



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) UA

(11) 106276

(13) C2

(51) МПК

G01R 33/05 (2006.01)

## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(21) Номер заявки: а 2012 12596

(22) Дата подання заявки: 05.11.2012

(24) Дата, з якої є чинними  
права на винахід: 11.08.2014

(41) Публікація відомостей  
про заявку: 12.05.2014, Бюл.№ 9

(46) Публікація відомостей  
про видачу патенту: 11.08.2014, Бюл.№ 15

(72) Винахідник(и):

Крупа Микола Миколайович (UA),  
Скирта Юрій Борисович (UA),  
Дейна Олександр Андрійович (UA)

(73) Власник(и):

ІНСТИТУТ МАГНЕТИЗМУ НАЦІОНАЛЬНОЇ  
АКАДЕМІЇ НАУК І МІНІСТЕРСТВА ОСВІТИ  
НАУКИ МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ,  
пр. Вернадського, 36-б, м. Київ-142, 03142  
(UA)

(74) Представник:

Крупа Микола Миколайович

(56) Перелік документів, взятих до уваги  
експертизою:

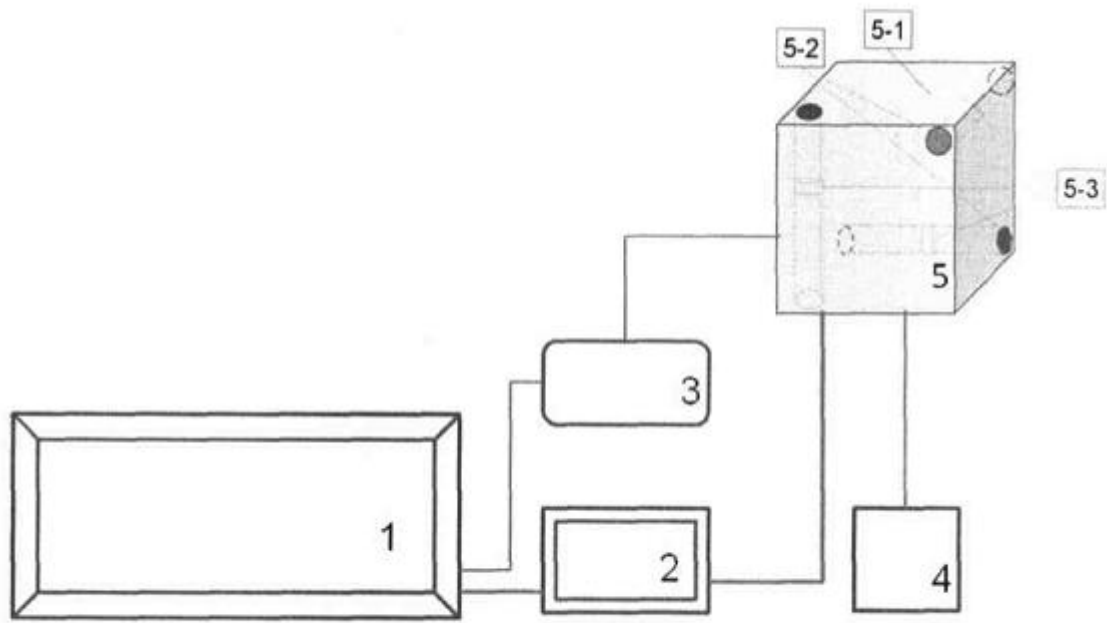
RU 2244318 C1; 10.01.2005;  
US 6560128 B1; 06.05.2003;  
US 7112962 B2; 26.09.2006;  
RU 2005115268 A; 27.11.2006;  
RU 2079147 C1; 10.05.1997;  
RU 2118834 C1; 10.09.1998;  
SU 1149195 A; 07.04.1985;  
SU 438951; 05.08.1974;  
GB 1398588; 25.06.1975;  
GB 1506053; 05.04.1978;

## (54) МАГНІТОМЕТР

(57) Реферат:

Винахід належить до області вимірювання електромагнітного поля і може використовуватись для вимірювання напрямку і величини магнітного поля і реєстрації електромагнітних сигналів в області низьких і середніх частот. Магнітометр з датчиком магнітного поля в формі кубика з трьома одностержневими перпендикулярно орієнтованими ферозондовими датчиками, стержні яких виготовлені з аморфної фольги сплаву ММ-5Со. Обробка і видача даних про величину і напрям магнітного поля здійснюється за допомогою персонального комп'ютера. Технічним результатом винаходу є розширення функціональних можливостей магнітометра через розширення частотного діапазону, підвищення точності вимірювання напрямку магнітного поля і зменшення габаритів датчика магнітного поля, що зменшує і габарити магнітометра в цілому.

UA 106276 C2



Φir.

Винахід належить до області вимірювання електромагнітного поля і може використовуватись для вимірювання напрямку і величини магнітного поля і реєстрації електромагнітних сигналів в області низьких і середніх частот. В залежності від принципу роботи датчиків магнітного поля можна виділити такі класи магнітометрів: магнітометри з датчиками на ефекті Холла [патенти US 7851780, US 8034675 і US 8143646], магнітометри з магніторезистивними [патенти US 5,206,590; RU № 2392697 і RU № 2404127] і магнітооптичними датчиками [патент US 4,554,459; RU 2161316], магнітометри з квантовими або протонними [патенти RU 2361247; US 6,912,148] датчиками, магнітометри з спін-вентильними [патент US 5,561,368; US 7112962] і сквідовськими [патент RU 2384856] датчиками.

Основним недоліком магнітометрів з датчиками на ефекті Холла, магнітооптичними, спін-вентильними і магніторезистивними датчиками є невисока чутливість і слабка залежність величини сигналу від напрямку магнітного поля. Магнітометри зі сквідовськими датчиками є високочутливими до величини магнітного поля і малочутливими до його напрямку. Вони не тільки є надзвичайно технічно складними і дорогими, а також потребують громіздкої низькотемпературної системи охолодження. Магнітометри з квантовими або протонними датчиками при високій чутливості практично не дозволяють визначати напрям магнітного поля і частоту вимірюваного змінного магнітного поля. Все знижує функціональну можливість таких магнітометрів, підвищує їх габарити, знижує надійність їх роботи.

Найбільш широко використовуваним є магнітометри з ферорезонансними або як ще їх називають ферозондовими чи магнітоіндукційними датчиками [патенти RU 2244318; US 6,560,128], які при своїй простоті мають досить високу чутливість до величини магнітного поля, дозволяють вимірювати напрямку магнітного поля і його градієнт. Такі магнітометри, який ми вибрали як прототип для нашого винаходу складаються [див книгу Ю.В. Афанасьев "Феррозонды". Л., Энергия, 1969, 168 с.] з відомого магнітометра, який складається з блока реєстрації та обробки сигналів, блока генератора збудження, блока підсилення і фільтрації низькочастотних сигналів, блока живлення і магніточутливого блока з трьома одностержневими перпендикулярно орієнтованими ферозондовими датчиками з обмотками збудження і реєстрації, які відповідно електрично зв'язані з блоком генератора збудження і блоком підсилення і фільтрації низькочастотних сигналів. Недоліком такого типу магнітометрів є досить складна система смугової фільтрації низькочастотних сигналів, що ускладнює роботу магнітометра і звужує спектральну смугу вимірюваних магнітних полів. Крім того, для отримання високої чутливості в магнітометрах з ферозондовими датчиками використовують об'ємні феростержні, що погіршує їх чутливість до напрямку магнітного поля, звужує спектральну область реєстрації сигналів за рахунок зниження резонансної частоти збудження ферозонда, підвищує рівень власних шумів датчика при перемагнічуванні і збільшує його габарити.

Технічною задачею, на розв'язання якої направлений даний винахід, є розширення функціональних можливостей магнітометра через розширення частотного діапазону, підвищення точності вимірювання напрямку магнітного поля і зменшення габаритів датчика магнітного поля, що зменшує і габарити магнітометра в цілому. Вирішення поставленої задачі в даному винаході досягається за рахунок того, що у відомому магнітометрі, який складається з блока реєстрації та обробки сигналів, блока генератора збудження, блока підсилення та фільтрації сигналів, блока живлення і магніточутливого блока з трьома одностержневими перпендикулярно орієнтованими ферозондовими датчиками з обмоткою збудження і обмоткою реєстрації, які відповідно електрично зв'язані з блоком генератора збудження і блоком підсилення та фільтрації сигналів, стержні ферозондових датчиків виконані в голкоподібному вигляді з аморфної фольги сплаву ММ-5Со товщиною 20-40 мкм, шириною до 1 мм і довжиною до 3 см, і на обмотку збудження, окрім стабілізованої високочастотної змінної напруги з блока живлення подається постійна стабілізована електрична напруга зміщення, і блок фільтрації сигналів не пропускає електричні сигнали з частотою  $\omega > 5/2\omega_0$ , де  $\omega_0$  частота напруги збудження, а спектральний аналіз вимірюваного магнітного поля в смузі частот від 0 до частоти  $\omega < 1/2\omega_0$  здійснюється програмним методом за допомогою високочастотного аналогово-цифрового перетворювача і персонального комп'ютера.

Блок-схема магнітометра показана на фігурі. Вона складається зі зв'язаних електричним з'єднанням таких блоків: блока реєстрації та обробки сигналів 1, блока генератора збудження 2, блока підсилення та фільтрації сигналів 3, блока живлення 4 і магніточутливого блока 5. Матриця 5-1 цього блока виготовляється з немагнітного непровідного матеріалу, і в ній взаємно перпендикулярно розміщені три одностержневі ферозондові датчики 5-2, стержні яких виготовлені з аморфної фольги сплаву ММ-5Со (див. Технічний бюлетень MELTA Ltd) товщиною 20-40 мкм, шириною до 1 мм і довжиною 2см. В центральній частині датчиків

намотані одна на одну обмотки довжиною 5-7 мм реєстрації і збудження 5-3, які відповідно електрично зв'язані з блоком підсилення та фільтрації сигналів і з блоком генератора збудження.

Працює даний магнітометр наступним чином. Під дією високочастотного гармонічного стабілізованого сигналу збудження в обмотці реєстрації індукується аналоговий сигнал електричної рушійної сили (ЕРС), який підсилюється в блоці фільтрації і підсилення, перетворюється в цифровий сигнал високочастотним аналогово-цифровим перетворювачем і записується в пам'ять персонального комп'ютера. При відсутності зовнішнього змінного магнітного поля сигнал, який знімається з обмотки реєстрації по формі повністю повторює сигнал збудження і має лише зсув по фазі. Під впливом двох магнітних полів різної частоти: збуджуючого поля  $H_0$  з частотою  $\omega_0$  і вимірюваного поля  $H_i$  з частотою  $\omega_i$  на виході реєструючої обмотки змінюється напруга як на частоті збудження  $E_i(\omega_0)$ , та і на частоті другої гармоніки  $E_i(2\omega_0)$  [див книгу Ю.В. Афанасьев "Феррозонды". Л., Энергия, 1969, 168 с.]. Величину сигналу, який реєструється таким одностержневим датчиком можна оцінити за наступними виразами

$$E_i(\omega_0) = K n_i I_i S \frac{d}{dt} (B_0 + B_i) = K \mu n_i I_i S [4 \pi n_0 i_0 \omega_0 \sin(\omega_0 t + \varphi_0) + H_i \omega_i \sin(\omega_i t + \varphi_i)],$$

$$E_i(2\omega_0) = K 2 \mu n_i I_i S [8 \pi n_0 i_0 \omega_0 \sin(2\omega_0 t + \varphi_1) + H_i \omega_i \sin(\omega_i t + \varphi_i)], \quad (1)$$

де  $i_0$ ,  $B_0$  і  $\omega_0$  та  $H_i$ ,  $B_i$  і  $\omega_i$  - струм, індукція і частота збуджуючого магнітного поля та напруженість, індукція і частота вимірювального магнітного поля;  $\mu$  - магнітна проникливість нашої аморфної фольги,  $n_0$ ,  $n_i$  і  $l_i$  - число витків на одиницю довжини і довжина для обмоток збудження та реєстрації;  $\varphi_i$  - додаткова різниця фаз,  $K$  - коефіцієнт пропорційності.

Сигнал з реєструючої обмотки підсилюється широкосмуговим підсилювачем і в цифровій формі записується в пам'ять персонального комп'ютера. Далі за допомогою спеціального програмного забезпечення проводиться Фур'є аналіз і видаються дані в вигляді таблиць, гістограм, чи графіків по спектральному розподілу амплітуди вимірюваного магнітного поля. Величина напруги електричного сигналу  $U_s$ , який знімається з нашого датчика пропорційна напруженості  $H_i$ , і частоті змінного магнітного поля  $\omega_i$ , числу витків  $N$  і площі перерізу  $S$  обмотки реєстрації, а також магнітній проникливості матеріалу  $\mu$  стержня ферозондового датчика.

$$U_s = N S H_i \mu_0 \mu \omega_i \quad (2)$$

Поріг чутливості ферозондового датчика  $P_s$  визначається як

$$P_s = 2(kTRF)^{1/2} (G_m)^{-1}$$

де  $k$  - стала Больцмана,  $T$  - температура,  $R$  - активний опір обмотки збудження,  $F$  смуга частот вимірюваного магнітного поля, і  $G_m = dU/dH$  - коефіцієнт чутливості датчика, величина якого також пропорційна частоті змінного магнітного поля  $\omega_i$ , числу витків  $N$ , площі перерізу  $S$  обмотки реєстрації і магнітній проникності матеріалу  $\mu$  стержня.

Особливістю нашого магнітометра є те, що аморфна магнітна фольга в датчиках має дуже високе значення  $\mu$ , малу коерцитивну силу  $H_c$  і малі втрати на перемагнічування (таблиця 1, Технічний бюлетень MELTA Ltd).

Таблиця 1

Магнітні характеристики сердечників MM 5Co сплаву

1	Індукція насичення, $B_s$ , Т	$\geq 0,48$
2	Температура Кюрі, $T_c$ , °C	160
3	Магнітострикція насичення, ppm	$< 0,2$
4	Статична коерцитивна сила, $H_s$ , мА/см	$\leq 2$
5	Магнітна проникність $\mu$ при $f=1$ кГц, ( $H=1$ мА/см)	90000-160000
6	Втрати в сердечнику, при потужності $P_s$ , мВт/см <sup>3</sup> , (0,1Т / 55 Гц)	$\leq 0,001$

Оскільки величина магнітної проникності нашої аморфної фольги нелінійно залежить від величини намагнічуючого поля і зростає при збільшенні цього поля при малих його значеннях, на обмотку збудження, окрім стабілізованої високочастотної змінної напруги, з блока живлення подається постійна стабілізована електрична напруга зміщення, яка визначається при тестуванні датчика. Такий підхід дозволяє підвищити технічні характеристики нашого датчика, а також використовувати його для вимірювання постійного магнітного поля.

Все дозволяє за рахунок великого значення  $\mu$  використовувати реєструючу обмотку з малою площею поперечного перерізу і невеликим числом витків, а відповідно з малим активним опором  $R$ , що забезпечує низький поріг і низький рівень шумів нашого датчика. Голкоподібна

форма сердечника формує дуже гостру направленість нашого датчика. Тангенс кута розкриття діаграми направленості  $\alpha$  можна оцінити через відношення ширини  $d$  фольги до її довжини  $l$ , що для  $d=1$  мм і  $l=3$  см дає значення  $\alpha < 2$ . Оскільки величина магнітної проникності нашої аморфної фольги нелінійно залежить від величини намагнічуючого поля і зростає при збільшенні цього поля при малих його значеннях, на обмотку збудження, окрім стабілізованої високочастотної змінної напруги, з блока живлення подається постійна стабілізована електрична напруга зміщення, яка визначається при тестуванні датчика.

Використання як блока реєстрації та обробки сигналів персонального комп'ютера і з високочастотним аналогово-цифровим перетворювачем дозволяє відмовитись від складної системи вузькосмугових фільтрів і проводити спектральний аналіз вимірюваного магнітного поля програмним методом шляхом Фур'є аналізу записаного широкосмугового сигналу. Крім того, в пам'ять комп'ютера вносяться дані еталонного градування кожного з датчиків магнітометра, що дозволяє вимірювати як змінні так і постійні магнітні поля, тому що амплітуда постійного поля впливає на величину вимірюваного сигналу для частоти другої гармоніки збудження [див книгу Ю.В. Афанасьев "Феррозонды". Л., Энергия, 1969, 168 с.].

Ми провели експериментальну перевірку нашого винаходу. Макетний зразок датчика дозволяє підняти частоту збудження майже до 700 кГц, що дозволяло вимірювати магнітне поле в широкій області від 0 до 300 кГц. Виміряна чутливість нашого датчика при постійному

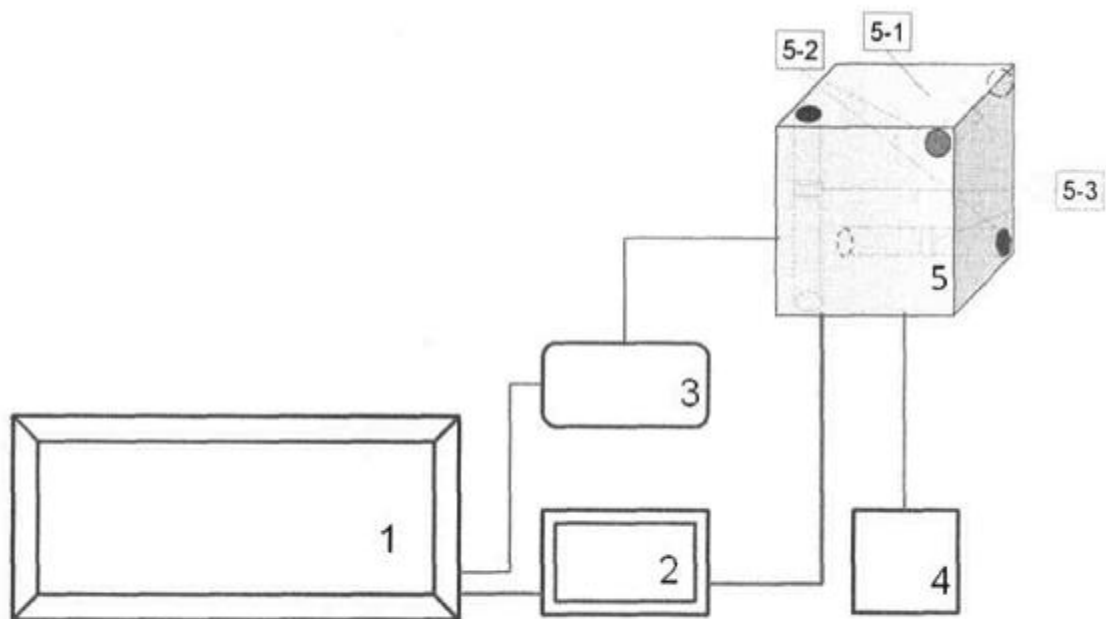
магнітному полі підмагнічування  $H=0,5$  мА/см складала  $G_m = \frac{dU}{dH} > 300$  мкВ/Г, де  $\gamma \approx 10^{-5}$  Е.

Поріг чутливості нашого датчика визначений не перевищував  $10^{-10}$  Т.

Аналізуючи результати наших вимірювань і принципіву можливість досягнень високих технічних характеристик магнітометра можна говорити про перспективу заявлюваного винаходу для вимірювання величини і напрямку слабких і середніх магнітних полів в широкому спектральному діапазоні, що є важливим як для геодезичних вимірювань, для отримання даних про рівень електромагнітних шумів, для систем пошуку і розпізнавання.

#### ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

Магнітометр, який містить блок реєстрації та обробки сигналів, що зв'язаний з блоком генератора збудження та блоком підсилення та фільтрації сигналів; блок живлення і магніточутливий блок з трьома одностержневими перпендикулярно орієнтованими ферозондовими датчиками з обмоткою збудження і обмоткою реєстрації, які відповідно електрично зв'язані з блоком генератора збудження і блоком підсилення та фільтрації сигналів, який **відрізняється** тим, що стержні ферозондових датчиків виконані голкоподібної форми з аморфної фольги сплаву ММ-5Со товщиною 20-40 мкм, шириною до 1 мм і довжиною до 3 см, а блок живлення виконаний з можливістю подачі на обмотку збудження, окрім стабілізованої високочастотної змінної напруги, постійної стабілізованої напруги зміщення, блок фільтрації сигналів виконаний з можливістю придушення електричних сигналів з частотою  $\omega > 5/2\omega_0$ , де  $\omega_0$  - частота напруги збудження, а блок реєстрації та обробки сигналів виконаний у вигляді персонального комп'ютера з аналого-цифровим перетворювачем, з можливістю здійснення спектрального аналізу вимірюваного магнітного поля в смузі частот від 0 до частоти  $\omega < 1/2\omega_0$  програмним методом.



Фиг.

---

Комп'ютерна верстка М. Мацело

---

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