym Y_n układem odwzorowującym w całości strukturę znanego dwugałęziowego dzielnika napięcia pierwszego poziomu tworzy $n+1$ poziom w – N poziomowym hierarchicznym dzielniku napięcia z autokalibracją dla pomiarów wysokiego napięcia. W ostatnim utworzonym N -tym poziomie wielopoziomowego hierarchicznego dzielnika napięcia z autokalibracją dla pomiarów wysokiego napięcia, w gałęzi o zmiennej strukturze N – tego poziomu dzielnika, zespół impedancyjny dolny T_N jest fizycznie zrealizowanym zespołem impedancyjnym, z równolegle przyłączonym przyrządem pomiarowym napięcia Y_N i łącznikiem zwierającym S_N gdzie n przyjmuje wartości od 1 do N a dla $n=N$ jest ostatnim poziomem, gdzie w miejsce zespołu impedancji T_n , dla $n=1, \dots, N-1$, wstawiona została struktura dzielnika pierwszego poziomu.

Zespoły impedancyjne wielopoziomowego dzielnika napięcia z autokalibracją dla pomiarów wysokiego napięcia są zbudowane, jako zespoły o charakterystyce rezystywnej, pojemnościowej lub indukcyjnej a ich charakterystyka może być różna na różnych poziomach dzielnika.

Zespoły impedancje górny Z_n i dolny R_n połączone szeregowo i stanowiące pierwszą gałąź o stałej strukturze, w każdym dzielniku napięcia na każdym poziomie są, na co najmniej jednym poziomie dzielnika, zrealizowane w postaci dowolnego układu pomiarowego napięcia, korzystnie w postaci dowolnego przetwornika napięcia.

W układzie wielopoziomowego dzielnika napięcia z autokalibracją dla pomiarów wysokiego napięcia w gałęzi o zmiennej strukturze, dzielnika dowolnego poziomu, która składa się z trzech zespołów impedancyjnych połączonych szeregowo, a mianowicie górnego zespołu impedancyjnego Q_n oraz środkowego zespołu impedancyjnego P_n i dolnego zespołu impedancyjnego T_n , przy czym do dolnego zespołu impedancyjnego T_n i mierzącego na nim napięcie przyrządu pomiarowego Y_n lub do układu odwzorowującego w całości strukturę znanego dwugałęziowego dzielnika napięcia pierwszego poziomu, wpiętego w ich miejsce, przyłączony jest równolegle łącznik S_n , kolejność połączenia szeregowego elementów w tej gałęzi jest dowolna.

Przedmiot wynalazku objaśniony jest bliżej na przykładzie wykonania uwidocznionym na rysunku, na którym fig. 1 przedstawia schemat jednopozomowego dzielnika napięcia z autokalibracją, fig. 2 przedstawia schemat obrazujący zasadę tworzenia wielopoziomowego hierarchicznego dzielnika napięcia z autokalibracją, natomiast fig. 3 przedstawia schemat dwupoziomowego hierarchicznego dzielnika napięcia z autokalibracją.

Zgodnie z przykładem wykonania w układzie dwupoziomowego hierarchicznego dzielnika napięcia (fig. 3) wykorzystany jest dzielnik pierwszego poziomu składający się z dwóch gałęzi, włączonych pomiędzy punkt o potencjale U_A a punkt o potencjale U_B o różnicy ich potencjałów odpowiadającej mie-

rzonemu wysokiemu napięciu U_{AB} . Pierwsza gałąź o stałej strukturze składa się z dwóch zespołów impedancyjnych; górnego zespołu impedancyjnego Z_1 i dolnego zespołu impedancyjnego R_1 , połączonych szeregowo. Równolegle do zespołu impedancyjnego R_1 przyłączony jest przyrząd pomiarowy napięcia V_1 o wyjściu cyfrowym. Druga gałąź o zmiennej strukturze składa się z trzech zespołów impedancyjnych; górnego zespołu impedancyjnego Q_1 oraz środkowego zespołu impedancyjnego P_1 i dolnego zespołu impedancyjnego T_1 , połączonych szeregowo.

Do węzła pomiędzy zespołami impedancyjnymi P_1 i T_1 przyłączony jest łącznik S_1 łączący węzeł z punktem o potencjale U_B . Równolegle do środkowego zespołu impedancyjnego P_1 przyłączony jest przyrząd pomiarowy napięcia W_1 o wyjściu cyfrowym. Dzielnik wyposażony jest w (nieujawniony na rysunku) cyfrowy układ zarządzania sekwencją przełączania łącznika zwierającego S_1 oraz zarządzający realizacją procedur obliczeniowych.

W miejsce zespołu impedancyjnego T_1 włączony jest układ odwzorowujący strukturę dzielnika pierwszego poziomu, składający się z dwóch gałęzi, włączonych pomiędzy węzeł utworzony przez połączenie P_1 i T_1 , do którego przyłączony jest łącznik S_1 a punkt o potencjale U_B . Pierwsza gałąź o stałej strukturze składa się z dwóch zespołów impedancyjnych; górnego zespołu impedancyjnego Z_2 i dolnego zespołu impedancyjnego R_2 , połączonych szeregowo. Równolegle do zespołu impedancyjnego R_2 przyłączony jest równolegle przyrząd pomiarowy napięcia V_2 o wyjściu cyfrowym. Druga gałąź o zmiennej strukturze składa się z trzech zespołów impedancyjnych; górnego zespołu impedancyjnego Q_2 oraz środkowego zespołu impedancyjnego P_2 i dolnego zespołu impedancyjnego T_2 , połączonych szeregowo. Do dolnego zespołu impedancyjnego T_2 przyłączony jest równolegle przyrząd pomiarowy napięcia Y_2 o wyjściu cyfrowym oraz jest łącznik S_2 łączący węzeł utworzony przez połączenie P_2 i T_2 z punktem o potencjale U_B .

Działanie hierarchicznego wielopoziomowego dzielnika napięcia z autokalibracją omówione jest na przykładzie dzielnika dwupoziomowego.

W przypadku, gdy włączany jest zespół impedancji dolnej gałęzi o zmiennej strukturze o znacznie większej wartości modułu, to powoduje to istotną zmianę wartości prądu w tej gałęzi, a przez to moduł ilorazu wskazów napięć $W_{1(2)}$ i $W_{1(1)}$ jest istotnie mniejszy od jedności. Dzięki temu oszacowanie bezwzględnego błędu wyznaczenia mianownika będzie już o wiele mniejsze od jego wartości.

W celu uzyskania wyniku pomiaru napięcia wyjściowego o jak najmniejszym błędzie stosowany jest zespół impedancji dolnej gałęzi o zmiennej strukturze, o jak największej wartości modułu. Wtedy pojawia się problem bezpośredniego pomiaru i wyznaczenia wskazu napięcia na zespole impedancji dolnej gałęzi o zmiennej strukturze o dużej wartości modułu.

W układzie hierarchicznego wielopoziomowego dzielnika napięcia z autokalibracją, według wynalazku, dzielnik pierwszego poziomu, zawierający zestawy impedancyjne wejściowe w obu gałęziach redukuje wysokie napięcie wejściowe, rzędu kilkuset kV, do pośredniego napięcia Y_1 mierzzonego na zespole impedancji dolnej gałęzi o zmiennej strukturze, o średniej wartości rzędu pojedynczych kV.

W miejsce zespołu impedancji dolnej gałęzi o zmiennej strukturze, wprowadzona jest impedancja zastępcza o strukturze identycznej jak dzielnik pierwszego poziomu a moduł tej zastępczej impedancji jest na tyle duży, że jej szeregowo włączenie z zespołem impedancji górnym i środkowym istotnie wpływa na zmniejszenie prądu płynącego w gałęzi o zmiennej strukturze, w porównaniu do sytuacji, gdy zespół impedancji dolnej tej gałęzi jest zwarty. Dzięki temu moduł ilorazu wskazów napięć $W_{1(2)}$ i $W_{1(1)}$ mierzonych na zespole impedancji środkowej jest znacząco mniejszy od 1.

Dzielnik, oznaczony linią przerywaną, redukuje średnie napięcie Y do wartości akceptowalnych przez przetworniki A/D, które gdy styk S_2 (S_{n+1}) jest otwarty (stan $S_{2(2)}$) zaznaczono, jako Y_2 . W ten sposób jest realizowany pośredni pomiar napięcia Y o średnich wartościach.

Sekwencja przełączeń w układzie jest realizowana w 3 krokach.

W pierwszym kroku, przy zwartym styku S_n (oznaczonym jako S_1), wyznaczone są wskazy napięć $W_{1(1)}$ i $V_{1(1)}$.

W drugim kroku, przy otwartym styku S_n (oznaczonym jako S_1) oraz zamkniętym S_{n+1} (S_2), wyznaczone są wskazy napięć W_2 i V_2 .

W trzecim kroku, przy otwartym styku S_n oznaczonym jako S_1 oraz otwartym S_{n+1} (S_2), wyznaczone są wskazy napięć $W_{1(2)}$ i $V_{1(2)}$ oraz $W_{2(2)}$ i $V_{2(2)}$ oraz Y_2 .

Korzystnym jest aby oba poziomy dzielnika posiadały identyczną wartość Γ określoną przez równość.

$$\Gamma = \Gamma_1 = \Gamma_2 = (\Gamma_1 \Gamma_2)^{1/2}$$

Uzyskanie bardzo małej wartości niepewności pomiaru wysokiego napięcia, rzędu MV, uzyskuje się poprzez pomiar realizowany przy pomocy N-poziomowego hierarchicznego dzielnika napięcia, zawierającego N dzielników połączonych według zasady pokazanej na Fig. 2. Wartość prądu płynącego przez gałąź zawierającą impedancje Q_n i P_n w dzielniku n-tego poziomu, jest istotnie zmieniana przez szeregowe włączanie do niej zastępczej impedancji T_n , zrealizowanej w postaci kompletnego segmentu oznaczonego linią przerywaną i opatrzonego indeksem $n+1$, dla $n < N-1$. Jedynie dla ostatniego N-tego segmentu ($n=N$) kaskady, bezpośrednio mierzone jest napięcie Y_N na fizycznie istniejącej impedancji T_N , włączanej szeregowo w gałąź zawierającą impedancje Q_N i $P_{(N)}$.

N-poziomowy hierarchiczny dzielnik napięcia, złożony z N poziomów o wypadkowym współczynniku $\Gamma_{(N)}$, ma dla każdego z poziomów, dla $n < N$, identyczną wartość współczynnika Γ_n .

Przykładowo dla pomiaru napięcia o wartości do 1MV zastosowano dzielnik zawierający N=5 poziomów, z których każdy reprezentowany jest przez współczynnik $\Gamma_n = 10$ natomiast $\Gamma_{(5)} = 10^5$.

Wielopoziomowy hierarchiczny dzielnik napięcia z autokalibracją według wynalazku umożliwia pomiar wysokich napięć (110 kV i wyższe) zawierających harmoniczne z dużą dokładnością.

Układ pomiarowy wielopoziomowego hierarchicznego dzielnika zbudowany jest z podzespołów o wartościach jedynie tylko szacunkowo określonych. Dzięki temu na etapie produkcji unika się żmudnej selekcji wykorzystywanych podzespołów.

Dzięki autokalibracji w miejscu i w trakcie pracy układ sam dokonuje identyfikacji skutków wpływu zmiennych warunków klimatycznych na jego właściwości pomiarowe i przeprowadza korekcję tych niekorzystnych zmian. Układ przeprowadza autokalibrację dla każdej harmonicznej wykrytej w mierzonym sygnale. Dla każdej harmonicznej właściwości pomiarowe mogą być inne. Właściwości pomiarowe, czyli stosunek podziału napięć, określane są jako liczba zespolona, co pozwala wyznaczyć równocześnie amplitudy i kąty fazowe harmonicznych występujących w mierzonym wysokim napięciu. Z uwagi na to, że układ przeprowadza autokalibrację w miejscu pracy, nie ma konieczności odłączania go od sieci energetycznej, demontażu i przewożenia do wyspecjalizowanego laboratorium w celu weryfikacji jego właściwości pomiarowych. Autokalibracja przeprowadzana jest w miejscu pracy z uwzględnieniem wpływu warunków w nim panujących.

Ciągle przeprowadzana autokalibracja pozwala na wykrycie ewentualnych raptownych zmian właściwości pomiarowych. Dzięki temu można przewidzieć wystąpienie awarii lub zauważyć ingerencję osób niepowołanych.

Dotychczas stosowane układy pomiarowe opisane w stanie techniki są drogie a unikalne dzielniki rezystancyjne umożliwiają tylko oszacowanie podstawowej harmonicznej mierzonego wysokiego napięcia.

Wersja laboratoryjna urządzenia została zbudowana i wstępnie przetestowana z pozytywnym wynikiem dla napięcia typowego dla linii przesyłowej 110 kV.

Zastrzeżenia patentowe

1. Wielopoziomowy hierarchiczny dzielnik napięcia z autokalibracją dla pomiarów wysokiego napięcia, zawierający dzielnik pierwszego poziomu składający się z dwóch równoległych gałęzi, zbudowanych z zespołów impedancyjnych, wpiętych pomiędzy punkt o potencjale U_A a punkt o potencjale U_B o różnicy ich potencjałów odpowiadającej wysokiemu napięciu U_{AB} , w którym pierwsza gałąź o stałej strukturze składa się z dwóch zespołów impedancyjnych; górnego zespołu impedancyjnego Z i dolnego zespołu impedancyjnego R, połączonych szeregowo, przy czym równolegle do zespołu impedancyjnego R przyłączony jest przyrząd pomiarowy napięcia V o wyjściu cyfrowym a druga gałąź o zmiennej strukturze składa się z trzech zespołów impedancyjnych; górnego zespołu impedancyjnego Q oraz środkowego zespołu impedancyjnego P i dolnego zespołu impedancyjnego T, połączonych szeregowo, przy czym do dolnego zespołu impedancyjnego T przyłączony jest równolegle przyrząd pomiarowy napięcia Y o wyjściu cyfrowym oraz łącznik S, łączący węzeł pomiędzy zespołami impedancyjnymi P i T z punktem o potencjale U_B , zaś równolegle do środkowego zespołu impedancyjnego P przyłączony jest przyrząd pomiarowy napięcia W o wyjściu cyfrowym, zaś dzielnik wyposażony jest w cyfrowy układ zarządzania sekwencją przełączania łącznika zawierającego S oraz zarządzający realizacją procedur obliczeniowych, **znamienny tym**, że hierarchiczny N – poziom

mowy dzielnik napięcia z autokalibracją dla pomiarów wysokiego napięcia utworzony jest poprzez zastąpienie, w układzie dzielnika n – tego poziomu, w gałęzi drugiej, o zmiennej strukturze, zespołu impedancyjnego dolnego T_n , gdzie indeks n określa poziom dzielnika, wraz z równolegle przyłączonym do tego zespołu impedancyjnego przyrządem pomiarowym Y_n , włączonymi pomiędzy punkt o potencjale U_B a węzeł stanowiący połączenie tego zespołu impedancyjnego i ze środkowym zespołem impedancyjnym P_n oraz stykiem S_n zwierającym ten węzeł do punktu o potencjale U_B , układem odwzorowującym w całości strukturę znanego dwugałęziowego dzielnika napięcia pierwszego poziomu, tworząc $n+1$ poziom w – N poziomowym hierarchicznym dzielniku napięcia z autokalibracją dla pomiarów wysokiego napięcia, zaś w ostatnim utworzonym N -tym poziomie wielopoziomowego hierarchicznego dzielnika napięcia z autokalibracją dla pomiarów wysokiego napięcia, w gałęzi o zmiennej strukturze N – tego poziomu dzielnika zespół impedancyjny dolny T_N jest fizycznie zrealizowanym zespołem impedancyjnym, z równolegle przyłączonym przyrządem pomiarowym napięcia Y_N i łącznikiem zwierającym S_N gdzie n przyjmuje wartości od 1 do N a dla $n=N$ jest ostatnim poziomem, gdzie w miejsce zespołu impedancji T_n , dla $n=1, \dots, N-1$, wstawiona została struktura dzielnika pierwszego poziomu.

2. Wielopoziomowy dzielnik napięcia z autokalibracją dla pomiarów wysokiego napięcia według zastrz. 1, **znamienny tym**, że zespoły impedancyjne dzielnika są zbudowane, jako zespoły o charakterystyce rezystywnej, pojemnościowej lub indukcyjnej a ich charakterystyka może być różna na różnych poziomach dzielnika.
3. Wielopoziomowy dzielnik napięcia z autokalibracją dla pomiarów wysokiego napięcia według zastrz. 1, **znamienny tym**, że zespoły impedancje Z_n i R_n są, na co najmniej jednym poziomie dzielnika, zrealizowane w postaci dowolnego układu pomiarowego napięcia, korzystnie w postaci dowolnego przetwornika napięcia.
4. Wielopoziomowy dzielnik napięcia z autokalibracją dla pomiarów wysokiego napięcia według zastrz. 1, **znamienny tym**, że w gałęzi o zmiennej strukturze, dzielnika dowolnego poziomu, która składa się z trzech zespołów impedancyjnych połączonych szeregowo, a mianowicie górnego zespołu impedancyjnego Q_n oraz środkowego zespołu impedancyjnego P_n i dolnego zespołu impedancyjnego T_n , przy czym do dolnego zespołu impedancyjnego T_n i mierzącego na nim napięcie przyrządu pomiarowego Y_n lub układu odwzorowującego w całości strukturę znanego dwugałęziowego dzielnika napięcia pierwszego poziomu, wpiętego w ich miejsce, przyłączony jest równolegle łącznik S_n , kolejność połączenia szeregowego elementów w tej gałęzi jest dowolna.

Rysunki

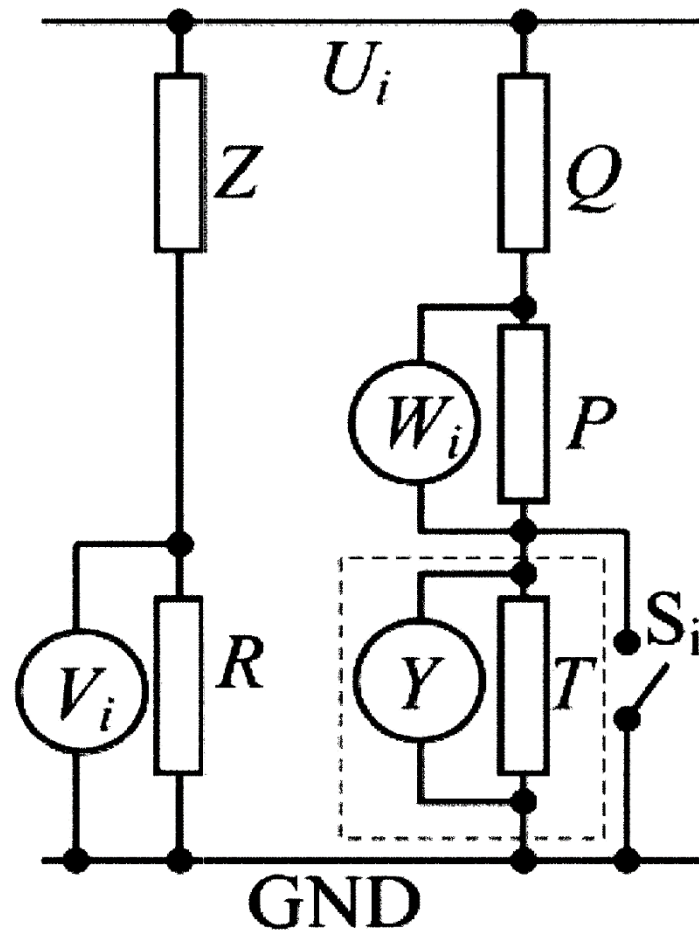


Fig.1

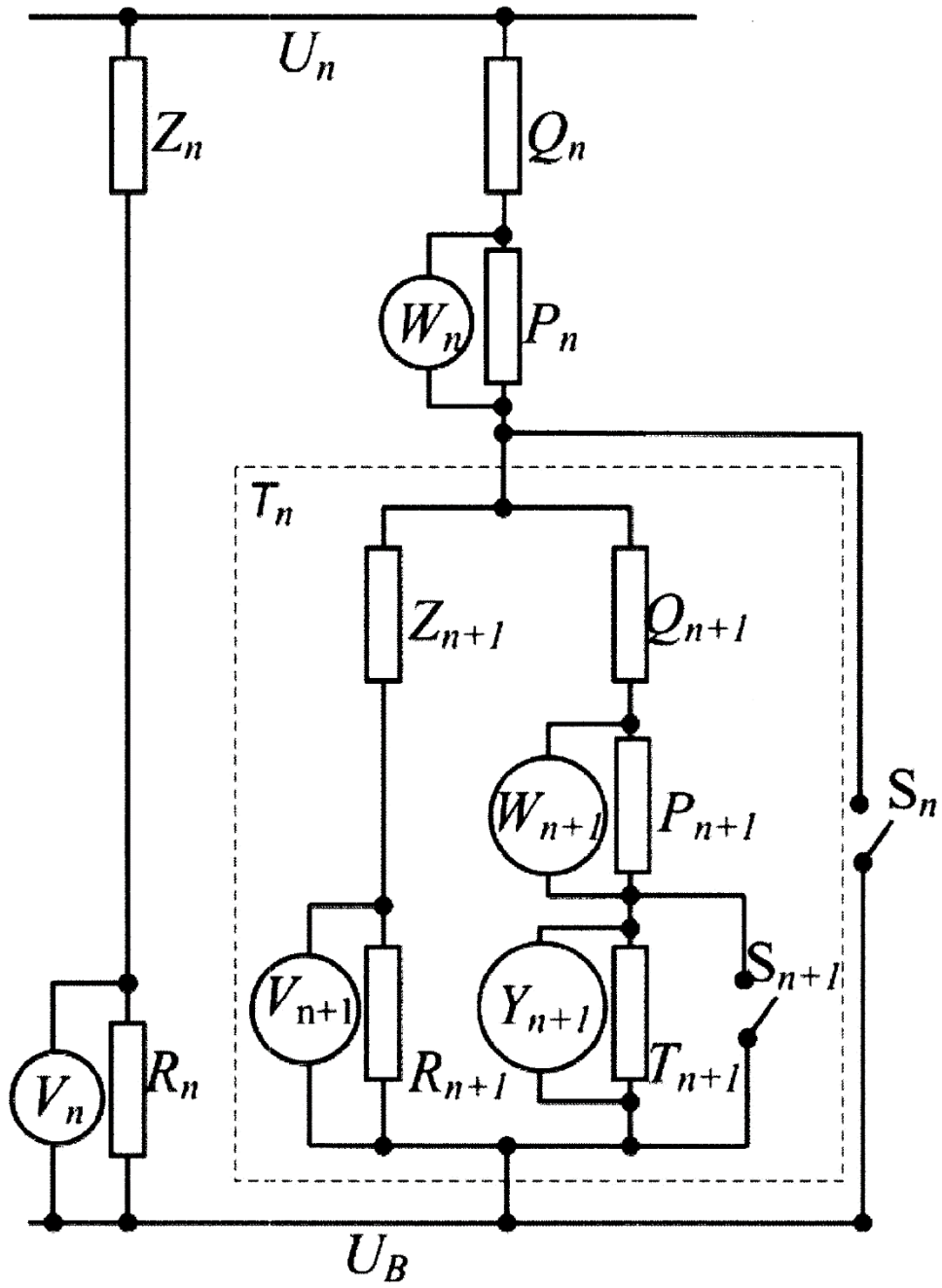


Fig.2

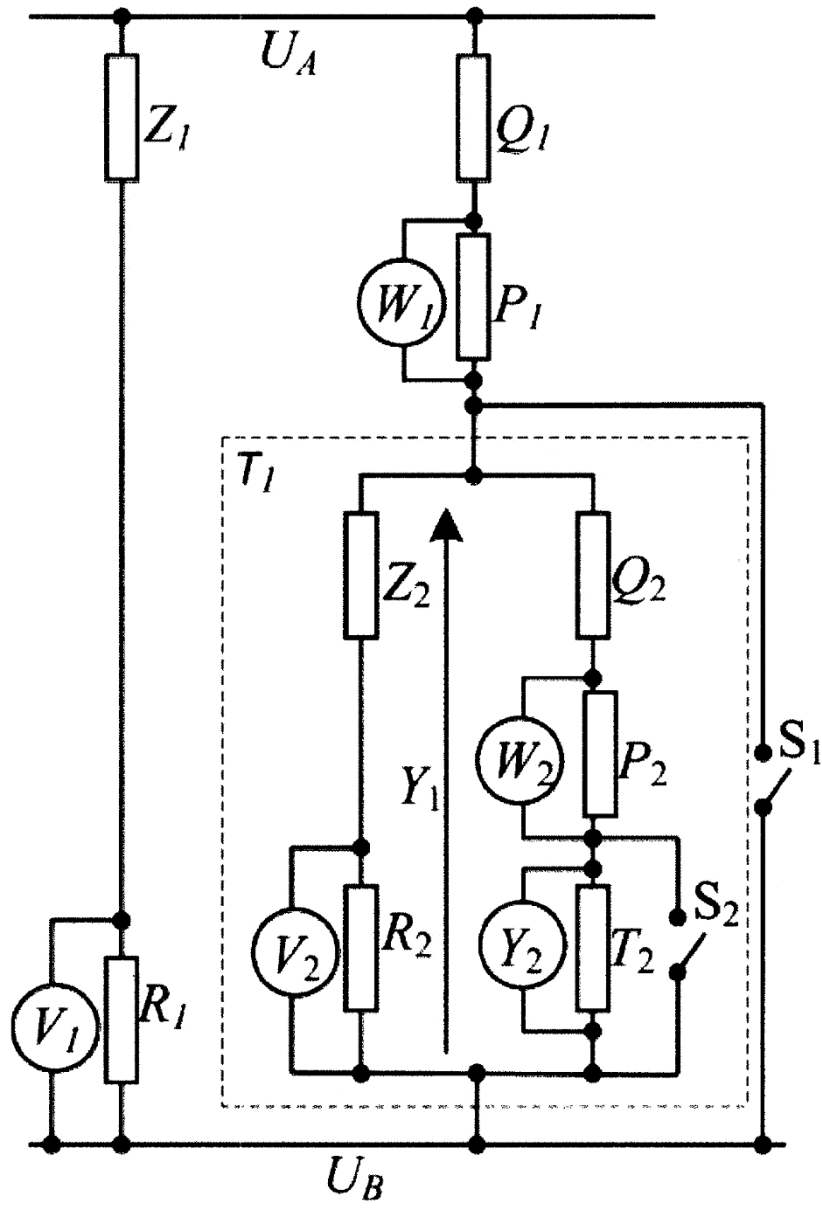


Fig.3

