



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **99187** (13) **C2**
(51) МПК
G01R 33/06 (2006.01)

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(21) Номер заявки: а 2010 12413	(72) Винахідник(и): Большакова Інеса Антонівна (UA), Голяка Роман Любомирович (UA)
(22) Дата подання заявки: 21.10.2010	
(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: 25.07.2012	(73) Власник(и): Большакова Інеса Антонівна, вул. Романецького, 6, кв. 5, м. Львів, 79012 (UA), Голяка Роман Любомирович, вул. Розлога, 3, м. Львів, 79039 (UA)
(41) Публікація відомостей про заявку: 25.04.2012, Бюл.№ 8	(74) Представник: Слободянюк Олександр Валентинович, реєстр. №138
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 25.07.2012, Бюл.№ 14	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: UA 82496 C2; 25.04.2008 SU 983605; 23.12.1982 SU 789952; 23.12.1980 GB 2427700 A; 03.01.2007 US 2007/0029999 A1; 08.02.2007 DE 3828028 A1; 22.02.1990

(54) СПОСІБ ВИМІРЮВАННЯ МАГНІТНОГО ПОЛЯ

(57) Реферат:

Винахід належить до вимірювальної техніки і може бути використаний для вимірювання магнітних полів в реакторах термоядерного синтезу. Спосіб вимірювання магнітного поля включає вимірювання вихідної напруги гальваноманітного перетворювача та розрахунок індукції вимірюваного магнітного поля за виміряними значеннями вихідної напруги та чутливістю гальваноманітного перетворювача, який містить принаймні дві пари виводів. Вимірювання проводять в два етапи - на першому етапі першу пару виводів підключають до джерела живлення гальваноманітного перетворювача, а другу пару виводів використовують для вимірювання вихідної напруги, на другому етапі першу пару виводів використовують для вимірювання вихідної напруги, а другу пару виводів підключають до джерела живлення гальваноманітного перетворювача. Вказану чутливість гальваноманітного перетворювача визначають принаймні на одному із зазначених етапів. При цьому вимірюють принаймні два значення вихідної напруги, перше з яких є значенням вимірюваного магнітного поля, а друге є сумою значень вимірюваного магнітного поля та тестового магнітного поля, величина якого є наперед визначеною. Спосіб забезпечує підвищення точності вимірювань за рахунок періодичного калібрування чутливості гальваноманітного перетворювача безпосередньо в процесі вимірювання магнітного поля.

UA 99187 C2

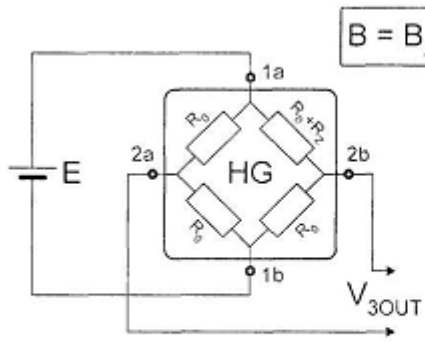


Fig. 2a

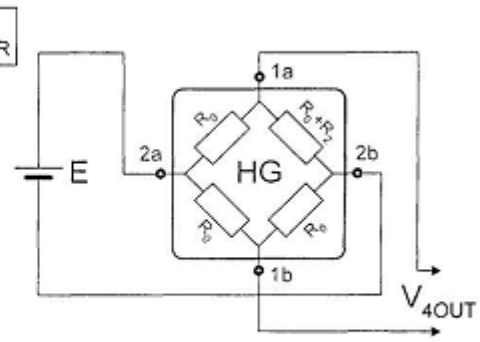


Fig. 2b

Винахід стосується вимірювальної техніки, а саме способів вимірювання магнітного поля, які базуються на гальваноманітних вимірювальних перетворювачах і може бути застосований, зокрема, для вимірювання квазістаціонарних магнітних полів в реакторах термоядерного синтезу.

Відомий спосіб вимірювання магнітного поля, який базується на вимірюванні вихідної напруги гальваноманітного перетворювача, зокрема напівпровідникового перетворювача Холла, та подальшому розрахунку індукції магнітного поля з використанням наперед відомої величини чутливості перетворювача, [Popovic R.S. Hall effect devices: magnetic sensor and characterization of semiconductors. IOP Publishing Ltd. 1991. P. 188. Fig. 4.22.]. Приклавши до гальваноманітного перетворювача відповідним чином напругу (струм) живлення, в ньому створюють потік носіїв заряду. Під дією сили Лоренца на рухомі носії заряду в гальваноманітному перетворювачі виникає сигнал, наприклад різниця напруг на вихідних виводах перетворювача Холла. Ця напруга є інформативним сигналом процесу вимірювання магнітного поля. Коефіцієнт перерахунку вимірюваної напруги в індукцію магнітного поля є наперед відомим та незмінним.

Недоліком такого способу є низька точність вимірювання магнітного поля в жорстких умовах експлуатації, зокрема в умовах високої проникаючої радіації. Причиною цього є зміна електрофізичних параметрів гальваноманітних перетворювачів в умовах проникаючої радіації, зокрема зміна чутливості (крутизни перетворення, тобто мультиплікативної складової лінійної функції перетворення) та залишкової напруги (вихідної напруги при нульовому значенні магнітного поля, тобто адитивної складової лінійної функції перетворення) гальваноманітних перетворювачів при довготривалій дії на них заряджених частинок чи нейтронів.

Відомий спосіб вимірювання магнітного поля, який базується на вимірюванні вихідної напруги гальваноманітного перетворювача та розрахунку індукції вимірюваного магнітного поля з використанням значення вищевказаної напруги та чутливості (мультиплікативної складової лінійної функції перетворення) вищевказаного перетворювача, причому чутливість перетворювача визначається в процесі його періодичного калібрування за допомогою тестового магнітного поля. Таке калібрування проводиться in-situ, тобто, безпосередньо в об'єкті, де з метою вимірювання магнітного поля, розміщено вимірювальний зонд. Тестове магнітне поле формується котушкою, в якій знаходиться гальваноманітний перетворювач. Котушка та відповідним чином розміщений в ній гальваноманітний перетворювач утворюють єдину конструкцію - функціонально інтегрований зонд. Величина тестового магнітного поля, яка визначається струмом живлення котушки і вважається відомою, та виміряне значення вихідної напруги гальваноманітного перетворювача, яке обумовлене тестовим магнітним полем, є інформативними величинами в процесі розрахунку чутливості гальваноманітного перетворювача [Bolshakova I., Holyaka R., Leroy C. Novel approaches towards the development of Hall sensor-based magnetometric devices for charged particle accelerators // IEEE Transactions on Applied Superconductivity. - 2002. - Vol.12, №1. - P. 1655-1658.].

Перевагою вказаного способу вимірювання [Bolshakova I., Holyaka R., Leroy C. Novel approaches towards the development of Hall sensor-based magnetometric devices for charged particle accelerators // IEEE Transactions on Applied Superconductivity. - 2002. - Vol.12, №1. - P. 1655-1658.] є можливість періодичного калібрування шляхом визначення чутливості (мультиплікативної складової лінійної функції перетворення) гальваноманітного перетворювача в умовах довготривалої дії на нього проникаючої радіації. Принципово важливим є те, що в процесі періодичного калібрування немає необхідності виймати зонд з об'єкта, де проводиться вимірювання магнітного поля. Ця перевага має принципово важливе значення при вимірюванні магнітного поля в радіаційних умовах експлуатації, зокрема в реакторах чи прискорювачах заряджених частинок. Під дією високої радіації має місце дрейф параметрів гальваноманітних перетворювачів, тому є необхідним їх періодичне калібрування. Таке калібрування необхідно проводити in-situ.

Недоліком вищевказаного способу [Bolshakova I., Holyaka R., Leroy C. Novel approaches towards the development of Hall sensor-based magnetometric devices for charged particle accelerators // IEEE Transactions on Applied Superconductivity. - 2002. - Vol.12, №1. - P. 1655-1658.] є низька точність періодичного in-situ калібрування, що обумовлено неможливістю визначення дрейфу в радіаційних умовах експлуатації залишкової напруги (адитивної складової лінійної функції перетворення).

Відомий спосіб компенсації залишкової напруги гальваноманітного перетворювача Холла, який містить дві пари виводів, причому вимірювання проводять в два етапи [Popovic R.S. Hall effect devices: magnetic sensor and characterization of semiconductors. IOP Publishing Ltd. 1991. P. 190. Fig. 4.24.]. На першому етапі першу пару виводів використовують для живлення

гальваноманітного перетворювача, а другу пару використовують для вимірювання вихідної напруги, на другому етапі першу пару виводів використовують для вимірювання вихідної напруги, а другу пару використовують для живлення гальваноманітного перетворювача. Значення вихідних напруг першого та другого етапів вимірювання підсумовують, що дозволяє

5 компенсувати залишкову напругу гальваноманітного перетворювача без необхідності проводити періодичне визначення дрейфу цієї залишкової напруги (адитивної складової лінійної функції перетворення) шляхом переміщення гальваноманітного перетворювача з зони, де проводиться вимірювання магнітного поля в нуль-камеру (пристрій, що шляхом магнітного екранування забезпечує нульове значення магнітного поля).

10 Перевагою вказаного способу вимірювання [Popovic R.S. Hall effect devices: magnetic sensor and characterization of semiconductors. IOP Publishing Ltd. 1991. P. 190. Fig. 4.24.] є компенсація впливу дрейфу залишкової напруги (адитивної складової лінійної функції перетворення) в радіаційних умовах експлуатації гальваноманітного перетворювача на результат вимірювання магнітного поля.

15 Недоліком вищевказаного способу вимірювання [Popovic R.S. Hall effect devices: magnetic sensor and characterization of semiconductors. IOP Publishing Ltd. 1991. P. 190. Fig. 4.24.] є неможливість визначити дрейф чутливості (мультиплікативної складової лінійної функції перетворення) гальваноманітного перетворювача, що обмежує точність вимірювання магнітного поля.

20 В основу винаходу поставлено задачу підвищення точності відомого способу вимірювання магнітного поля за допомогою гальваноманітного перетворювача який містить принаймні дві пари виводів, причому вимірювання проводять в два етапи - на першому етапі перша пара виводів використовується для живлення гальваноманітного перетворювача, а друга пара - для вимірювання вихідної напруги, на другому етапі перша пара виводів використовується для

25 вимірювання вихідної напруги, а друга пара - для живлення гальваноманітного перетворювача, при цьому підвищення точності досягається за рахунок періодичного калібрування чутливості гальваноманітного перетворювача безпосередньо в процесі вимірювання магнітного поля з використанням для такого калібрування принаймні двох значень вихідної напруги, перше з яких зумовлене дією лише вимірюваного магнітного поля, а друге сумою вимірюваного магнітного

30 поля та тестового поля, величина якого є наперед відомою.

Запропонований спосіб вимірювання магнітного поля далі пояснюється кресленнями, де на Фіг.1а, Фіг.1b зображено схеми формування вихідної напруги гальваноманітного перетворювача, обумовленої вимірюванням B_x магнітним полем на першому етапі (Фіг. 1а) та на

35 на Фіг. 2а, Фіг. 2b зображено схеми формування вихідної напруги гальваноманітного перетворювача, обумовленої сумою вимірювання B_x та тестового B_z магнітних полів на першому етапі (Фіг. 2а) та на другому етапі (Фіг. 2b).

Гальваноманітний перетворювач (Hall Generator, HG) - це типово прямокутна напівпровідникова структура, що має дві пари виводів: перша пара - виводи 1а, 1b, друга пара - виводи 2а, 2b. Такі перетворювачі функціонують на принципі відхилення носіїв заряду під дією сили Лоренца, а різниця їх вихідних напруг обумовлюється ефектом Холла.

Живлення перетворювача HG здійснюється джерелом напруги або джерелом струму (E). При живленні перетворювача HG через виводи 1а, 1b, вихідна напруга V_{1OUT} знімається з виводів 2а, 2b (Фіг.1а). Схема гальваноманітного перетворювача представлена резисторами R_0 та R_z ,

45 причому опір R_z в схему введено для опису несиметрії перетворювача. Структура ідеального гальваноманітного перетворювача є симетричною, що відповідає умові $R_z=0$. При відсутності магнітного поля ($B=0$) вихідна напруга ідеального перетворювача HG є нульовою $V_{OUT}(B=0)=0$.

Однак, реальні перетворювачі не мають ідеальної симетрії, що обумовлено, зокрема, нерівномірністю розподілу домішок в напівпровідниковому матеріалі, з якого виготовлений перетворювач, відхиленням розмірів структури, анізотропією тощо. Наявність опору R_z , який представляє сумарний вплив вказаних ефектів на вихідну напругу, призводить до формування залишкової напруги $V_{OUT}(B=0)=V_{RZ}$.

Під дією магнітного поля B_x вихідна напруга V_{1OUT} гальваноманітного перетворювача (Фіг. 1а) в першому наближенні є пропорційною індукції магнітного поля B_x і при наявності залишкової напруги V_{RZ} становить

$$V_{1OUT}=K_B B_x + V_{RZ}, \quad (1)$$

де K_B - чутливість (коефіцієнт пропорційності лінійної функції перетворення).

Як впливає з схеми Фіг. 1b на другому етапі вимірювання знак залишкової напруги V_{RZ} змінюється на протилежний, тобто вихідна напруга гальваноманітного перетворювача

60 становить

$$V_{2OUT} = K_B V_X - V_{RZ}. \quad (2)$$

Ефект компенсації залишкової напруги V_{RZ} досягається підсумовування результатів вимірювання в обох етапах

$$V_{1OUT} + V_{2OUT} = 2K_B V_X. \quad (3)$$

Таким чином, дрейф залишкової напруги V_{RZ} гальваноманітного перетворювача, що має місце, зокрема, в тривалих радіаційних умовах експлуатації перетворювача, не впливає на результат вищезгаданого двоетапного вимірювання. Однак, проблемою залишається дрейф чутливості K_B , що не дозволяє досягти необхідної точності вимірювання магнітного поля.

Ця проблема, відповідно до винаходу, усувається тим, що чутливість K_B гальваноманітного перетворювача визначають принаймні на одному з вищевказаних етапів шляхом вимірювання принаймні двох значень вихідної напруги, перше з яких обумовлене вимірюваним магнітним полем, а друге сумою вимірюваного магнітного поля та тестового поля, величина якого є наперед відомою (Fig.2a, Fig.2b).

Результатами вимірювання вихідної напруги, обумовленої сумою вимірюваного V_X та тестового B_R магнітних полів, при використанні гальваноманітного перетворювача по схемі першого етапу є

$$V_{3OUT} = K_B (B_X + B_R) + V_{RZ}. \quad (4)$$

Аналогічно, вихідною напругою по схемі другого етапу є

$$V_{4OUT} = K_B (B_X + B_R) - V_{RZ}. \quad (5)$$

Використовуючи результати проведених вимірювань отримують

$$V_{3OUT} - V_{1OUT} = K_B B_R \quad (6)$$

$$V_{4OUT} - V_{2OUT} = K_B B_R. \quad (7)$$

Чутливість гальваноманітного визначають використовуючи рівняння (6) або (7)

$$K_B = \frac{V_{3OUT} - V_{1OUT}}{B_R}. \quad (8)$$

Реалізація вимірювань вихідної напруги гальваноманітного перетворювача, обумовленої сумою вимірюваного магнітного поля B_X та тестового магнітного поля B_R , може бути здійснена за допомогою котушки, яка разом з гальваноманітним перетворювачем утворює єдиний вимірювальний зонд і знаходиться в зоні вимірювання магнітного поля.

Можливі два методи створення тестового магнітного поля.

В першому наперед відоме значення тестового магнітного поля B_R реалізується шляхом живлення котушки заданим струмом. Величина тестового магнітного поля котушки визначається її геометричними розмірами, кількістю витків та струмом живлення. Тому це тестове поле не залежить від дестабілізуючих радіаційних умов експлуатації і може вважатися наперед відомою та стабільною величиною.

Другий метод реалізації тестового магнітного поля передбачає, що вимірюване поле є змінною в часі величиною. Зміна вимірюваного магнітного поля визначається за допомогою котушки і служить як тестове поле B_R . Як і у вищевказаному першому методі, впливом радіаційних умов та параметри котушки можна знехтувати, а тому сигнал котушки, за допомогою якої визначають значення тестового поля B_R , можна вважати стабільним.

Важливо відзначити, що використання котушки для вимірювання зміни вимірюваного магнітного поля, що служить тестовою величиною B_R , є виправданим лише при певних параметрах зміни цього поля. Так, котушка, значення вихідної напруги, на якій визначається швидкістю зміни магнітного поля в часі, не дозволяє вимірювати постійні чи квазістаціонарні магнітні поля, а тому в запропонованому методі вимірювання не може замінити гальваноманітний перетворювач. Натомість, гальваноманітний перетворювач не має жодних обмежень на вимірювання постійних чи квазістаціонарних магнітних полів, однак стабільність його залишкової напруги та чутливості в дестабілізуючих, зокрема, радіаційних умовах експлуатації, є незадовільною.

Ця проблема вирішується запропонованим способом вимірювання магнітного поля, що дозволяє поєднувати, з одного боку компенсацію залишкової напруги, а з другого калібрування чутливості гальваноманітного перетворювача. Таким чином запропонований спосіб забезпечує високу точність вимірювання магнітного поля за допомогою гальваноманітного перетворювача в довготривалих дестабілізуючих умовах його експлуатації, зокрема, під дією високого рівня проникаючої радіації.

В залежності від умов експлуатації (рівня дестабілізуючої дії) запропонований спосіб дозволяє підвищити точність вимірювання на декілька порядків. Зокрема, при флуенсі швидких нейтронів 10^{18} см^{-2} деградація гальваноманітного перетворювача на основі напівпровідникового матеріалу InSb призводить до збільшення залишкової напруги в 5 раз (зокрема, для типового зразку перетворювача Холла з $V_{RZ} = 1 \text{ мВ}$ до $V_{RZ} = 5 \text{ мВ}$) та зменшення

чутливості в 7 раз (зокрема, з $K_B = 350$ мВ/Т до $K_B = 50$ мВ/Т). Очевидно, що похибка вимірювання магнітного перетворювача за допомогою вищевказаного зразка перетворювача Холла знаходиться в межах 75 % - тобто, можна вважати, що вимірювання як процес втрачає своє призначення. Натомість, використання запропонованого методу вимірювання забезпечує

компенсацію залишкової напруги до значення 0.1 мВ та калібрування чутливості з похибкою не гірше ± 0.25 % (при 0.2 % нелінійності функції перетворення K_B в діапазоні магнітного поля 1Т), що сумарно відповідає похибці вимірювання магнітного поля з похибкою не більше $\pm 0.3\%$ (в діапазоні магнітного поля від +0.03Т до ± 1 Т).

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

Спосіб вимірювання магнітного поля, що включає вимірювання вихідної напруги гальваноманітного перетворювача та розрахунок індукції вимірюваного магнітного поля за виміряними значеннями вихідної напруги та чутливістю гальваноманітного перетворювача, причому гальваноманітний перетворювач містить принаймні дві пари виводів, а вимірювання проводять в два етапи - на першому етапі першу пару виводів підключають до джерела живлення гальваноманітного перетворювача, а другу пару виводів використовують для вимірювання вихідної напруги, на другому етапі першу пару виводів використовують для вимірювання вихідної напруги, а другу пару виводів підключають до джерела живлення гальваноманітного перетворювача, який **відрізняється** тим, що вказану чутливість гальваноманітного перетворювача визначають принаймні на одному із зазначених етапів, при цьому вимірюють принаймні два значення вихідної напруги, перше з яких є значенням вимірюваного магнітного поля, а друге є сумою значень вимірюваного магнітного поля та тестового магнітного поля, величина якого є наперед визначеною.

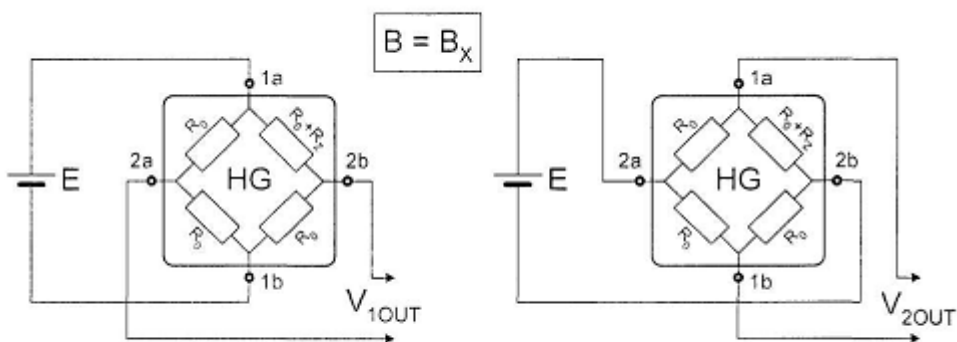


Fig. 1a

Fig. 1b

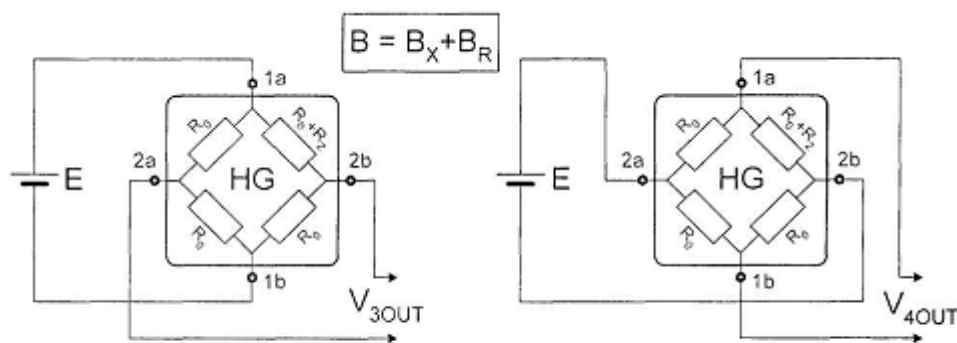


Fig. 2a

Fig. 2b

Комп'ютерна верстка А. Крулевський

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601