



УКРАЇНА

(19) UA (11) 85784 (13) C2
(51) МПК (2009)
H01F 27/42
G01R 19/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(54) ПРИСТРІЙ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ НАПРУГИ

1

2

(21) а200709991

(22) 06.09.2007

(24) 25.02.2009

(46) 25.02.2009, Бюл.№ 4, 2009 р.

(72) КИЗИЛОВ ВОЛОДИМИР УЛЯНОВИЧ, UA, РУ-

ДЕВІЧ НАТАЛІЯ ВАЛЕНТИНІВНА, UA

(73) КИЗИЛОВ ВОЛОДИМИР УЛЯНОВИЧ, UA

(56) SU 140490, 1961

US 3497793, 24.02.1970

JP 1018207, 23.01.1989

JP 2122609, 10.05.1990

JP 2003059733, 28.02.2003

(57) 1. Пристрій підвищення точності вимірювальних трансформаторів напруги, що складається з першого трансформатора напруги, первинна обмотка якого підключена до джерела вимірюваної напруги, а вторинна обмотка з'єднана першим кінцем з навантаженням, другий кінець якого підключений до загальної точки пристрою, перший кінець вторинної обмотки другого трансформатора напруги підключений до одного входу операційного підсилювача, який відрізняється тим, що другий кінець вторинної обмотки першого трансформатора напруги з'єднаний з другим кінцем навантаження та з другим кінцем вторинної обмот-

ки другого трансформатора напруги, другий вхід операційного підсилювача підключений до виходу дільника напруги, підключеного до кінців вторинної обмотки першого трансформатора напруги, вихід операційного підсилювача підключений до одного входу віднімача та першого кінця первинної обмотки другого трансформатора напруги, другий кінець якої та другий вхід віднімача підключений до першого кінця вторинної обмотки першого трансформатора напруги, вихід віднімача являє собою вихід пристрою.

2. Пристрій за п. 1, який відрізняється тим, що між загальною точкою вторинних обмоток трансформаторів напруг і загальним кінцем дільника напруги та навантаження включено резистор.

3. Пристрій за п. 1, який відрізняється тим, що включено трансформатор струму, первинна обмотка якого включена в ланцюг струму вторинної обмотки першого трансформатора напруги, а вторинна обмотка, яка навантажена на резистор, включена між другим входом операційного підсилювача і виходом дільника напруги.

4. Пристрій за п. 1, який відрізняється тим, що як віднімач використовується віднімач на операційному підсилювачі.

Вінахід відноситься до вимірювальної техніки і може застосовуватися для підвищення точності вимірювальних трансформаторів напруги (ВТН) і особливо для високовольтних вимірювальних трансформаторів напруги (ВВТН), які широко використовуються в енергетиці. Підвищення точності здійснюється за рахунок електронної компенсації похибки.

Відомо багато пристроїв підвищення точності ВТН, які використовують операційні підсилювачі (ОП) з негативним зворотним зв'язком. Так, наприклад, в [статті Daniel Slomovitz „Electronic Based High-Voltage Measuring Transformers” IEEE Transactions on power delivery, Vol. 17, NO. 2, April 2002, р. 359-361], компенсація здійснюється, за допомогою пристроїв, встановлених окремо в первинній і вторинній обмотках ВТН. Цей пристрій має ряд недоліків: по-перше, використання ОП на високій стороні ВТН, що висуває вимоги до ізоляції

трансформатора джерела живлення ОП у випадку з'єднання у трикутник обмоток трьохфазного трансформатора або при з'єднанні обмоток у зірку в мережі з ізолюваною нейтраллю; по-друге, необхідність ОП на низькій стороні ВТН створювати весь струм навантаження; по-третє, велика кількість активних елементів. Усі ці недоліки значно знижують надійність пристрою.

До аналогів можна також віднести пристрій описаний в статті: [Daniel Slomovitz «Electronic Compensation of Voltage Transformers» IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol.37, NO.4, December 1988, p.652-654], де компенсація спадання напруги в первинній і вторинній обмотках здійснюється за допомогою додаткового маленького трансформатора струму, що складається з тороїдального магнітопроводу, на якому три обмотки включені таким чином, що у вихідній обмотці тече струм, який дорівнює сумі струмів

(13) C2

(11) 85784

(19) UA

первинної та вторинної обмоток ВТН з необхідними коефіцієнтами. Цей струм тече на вхід операційного підсилювача, в ланцюг зворотнього зв'язку якого включено резистор і індуктивність. Недоліком цього рішення є зв'язок на додатковому осердді обмоток, які пов'язані з високою та вихідною напругою ВТН, що висуває вимоги до ізоляції у випадку з'єднання у трикутник обмоток трьохфазного трансформатора або при з'єднанні обмоток у зірку в мережі з ізолюваною нейтраллю та необхідність ОП створювати весь струм навантаження.

Найбільш близьким по істотних ознаках до пропонованого (прототип) є пристрій компенсації по fig.1 статті [TA. Deacon Comments on «Electronic Error- Compensation of a Voltage Transformers» IEEE Transactions on instrumentation and measurement, Vol. IM-29, NO.1, March 1980, p.79-80], який складається з ВТН, первинна обмотка якого підключена до джерела вимірюваної напруги, а вторинна обмотка ВТН одним кінцем підключена до навантаження, другий кінець якого з'єднаний з загальною точкою пристрою та додаткового вимірювального трансформатора напруги (ДВТН), первинна та вторинна обмотки якого охоплюють осердя ВТН та додаткове осердя, первинна обмотка ДВТН підключена до відповідних затисків первинної обмотки ВТН, один кінець вторинної обмотки ДВТН з'єднаний з одним кінцем вторинної обмотки ВТН, другий кінець вторинної обмотки ДВТН підключений до одного входу ОП, другий вхід якого підключений до загальної точки пристрою, а вихід ОП з'єднаний з другим кінцем вторинної обмотки ВТН.

У прототипі ДВТН підключений до входу ОП, а значить він працює на холостому ході. ОП зрівнює його вихідну напругу з напругою на навантаженні та додає напругу до виходу ВТН так, що напруги на входах ОП будуть рівні. Таким чином, вихідна напруга ВТН не залежить від навантаження. Недоліки прототипу: по-перше, нестандартна і складна конструкція ТН; по-друге, зниження надійності пристрою через необхідність ОП створювати весь струм навантаження, а при виході з ладу ОП усе навантаження буде знеструмлене; по-третє, хоча струм намагнічування другого трансформатора напруги значно менше струму намагнічування першого трансформатора напруги, він не виключений повністю і впливає на похибку; по-четверте, у випадку трьохфазного виконання трансформатора загальна точка трьох ОП повинна бути з'єднана з загальною точкою навантаження трьохфазного ВТН, що може додатково збільшити струм ОП.

Задачею винаходу є створення пристрою, який би підвищував точність вимірювання напруги, не вимагаючи змін у конструкції існуючих стандартних ВТН та відповідав вимогам по надійності.

Пропонований пристрій, що складається з ВТН, первинна обмотка якого підключена до джерела вимірюваної напруги, а вторинна з'єднана з навантаженням, ДВТН, ОП, один вхід якого підключений до одного кінця вторинної обмотки ДВТН, а другий вхід ОП до резистора дільника напруги вторинної обмотки ВТН, вихід ОП підключений до одного кінця первинної обмотки ДВТН та одного входу віднімача, а другий вхід віднімача з'єднаний з одним

кінцем вторинної обмотки ВТН, вихід віднімача являє собою вихід пристрою.

Запропонований пристрій має зовсім інший принцип дії в порівнянні з прототипом. Такий принцип дії забезпечує надійність пропонованого пристрою, що дуже важливо в енергетиці. ВТН одночасно може жити засоби захисту і вимірювання, які не вимагають високої точності, а ДВТН створювати високоточне значення напруги для точних вимірювальних пристроїв (наприклад, мікропроцесорних лічильників).

Пропонований пристрій, зображений на Фіг.1, містить ВТН-1, регульований резистор 3 і резистор 2 дільника напруги вторинної обмотки ВТН-1, ДВТН-6, опір навантаження ВТН-1 (R_n) - резистор 4, ОП-5, віднімач - 7.

Пристрій працює наступним чином.

1. До первинної обмотки ВТН-1, точність якого підвищується, підключене джерело вимірюваної напруги U_1 , з регульованого резистора 3 дільника напруги вторинної обмотки ВТН-1 частина напруги U_2 подається на один вхід ОП-5, де вона порівнюється з напругою U_3 вторинної обмотки ДВТН-6 на іншому вході ОП-5. При визначеному співвідношенні параметрів двох трансформаторів ОП-5 буде коригувати напругу U_4 на первинній обмотці ДВТН-6 таким чином, що вона буде пропорційна вимірювальній напрузі U_1 на первинній обмотці ВТН-1. За допомогою віднімача-7 на виході пристрою напруга $U_{\text{вих}}$ буде дорівнювати напрузі на первинній обмотці ДВТН-6, а отже буде пропорційна вимірювальній напрузі U_1 ВТН-1:

$$\dot{U}_{\text{вих}} = \dot{U}_4 = k \dot{U}_1, \quad (1)$$

$$k = \frac{W_2}{W_1},$$

де

W_1 - число витків первинної обмотки ВТН-1;

W_2 - число витків вторинної обмотки ВТН-1;

На підставі викладень наданих в учбово - методичному посібнику В.У. Кизилова «Проектування вимірювальних трансформаторів струму та напруг, трансреакторів та дроселів змінного струму пристроїв автоматики енергосистем». - Харків: ХДПУ. 2000. - 73с. - Рос. мовою, фазова похибка трансформатора, яка є визначальною, може бути виражена наступним чином:

$$\Delta\varphi = \frac{r_1}{\omega W_1^2 S} \beta_1, \quad (2)$$

де $\Delta\varphi$ - фазова похибка ВТН;

r_1, l, S - опір первинної обмотки, довжина лінії магнітного поля, поперечний переріз магнітопроводу ВТН;

β_1 - функція, що залежить від амплітудного значення індукції B_m ($\beta = f(B_m)$) ВТН;

ω - кутова частота.

При рівності фазових похибок ВТН-1 та ДВТН-6 згідно з (2), при рівності їх номінальних значень індукцій і виконання магнітопроводів двох трансформаторів з однакової сталі маємо наступні співвідношення параметрів двох трансформаторів, при яких виконується (1):

$$\frac{I_{m1}I_1}{k_{m1}Q_{01}S_1} = \frac{I_{m2}I_2}{k_{m2}Q_{02}S_2}, \quad (3)$$

$$W_4 = \frac{\dot{U}_{4mH} W_1 S_1}{\dot{U}_{1mH} S_2} \quad (4)$$

де I_1, I_2, S_1, S_2 - довжини ліній магнітних полів, поперечні перерізи магнітопроводів ВТН-1, ДВТН-6 відповідно;

$K_{m1}, K_{m2}, Q_{01}, Q_{02}$ - коефіцієнти заповнення між вікон магнітопроводів, перетин вікон магнітопроводів ВТН-1 і ДВТН-6 відповідно;

I_{m1}, I_{m2} - середні довжини витків міді первинних обмоток ВТН-1 і ДВТН-6 відповідно;

U_{1mH}, U_{4mH} - амплітудні значення номінальних напруг первинних обмоток ВТН-1 і ДВТН-6 відповідно.

2. Пристрій дозволяє усунути вплив опору навантаження для ВТН-1 - R_H .

При наявності опору навантаження має місце похибка від спадання напруги від струму навантаження, в цьому випадку вторинна напруга ВТН-1 U_2 буде приблизно дорівнювати (як свідчать дослідження):

$$\dot{U}_2 \approx \frac{W_2}{W_1} \dot{U}_1 - r_{\Sigma} \dot{I}_2, \quad (1)$$

де r_{Σ} - загальний опір, який враховує опір первинної і вторинної обмоток ВТН-1;

\dot{I}_2 - струм вторинної обмотки ВТН-1, обумовлений опором навантаження.

Тоді:

$$\dot{U}_2 \neq k \dot{U}_1, \quad (2)$$

Спад напруги $r_{\Sigma} \dot{I}_2$ можна компенсувати спадом напруги на резисторі R_8 (Фіг.2), так що, при $R_8 = n r_{\Sigma}$ будемо мати:

$$n \left(\frac{W_2 \dot{U}_1}{W_1} - r_{\Sigma} \dot{I}_2 \right) + \dot{I}_2 R_8 = \dot{U}_3 \quad (3)$$

де \dot{U}_3 - вторинна напруга ДВТН-6.

Необхідно відмітити малий вплив спадання напруги $R_8 \dot{I}_2$ на напругу навантаження, при включенні резистора R_8 у вторинну обмотку ВТН-1. Якщо при заданому навантаженні загальна похибка ВТН дорівнює 0,4%, а похибка від спадання напруги $r_{\Sigma} \dot{I}_2$ складає 50% від загальної похибки, тобто 0,2%, а з дільника напруги ми знімаємо $1 \div 5$ В, тобто у $100 \div 20$ раз менше напруги виходу, отже похибка, яка вноситься $R_8 \dot{I}_2$ дорівнює 0,002% ÷

$$\dot{U}_{вих} = \frac{R_8}{R_7} \dot{U}_4 = \frac{R_8}{R_7} k \dot{U}_1$$

0,01% і практично не впливає на загальну похибку трансформатора напруги.

Таким чином, таке усунення впливу навантаження можна використовувати тільки для однофазних вимірювальних трансформаторів напруги.

3. Пристрій дозволяє усунути вплив опору навантаження для трьохфазних трансформаторів, коли відсутній провід вороття струму.

В цьому випадку спад напруги $r_{\Sigma} \dot{I}_2$ можна компенсувати включенням трансформатора струму (ТТ-8) послідовно з вторинною обмоткою ВТН-1, навантаженого на резистор R_9 (Фіг. 3) так, що:

$$n r_{\Sigma} \dot{I}_2 = \dot{I}_3 R_9, \quad (1)$$

де $\dot{I}_3 = \frac{W_5 \dot{I}_2}{W_6}$ струм вторинної обмотки ТТ-8,

де W_5, W_6 - число витків первинної і вторинної обмотки ТТ-8.

Тоді:

$$n \frac{W_2 \dot{U}_1}{W_1} - n r_{\Sigma} \dot{I}_2 + \dot{I}_3 R_9 = \dot{U}_3, \quad (2)$$

Похибка ТТ не буде впливати на точність компенсації впливу навантаження. Так при похибці ТТ 1% загальна похибка компенсації буде дорівнювати 0,002%.

В результаті за п. 2 і за п. 3 виконується співвідношення:

$$\dot{U}_{вих} = k \dot{U}_1 \quad (3)$$

Таким чином, за допомогою пропонованого пристрою можна отримати високу точність вимірювання напруги для частини навантаження або умонтувати пропоноване в конкретний вимірювальний пристрій, у зв'язку з цим, виникає можливість практично без зниження надійності атестувати засіб вимірювання, враховуючи похибку високовольтного вимірювального трансформатора напруги. Експериментальні дослідження, які були проведені при $U_1 = 380$ В показали, що досягається зниження похибки вимірювання U_1 не менш ніж в 5 разів.

4. Пристрій з віднімачем на операційному підсилювачі.

В якості віднімача в пропонованому пристрої можна використовувати віднімач на операційному підсилювачі [Фіг.4], який містить резистори 7, 8, 9, 10 та ОП-11.

При умові, що $R_7 = R_9$ та $R_8 = R_{10}$ на виході пристрою буде напруга пропорційна напрузі U_4 на первинній обмотці ДВТН-6, а отже й вимірювальній напрузі U_1 ВТН-1:

