



УКРАЇНА

(19) UA (11) 85222 (13) C2  
(51) МПК (2006)  
G01R 19/00МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІОПИС  
ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

## (54) ВИМІРЮВАЛЬНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ СТРУМУ В НАПРУГУ

1

2

(21) а200610624

(22) 09.10.2006

(24) 12.01.2009

(46) 12.01.2009, Бюл.№ 1, 2009 р.

(72) КИЗИЛОВ ВОЛОДИМИР УЛЯНОВИЧ, UA

(73) КИЗИЛОВ ВОЛОДИМИР УЛЯНОВИЧ, UA

(56) SU 873138, 15.10.1981

SU 1394153 A1, 07.05.1988

SU 1661651 A1, 07.07.1991

SU 1126887 A, 30.11.1984

US 3815013, 04.06.1974

DE 3822051 A1, 11.01.1990

CS 241242 B1, 15.09.1987

GB 1257230, 15.12.1971

US 3634747, 11.01.1972

(57) Вимірювальний перетворювач струму в напругу, що містить двообмотковий трансформатор струму, первинна обмотка якого підключена до

джерела вимірюваного струму, а вторинна обмотка одним виводом підключена до інвертувального входу першого операційного підсилювача, до якого одним виводом підключений перший резистор, другий вивід якого підключений до виходу цього операційного підсилювача, який є виходом перетворювача, який відрізняється тим, що до виходу першого операційного підсилювача підключений другий резистор, другий вивід якого підключений до інвертувального входу другого операційного підсилювача, до якого підключений також один вивід третього резистора, другий вивід якого підключений до виходу другого операційного підсилювача і до другого виводу вторинної обмотки трансформатора струму, неінвертувальні входи обох операційних підсилювачів з'єднані зі спільною точкою джерела живлення.

Винахід відноситься до області вимірювальної техніки і може бути використаний при вимірюванні змінних струмів в енергетиці. Дуже ефективно його використання в кліщових трансформаторах струму (ТС).

Відома велика кількість подібних пристроїв, які різними способами та різними схемними рішеннями здійснюють підвищення точності вихідного трансформатора струму.

Огляд відомих рішень можна знайти в статті [1].

В найбільш відомому пристрої (рис.3а [1]) на осерді трансформатора струму (ТС) дві вторинних обмотки, одна з яких з'єднана своїми кінцями з входами операційного підсилювача (ОП), а друга - одним кінцем до виходу ОП, а другим - до спільної точки через резистор. Наявність двох обмоток не завжди допустимо. Крім того, в цьому пристрої ОП не має зворотного зв'язку по постійному струму. На відміну від цього пристрою, де осердя ТС не перемагнічується, відомі якісні пристрої, де висока точність досягається при перемагнічуванні осердя [2, 3].

В обох пристроях використано другий трансформатор струму, перемагнічуваний, як і перший

ТС, що є недоліком. В [2] другий ТС своєю вторинною обмоткою підключений паралельно вторинній обмотці ТС, точність якого підвищується, і до точок з'єднання обмоток підключені входи ОП, вихід якого підключений до первинної обмотки другого трансформатора струму та до навантаження. При рівності первинних ампервитків двох ТС рівні і вторинні струми та напруга на вході ОП близько до нуля. Крім наявності другого трансформатора струму недоліком цього рішення являється відсутність зворотного зв'язку по постійному струму в ОП.

В [3] використовуються два ТС з різною кількістю витків вторинних обмоток, які включені так, що в ОП тече різницевий струм двох обмоток. Цей пристрій має високі динамічні властивості, малу кількість вторинних витків і ОП має зворотний зв'язок по постійному струму. Його недолік - наявність другого ТС.

Найбільш близьким до пропонованого являється пристрій на рис.4б статті [1]. В цьому пристрої один кінець вторинної обмотки двообмоточного ТС, точність якого підвищується, підключений до інверсного входу ОП, куди підключений один кінець резистора зворотного зв'язку, другий кінець

(13) C2

(11) 85222

(19) UA

якого підключений до виходу ОП, який являється виходом пристрою, до якого підключений один кінець резистора, другий кінець якого з'єднаний з неінвертуючим входом ОП і одним кінцем ще одного резистора, другий кінець якого з'єднаний з другим кінцем вторинної обмотки ТС та спільною точкою джерела живлення.

Якщо в пристрої значення резисторів вибрані так, що падіння напруги на резисторі, з'єднаному з спільною точкою живлення, дорівнює падінню напруги на опорі вторинної обмотки, то осердя не буде перемагнічуватися і похибка у ТС буде відсутня. Таке рішення особливо ефективно для кліщових трансформаторів струму, так як виключається вплив флуктуацій зазора осердя.

Використання прототипу дозволило автору поліпшити клас точності вольтамперфазометра ВАФ-85 (ВО "Електровимірювач" м. Житомир) з 4.0 до 2,5 і зменшити мінімальну шкалу струму з 1А до 50мА при тому ж кліщовому ТС [4]. Прибор випускається як ВАФ 4303 Житомирським ВО "Електровимірювач". При переході до цифрової індикації клас точності був доведений до 1,0, а мінімальна шкала струму знижена до 20 мА при тому ж класі точності.

Аналіз джерел похибки показав, що похибка визначається в основному наводками в контурі із вторинної обмотки ТС і резистора, з'єданого з спільною точкою живлення і входом ОП. Необхідно максимально зменшити опір цього контуру.

Задачею винаходу являється подальше збільшення точності вимірювання струму за допомогою зниження опору контуру, який включає вторинну обмотку ТС.

Пропонується вимірювальний перетворювач струму в напругу, що складається з двообмоточного трансформатора струму, первинна обмотка якого підключена до джерела вимірюваного струму, а вторинна обмотка одним кінцем підключена до інвертуючого входу операційного підсилювача, куди одним кінцем підключений резистор, другий кінець якого підключений до виходу цього операційного підсилювача, який являється виходом пристрою, що відрізняється тим, що до виходу операційного підсилювача підключений другий резистор, другий вивід якого підключений до інвертуючого входу другого операційного підсилювача, куди підключений один вивід третього резистора, другий вивід якого підключений до виходу другого операційного підсилювача і до другого кінця вторинної обмотки трансформатора струму, неінвертуючі входи обох операційних підсилювачів з'єднані з спільною точкою джерела живлення.

Запропонований пристрій зображено на Фіг.1, де:

- 1 - трансформатор струму,
- 2 - внутрішній опір вторинної обмотки ТС (R2),
- 3,4,5 - резистори (R3, R4, R5),

6,7 - операційні підсилювачі ОП1 і ОП2. Пристрій працює так.

При протіканні струму  $i_1(t)$  в первинній обмотці ТС з'являється струм в його вторинній обмотці і діє на ОП1 таким чином, що струм  $i_2(t)$  протікає в резисторі зворотного зв'язку R3 і на виході устанавлюється напруга:

$$u_{\text{вих}} = -i_2 R_3 \quad (1)$$

Ця напруга діє на вхід ОП2, на виході якого встановиться напруга  $u_{\text{вих}2}$

$$u_{\text{вих}2} = -\frac{u_{\text{вих}}}{R_4} R_5 = \frac{R_3 R_5}{R_4} i_2. \quad (2)$$

Напруга  $u_{\text{вих}2}$  створює у вторинній обмотці ТС струм  $i_2(t)$ , знижуючи індукцію та напруженість магнітного поля в осерді ТС.

Розглянемо контур, складений з вторинної обмотки ТС, опору цієї обмотки R2, входу ОП1 та напруги  $u_{\text{вих}2}$ . Сума напруг на цих елементах, згідно першого закону Кірхгофа дорівнює нулю:

$$W_2 S \frac{dB}{dt} - i_2 R_2 - e_{\text{оп}} + u_{\text{вих}2} = 0, \quad (3)$$

де  $W_2, S, B$  - кількість вторинних витків, перетин осердя та індукція ТС,

R2 - опір вторинної обмотки,

$e_{\text{оп}}$  - напруга на вході ОП1

Напруга  $e_{\text{оп}}$  мала у сучасних операційних підсилювачів із (3) видно, що якщо

$$u_{\text{вих}2} = i_2 R_2, \quad \text{або з урахуванням (2)}$$

$$\frac{R_3 R_5}{R_4} = R_2, \quad (5)$$

то похідна індукції в осерді ТС в будь-який момент часу дорівнює нулю, а отже дорівнює нулю і індукція B та напруженість магнітного поля в осерді ТС. В цьому випадку згідно закону повного струму

$$i_1 W_1 = i_2 W_2 + N \ell, \quad (6)$$

де  $W_1$  - кількість витків первинної обмотки,

$\ell$  - довжина силової лінії магнітного поля осердя ТС.

При  $N=0$  вторинний струм:

$$i_2 = \frac{W_1}{W_2} i_1 \quad (7)$$

і точно пропорційний первинному струму  $i_1$  а згідно (1)  $u_{\text{вих}}$  також точно пропорційно струму  $i_1$ :

$$u_{\text{вих}} = -R_3 \frac{W_1}{W_2} i_1, \quad (8)$$

Оскільки вихідний опір ОП2 близько до нуля, то в розглянутому контурі в зрівнянні з прототипом різко зменшився опір і рівень наведень в контурі. Це дозволило знизити рівень перешкод і підвищити точність.

Експериментальна перевірка макета з одним і тим же кліщовим ТС Житомирського ВО "Електровимірювач" показала, що приведена похибка за пропонованого пристрою не перевищує 0,05%.

Слід замітити, що похибка 0,05% в світовій практиці досягнута в Національному метрологічному інституті США шляхом різкого ускладнення конструкції осердя кліщового ТС, у якого суцільне осердя знаходиться всередині коробчатого зовнішнього осердя і обмотки знаходяться на обох осердях [5].

Джерела інформації.

1. Булычев А.В., Ванін В.К. Анализ входных преобразователей сигналов для устройств релейной защиты на интегральных микросхемах Электричество №9, 1985. - с.13-18.

2. Йохен Эрмиш, Вернер Брендлер. Устройство для измерения электрических токов. Авт. свид. СССР №1394153. Бюллетень №17. - 1988.

3. Кизилев В.У., Баранов А.Н. Измерительный преобразователь тока в напряжение. Авт.свид. СССР №873138. Бюллетень №38. - 1981.

4. Кизилев В.У., Чернявский А.И. Прибор для оперативного контроля электрических параметров. Энергетик. - №3. - 1993. - с.14-15.

5. John D., Ramboz A. A highly accurate, hand-held clamp-on current trans-former. IEEE, Transactions on Instrumentation and Measurement. Vol 45, №2, April. 1996. p.445-448.

