



УКРАЇНА

(19) UA (11) 75434 (13) C2
(51) МПК (2006)
G01R 33/035

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) СЕНСОР НАДСЛАБКИХ МАГНІТНИХ ПОЛІВ

1

(21) 2004021169

(22) 18.02.2004

(24) 17.04.2006

(46) 17.04.2006, Бюл. № 4, 2006 р.

(72) Мінов Юрій Дмитрович, Будник Микола Миколайович, Шпильовий Павло Борисович

(73) ІНСТИТУТ КІБЕРНЕТИКИ ІМ. В.М.ГЛУШКОВА НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ, Мінов Юрій Дмитрович, Будник Микола Миколайович, Шпильовий Павло Борисович

(56) DE 10037519 A, G01R33/035, A61B5/04, 01.03.2001

US 5406201 A, G01R33/035, 11.04.1995

SU 1405508 A1, G01R33/035, 20.06.1996

SU 563161, A61B5/02, 30.06.1977

RU 2145792 C1, A61B5/0295, A61B5/04, 27.02.2000

WO 02058555 A, G01R33/035, 01.08.2002

2

JP 11155828 A, A61B5/0402, A61B5/0444, A61B5/05, A61B8/08, G01R33/02, G01R33/035, G06T1/00, H04N7/18, 15.06.1999

US 20030231016 A1, G01R33/035, A61B5/05, 18.12.2003

(57) Сенсор надслабких магнітних полів, який містить плату, на якій розміщено RL-шунт, термінали для підключення антени та проміжну плату, на якій розміщені надпровідниковий квантовий інтерференційний детектор (СКВІД) та нагрівач, який **відрізняється** тим, що до його вхідної котушки підключено фільтр низьких частот, проміжна плата розташована у надпровідному екрані, вихідний провід сенсора розміщений у радіочастотному екрані, а між СКВІДом та вхідною котушкою встановлено концентратор магнітного потоку.

Винахід належить до кріогенної апаратури, а саме вимірювальної техніки, призначеної для реєстрації низькочастотних надслабких магнітних полів за допомогою надпровідникових квантових інтерференційних детекторів (СКВІДів) і може бути використаний для реєстрації як власних, так і наведених магнітних полів біологічного походження, в першу чергу таких органів людини, як серце, кров та печінка.

Відомо, що життєдіяльність біологічних організмів супроводжується випромінюванням магнітних полів. Ці біомагнітні поля дуже слабкі і їх стало можливим вимірювати тільки після відкриття СКВІДів, чутливість яких сягає діапазону фемто-Тесла (10^{-15}). Магнітне поле Землі приблизно дорівнює 50 мкТл, техногенні магнітні завади лежать в діапазоні нТл. В той же час біомагнітні поля лежать в діапазоні фемто- і пікоТесла. Тому реалізація вимірювань за допомогою СКВІДів становить значну технічну проблему, Особливо це стосується біомагнітометрів, тобто магнітометрів призначених для вимірювання магнітних полів біологічного походження. Такі прилади повинні мати одночасно як велику чутливість, так і широкий динамічний діапазон, високу швидкість, перешкодозахисність, стабільність характеристик.

Це спонукає розробників вдосконалювати сенсори магнітного поля на основі СКВІДів. На сьогодні більш поширені так звані СКВІДи Постійного Струму (ПТ СКВІДи), основою яких є надпровідне кільце, замкнене двома Джозефсонівськими Контактними (ДК). Перші конструкції ПТ СКВІДів являли собою так звані МДМ (модулятор-демодулятор) схеми, побудовані по принципу амплітудної модуляції (АМ). Їх недоліком були низька амплітуда вихідного сигналу, низька швидкодія та необхідність шунтування ДК для отримання безгістерезисної ВАХ. З того часу для покращення характеристик ПТ СКВІДів в рамках традиційного АМ підходу було запропоновано багато різноманітних вдосконалень - резонансні узгоджувальні трансформатори, охолоджувачі попередні підсилювачі, додатковий позитивний зворотній зв'язок (ПЗЗ) (additional positive feedback (APF) – [див. H. Seppa, A. Ahonen, J. Knuutila et al, IEEE T. - 1991. - MAG-27, N. 2. - P. 2488-2490], техніка безпосереднього інтегрування (Direct Offset Integration Technique (DOIT) – [див. D. Drung, Supercond. Sci. Technol. - 1991, - 4, N. 2. - P. 377-385], використання послідовного з'єднання багатьох (до сотні) СКВІДів [S. Uchaikin, Journal de Physique IV. -1998. - 8, Pr.3. -p.221-224] та інші.

Основною тенденцією останнього десятиліття

(13) C2

(11) 75434

(19) UA

є відмова від традиційного АМ підходу і пошук нових підходів в напрямі розвитку різних цифрових та імпульсних схем. Висока швидкість переключення ДТК та відносно велика амплітуда імпульсу напруги, що при цьому виникає (мілівольти), створюють передумови для підвищення швидкодії криоелектронних пристроїв реєстрації сигналів, розширення їх динамічного діапазону та функційних можливостей, підвищення перешкодозахищеності, спрощення технології виготовлення датчиків. Принцип роботи імпульсно-модульованого (ІМ) СКВІДа полягає в тестуванні його періодичним пилкоподібним струмом. При цьому в момент часу, коли тестуючий струм стає рівним критичному струму, СКВІД переходить в резистивний стан. Імпульси напруги є строб-імпульсами для електроніки СКВІДа, що формує напругу, пропорційну критичному струму гістерезисного СКВІДа, а отже - зміні магнітного потоку. Таким чином, тільки момент появи імпульсу є важливим, а тривалість імпульсу та його форма не впливають на вихідний сигнал СКВІДа [див. I.D. Vojtovich, V.N. Sosnitsky, P.I. Sutkovej et al., Proc. XIII Int. Symp. Low Temp. Phys. and Cryoelectronics, Jena (Germany), - 1981. - P. 203-207]. На цьому ґрунтується винахід по [А.С. 1031314 РСР, МАГНІТОМЕТР, І.Д. Войтович, В.М. Сосницький, П.Г. Сутковий, 1982].

Проте, наявність зовнішніх джерел тестового струму ускладнює електроніку СКВІДа і вносить додаткові шуми. Тому перспективним є генерація струму опитування безпосередньо в СКВІДі у вигляді релаксаційних коливань (РК) [Vojtovich LD., Minov Yu.D., Sosnitsky V.N. Proc. XV Int. Symp. Low Temp. Phys. and Cryoelectronics, Jena (Germany), - 1983. - P. 7-32]. Вперше їх спостерігали та описали [Vernon F.Z., Pedersen K.J., J. Appl. Phys. 39 (1968), 2661] при шунтуванні ДТК з великою ємністю C і гістерезисною ВАХ послідовно з'єднаними опором R і індуктивністю L при подачі струму живлення I_b , що задовольняє умові $I_c < I_b < V_p/R$, где $V_p = V_c \beta^{-1/2}$, $V_c = I_c R_n$ - плазмова та характерна напруги ДТК, I_c і R^n - критичний струм і опір ДТК, $\beta = R_n^2 C/L_c$ - нормована ємність (параметр Мак-Камбера-Стюарта), $L_c = \Phi_0/2\pi I_c$ джозефсонівська індуктивність. У загальному період РК T має 4 складових: T_1 (ДК знаходиться у S стані), T_{12} (перехід з S в R стан), T_2 (ДК в R стані), T_{21} (перехід із R в S стан). Аналіз показує, що при виконанні умов $V_g/I_c R \gg 1$, $R_n \gg R$, $\beta \gg 1$ маємо $T_{12} = 4T_n/\pi$, $T_{21} = \pi T_n/4$, де V_g - щільова напруга СКВІДу, $T_n = CR_n$ - характерний час заряду ДТК як ємності [N.Budnik, Yu.Minov, V.Sosnitsky et al, Proc. XIII IMEKO World Congress, Torino(Italy), - 1994. - ІН, -Р. 2383-2387]. При $t \gg t_n$, де $t = L/R$ - характерний час шунта,кладами T_{12} та T_{21} можна знехтувати, тоді період РК описується виразом

$$T = T_0 = T_1 + T_2 = T \ln[(1 + I_c R / (V_g - R I_b)) / (1 - I_c / I_b)]. \quad (1)$$

Нами показано, що частота F РК в двоконтактному СКВІДі може бути описана спрощеним виразом $F = 1/T_0$ при реальних умовах $t_n \ll t$ та $L_c \ll L$, де L_c - джозефсонівська індуктивність СКВІДу, а I_c - критичний струм СКВІДу [BudnykM., Voytovych L, GareluyukA. et al, Управляючі системи і машини, 1995, -№ 3, с. 31-46].

Наш підхід полягає у використанні відносно НЧ РК (декілька МГц), у яких вихідним сигналом є частота РК, що залежить від вимірюваного магніт-

ного потоку. Цей режим по суті є частотною модуляцією (ЧМ), де частота змінюється під впливом вхідного сигналу. Перевагою такого ЧМ варіанту є висока перешкодозахищеність тому, що

- імпульси РК мають відносно велику амплітуду (декілька мВ), що ослаблює вимоги до перших каскадів електроніки

- частота РК практично не залежить від деформацій ВАХ СКВІДа (що мають місце внаслідок паразитних резонансів між СКВІДом і вхідною спіральною котушкою, несиметрії ДК та/або гілок інтерферометра).

Такий РК СКВІД був запропонований в [А.С. 988072 СССР, "Сверхпроводящий генератор", В.М. Сосницький, П.Г. Сутковий, 1982, та А.С. 1274467 СССР, "Сверхпроводящий магнитометр", Ю.Д. Мінов, В.М. Сосницький, П.Г. Сутковий, 1986]. Перевагою такого СКВІДу перед традиційними реалізаціями також є спрощення технології виготовлення, що не потребує шунтування ДТК малими резисторами для отримання безгістерезисної ВАХ.

В патенті "Magnetic field detection circuit having a relaxation oscillator SQUID" [US, 5406201, С. Norio, K.Shogo, S. Nobuhiro, Seiko Instr. Inc., Japan, 1993] пропонуються різні вдосконалення базисної схеми ПТ СКВІДу, направлені на використання РК в багатоканальних магнітометрах, серед яких - ввід вимірюваного потоку не в СКВІД, а в котушку (індуктивність) шунта, використання послідовного з'єднання по струму живлення, використання РК ПТ СКВІДу як резонансного контуру ВЧ СКВІДа та інші. Але в цьому патенті детально не розглядаються особливості конструкції та схемної реалізації таких сенсорів.

В патенті "Method and device for measuring biomagnetic and in particular cardiomagnetic fields" [WO 0106907, V.Sosnitsky, F.Steinberg, SQUID AG, Germany, 2001], що має аналог "Apparatus and method for measuring biomagnetic, especially cardiomagnetic, field uses superconducting quantum interference device having current-voltage curve with hysteresis and operating in relaxation-oscillation mode" [DE10037519, SQUID AG, Germany, 2001], та взятий за прототип, детально описано конструкцію магнітометра (магнітокардіографа), сенсором магнітного поля у якого є РК СКВІД, що призначений для вимірювання магнітних полів серця людини, та методику вимірювань. Недоліком зазначеного патенту є те, що конструкція самого сенсора має недостатню чутливість, перешкодозахищеність та нестабільність роботи.

Винахід, який пропонується, відноситься до вимірювальної техніки, конкретно до вимірювання слабких квазіпостійних магнітних полів за допомогою СКВІДів. В основу даного винаходу поставлена задача вдосконалення конструкції РК СКВІДу, в якому шляхом застосування нового обладнання, нових конструктивних та схемних рішень підвищується чутливість сенсору до корисного магнітного сигналу, а також перешкодозахищеність і стабільність його роботи в умовах відсутності магнітного екранування. Новим у порівнянні з методом-прототипом є те, що для реалізації зазначеного завдання конструкція пропонованого сенсора передбачає використання:

- спеціального ФНЧ між антеною та вхідною котушкою для зменшення ВЧ завад, що проникають з антени в СКВІД;
- спеціального концентратора потоку, виготовленого із свинцю, для збільшення магнітного зв'язку між вхідною котушкою і отвором СКВІДа;
- RL шунта з характерним часом близько 1 мс для додаткового послаблення шумів, генерованих ДК;
- надпровідного екрану для захисту СКВІДу від магнітних завад;
- подвійного радіочастотного екрану для екранування вихідних проводів, що йдуть до зондової електроніки;
- термічних екранів в криогенному зонді для зменшення випаровування рідкого гелію;
- антени покращеної конструкції
- свинцевої магнітоскрануючої трубочки для проводів, що ведуть від антени
- ФНЧ у вихідних ланцюгах та ланцюгах нагрівача для зменшення ВЧ завад, що проникають з зондової електроніки;
- двох резисторів в ланцюгах зворотного зв'язку та живлення СКВІДу, які разом з розподіленою ємністю звитої пари проводів утворюють ФНЧ, та зменшують завади, що проникають по живленню;
- спіральної вхідної котушки, намотаної в два ряди;
- капсули із ніобію, в яку поміщується сенсор магнітного поля для захисту від завад;
- нагрівача для випуску замороженого потоку, що проникає в СКВІД
- механізму балансування для механічного балансу антени.

Основна ідея винаходу полягає в тому, щоб за допомогою зазначених вдосконалень покращити чутливість сенсора до магнітного поля та підвищити його перешкодозахищеність відносно дії сильних зовнішніх, як імпульсних, так і гармонічних, магнітних завад техногенного характеру.

Короткий опис ілюстрацій:

Фіг.1 - конструкція СКВІД- детектора, фіг.2 - конструкція РК сенсора, Фіг.3 - електрична схема РК сенсора, фіг.4 - ввід магнітного поля у СКВІД Фіг.5 - конструкція антени, фіг.6 схема під'єднання котушок до СКВІДа Фіг.7 - механізм балансування

Основною частиною РК сенсора є СКВІД-детектор (Фіг.1), що являє собою мікросборку, що включає власне СКВІД (3), вхідну котушку та концентратор потоку (4), котушку ЗЗ, RL-шунт (5), термінали для підключення антени (10), нагрівач (11), контактні площадки сигнальних проводів та живлення (6) та котушки негативного ЗЗ (7). СКВІД (3) являє собою мікроелектронний чіп, на якому засобами тонкоплівкової технології напилено два ДТК, замкнутах надпровідним кільцем. СКВІД-детектор розміщено на окремій платі (1), закритий надпровідним ніобієвим екраном (2). СКВІД, концентратор потоку та вхідна котушка утримуються на платі за допомогою прижимного пристрою (8), в якому є спеціальний отвір (9) для магнітного поля.

Загальний поздовжній розріз конструкції РК сенсора подано на Фіг.2. Тут плата СКВІД-детектора, RL-шунт та термінали для підключення

антени позначені відповідно як (12), (11), та (16). Ніобієвий екран (4) кріпиться на проміжній платі (5), де розміщено елементи (резистори та ємності) ФНЧ (7-10) для сигнальних ланцюгів та ланцюгів живлення, нагрівача та ЗЗ. Проміжна плата закріплена на фланці (2) і закрита циліндричною капсулою (3), яка також закриває і надійно фіксує СКВІД-детектор. Ця капсула є магнітним екраном, що захищає РК сенсор від зовнішніх магнітних перешкод та від механічних ушкоджень. Виті пари (15) скручено із мідного проводу діаметром 0,05мм в подвійній лаковій ізоляції. Приєднання проводів виконується пайкою олов'яно-свинцевим припоєм до контактних площадок (14), розміщених на платі СКВІД-детектора та проміжній платі.

РК сенсор розміщено всередині склопластикової труби, він закріплений на кінці нейзильберової трубки (1) та зафіксований в склопластиковій трубці за допомогою подушечок із поропласту. Всередині цієї трубки проходять виті пари (6) сигнальних проводів, що йдуть до зондової електроніки. РК сенсор знаходиться приблизно на 120мм вище від верхнього витка антени. Цю відстань вибрано із вимоги мінімізації впливу надпровідного екрану (капсули) сенсора на ступінь балансу і симетрії градієнтметра. Вити пара ніобієвих проводів (17) прокладена від антени до СКВІДу в тонкій, діаметром 0,8мм, свинцевій трубочці (18). Це не допускає зміни ступеня балансу антени, що може бути спричинена деформацією ніобієвих проводів при термоциклюваннях вимірювальної системи. Кінці вити пари, зачищені від ізоляційного лаку, притискаються гвинтами до ніобієвих терміналів (16), що забезпечує надійний надпровідний контакт. СКВІД чіп разом вхідною котушкою, котушкою ЗЗ, нагрівачем (19) та концентратором потоку схематично позначена як (13), деталі дивись на Фіг.4.

СКВІД, паралельно до якого включено RL шунт є генератором РК, частота яких залежить від магнітного потоку в отворі СКВІДа (Фіг.3). У нашій реалізації величини опору та індуктивності шунта рівні, відповідно, близько 1Ом та 0,5мкГн, що дає величину характерного часу шунта $\tau = L/R$ рівну 0,5мкс. З огляду на те, що характерний опір СКВІДу більше опору шунта $R_n = 15 \div 40 \text{ Ом} \gg R$, шунт слугує ФВЧ, який шунтує НЧ компоненти (менше 2МГц) теплових флуктуацій ДТК, і тим самим зменшує теплові флуктуації критичного струму. При вимірюваннях в антену разом з корисним сигналом попадають і ВЧ компоненти техногенних завад. При цьому немає сенсу пропускати на вхід сенсора завади, частоти яких перевищують смугу негативного ЗЗ. Тому паралельно вхідній котушці розміщено ланцюг $C_{ant} - R_{ant}$. У який відволікаються ВЧ компоненти завад, який таким чином виконує роль ФНЧ, що фільтрує сигнал з антени. Це значно підвищує стійкість роботи РК сенсора, в першу чергу до імпульсних магнітних завад.

З іншого боку, тобто по сигнальним проводам шуми, спричинені як тепловими флуктуаціями в зондовій електроніці, що знаходиться при кімнатній температурі, так і наведені зовнішніми магнітними завадами за рахунок явища електромагнітної індукції можуть проникати в РК сенсор. Для фільтрації ВЧ компонент таких шумів на ланцюгу ЗЗ

встановлено ланцюг R3-C1-R4, що виконує роль ФНЧ. Аналогічну роль в ланцюзі живлення виконують резистори R1-R2, а в ланцюзі нагрівача - ємність C2.

Вхідна спіральна котушка (Фіг.4, поз.4) намотана ніобієвим проводом діаметром 40 мкм в лавовій ізоляції. Намотування спіральної котушки здійснюється у два ряди із склеюванням витків. Зовнішній діаметр котушки 3.5 мм, діаметр внутрішнього отвору 0.4 мм, індуктивність 0.8 мкГн. Концентратор потоку (2) є свинцевою пластиною квадратної форми з вузькою щілиною. Товщина пластини 50 мкм, ширина щілини - 100 мкм. Вхідна котушка приклеюється до концентратора, причому кінець його щілини суміщується з отвором котушки таким чином, щоб край щілини вписався в коло центрального отвору вхідної котушки. Отвір котушки при цьому суміщується з отвором чіпа СКВІДа (3). Котушка 33 (8) приклеюється знизу до плати СКВІД-детектора (1) і також суміщується з отвором СКВІДа. На Фіг.4 також показано RL-шунт (5), контактні площадки для підключення СКВІД-детектора (6) та термінали для підключення антени (7), та нагрівач (9).

РК сенсор поміщено у вимірювальний зонд, основним каркасом якого є тонкостінна склопластиковою труба зовнішнім діаметром 18 мм. На ній закріплюється (знизу вверху) надпровідникова антена, РК сенсор, механізм балансування і електронний блок. На склопластиковій трубці закріплено фланець для кріплення електронного блоку і головки зонда з вводами осей, що передають оберти з теплої частини зонду до силового гвинта механізму балансування. Всередині склопластикової труби розміщені також склопластикові вісі діаметром 2мм, що передають оберти зовні на силові гвинти механізму балансування.

Всередині труби розміщено РК сенсор, трубка з нейзильберу діаметром 2мм для екранування сигнальних проводів і електромагнітний екран із алюмінієвої фольги, для захисту від електромагнітних завад. РК сенсор підключений до електронного блоку за допомогою біфілярів, які прокладено в нейзильберовій трубці між електронним блоком і РК сенсором. Трубка є екраном, а також захищає їх від механічних пошкоджень, вона розміщена коаксіально всередині склопластикової трубки, на ній з кроком 20мм приклеєні круглі майларові шайби з дзеркальним відбиваючим металічним шаром. Ці шайби виконують роль теплових екранів для зменшення випаровування рідкого гелію тому, що вони послаблюють випромінювання від нагрітих до кімнатної температури частин зонда.

Антена (Фіг.5, 6) являє собою аксіальний градієнтометр 2-го порядку діаметром 20 і базою 60мм. Градієнтометр намотано ніобієвим дротом діаметром 50 μм на циліндричному каркасі із графіту по схемі 1-2-1. Матеріал каркасу антени вибрано із умови приблизної рівності коефіцієнтів лінійного розширення ніобія і графіта. Необхідна початкова (технологічна) ступінь балансу градієнтометра (10^{-3} - 8×10^{-4}) забезпечується високою точністю виготовлення графітового каркасу для витків, ретельністю намотки ніобієвого дроту і фіксацією його спеціальним клеєм. На відміну від прототипу, використовуються радіальні (а не спі-

ральні) канавки для намотки, а також для зменшення взаємодукції між середніми витками відстань між ними повинна бути не менше 5 мм. Градієнтометр 2-го порядку призначений для просторової селекції сигналів магнітного поля. При цьому для джерел, розміщених на відстані г порядку бази і менше від вимірювального (нижнього) витка антени послаблення сигналу незначне. Сигнали віддалених джерел ослаблюються пропорційно $1/r^5$. Однак таке співвідношення вірне тільки для градієнтометра з високим ступенем балансу, яка досягається вирівнюванням ефективних площин петель градієнтометра за допомогою надпровідних (свинцевих) пластин. Таке вирівнювання відбувається під час процедури механічного балансування, що виконується в магнітному полі з високим ступенем однорідності. Ступінь балансу градієнтометра в результаті механічного балансування складає 10^{-5} - 5×10^{-6} . Для досягнення кращого результату балансування необхідно виконувати безпосередньо на місці, де в подальшому будуть проводитись магнітні вимірювання. Це пов'язано з наявністю в робочих приміщеннях неоднорідних магнітних полів зі значними градієнтами, що призводить до зниження ступені балансу градієнтометра при переміщенні його від місця балансування до місця вимірювань.

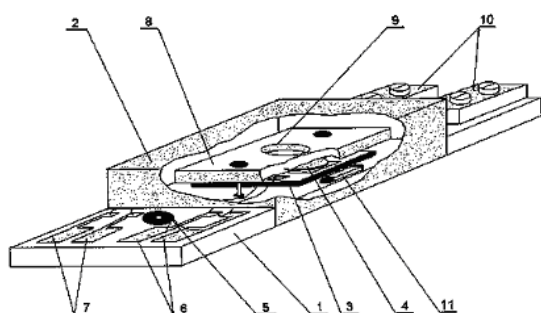
Балансування (Фіг.6) антени здійснюється переміщенням трьох надпровідникових, розташованих в ортогональних площинах, свинцевих пластин X, Y, та Z, які змінюють ефективну площу витків антени. Надпровідникові свинцеві пластини розміщені на плоских текстолітових тягах, які приводяться в рух механізмом балансування. Площа вертикальних пластин дорівнює приблизно 5мм^2 , а площа горизонтальної пластини учетверо більша. Механізм балансування (Фіг.7) складається із текстолітового корпусу (4) з направляючими, в якому розміщені силові гвинти (5) з повзунами (6). З останніми об'єднані плоскі текстолітові тяги (7) з приклеєними пластинками свинцевої фольги, які розміщені в направляючих пазах корпусу антени. Повороти силовим гвинтам механізму передаються зовні за допомогою довгих склотекстолітових осей (1) і муфти (3). Повороти гвинта перетворюються в лінійне переміщення повзуна (6), і відповідно тяги (7), яка переміщує свинцеву пластину відносно витка градієнтометра з метою зміни її ефективної площі. Верхні кінці осей ущільнені в головці зонда та мають шліци для їх обертання відкруткою. Нижні кінці цих осей мають виступи, які входять в шліці силового гвинта механізму балансування.

Таким чином сенсор, який пропонується у даному винаході становить суттєвий внесок в техніку вимірювань надслабких магнітних полів. До переваг даного сенсору слід віднести те, що він орієнтований на використання в порівняно дешевих малоканалних магнітокардіографах (наприклад, що мають 4 сигнальні та 3 референтних канали), які не потребують магнітного екранування. Стійкість пропонованого РК сенсора по відношенню до впливу магнітних завад дозволяє відмовитися від використання коштовної магнітоекранованої кімнати та здешевіти вартість приладів, що використовують такі сенсори, отже - дає можливість викори-

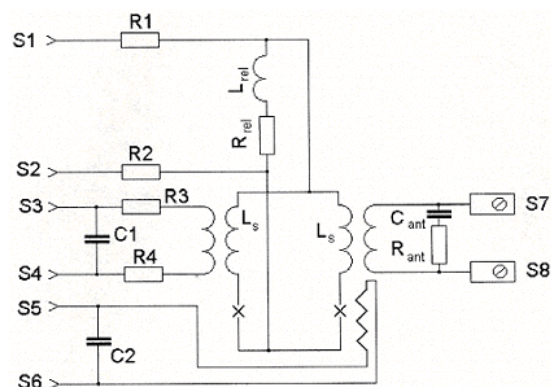
стовувати їх для вимірювання надслабких біомагнітних полів, генерованих, наприклад, серцем людини в умовах високого рівня індустриальних магнітних завад великого міста.

Конкретна реалізація сенсору у винаході детально описана з метою ілюстрації. Зрозуміло, що на практиці, люди, досвідчені в СКВІД-технології можуть внести деякі зміни і модифікації, наприклад,

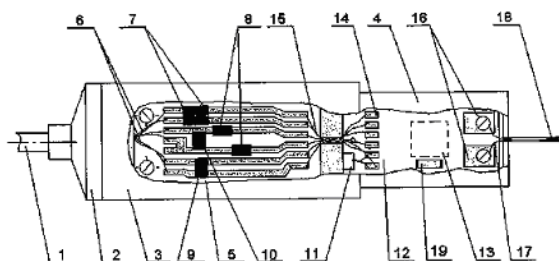
величини і типи електронних компонентів, розташування та розміри різних частин пристрою, використання СКВІДів, виготовлених із високотемпературних надпровідників, що працюють в рідкому азоті і т.п. Проте, якщо ці різні модифікації зроблені без суттєвих відхилень від даного винаходу, вони підпадають під дію цього винаходу.



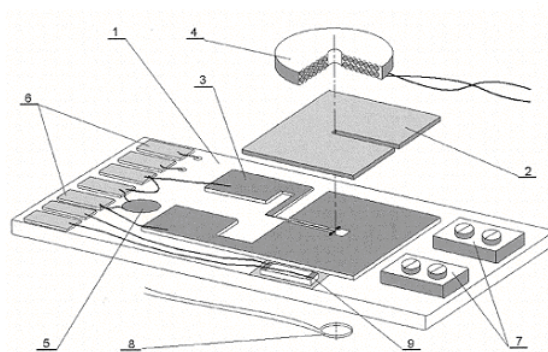
Фиг.1



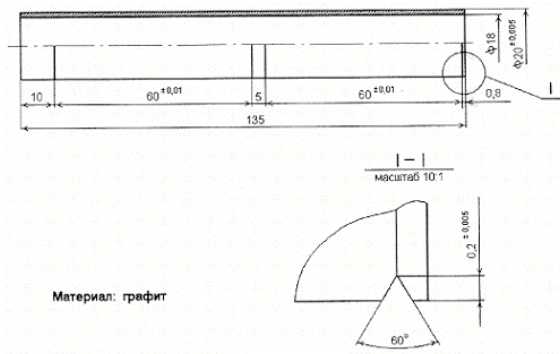
Фиг.3



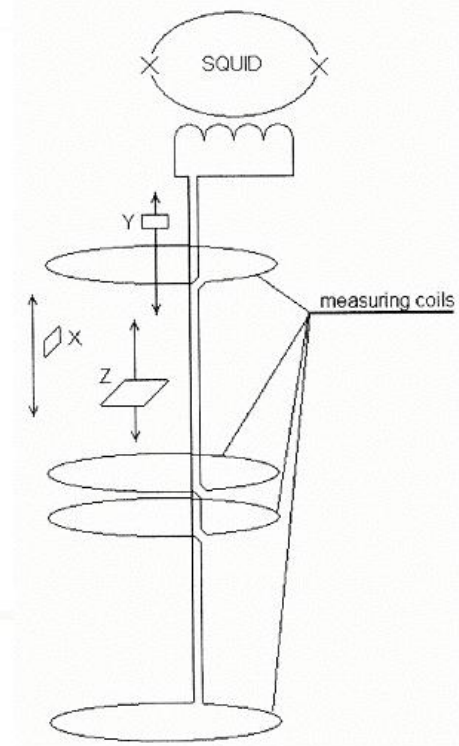
Фиг.2



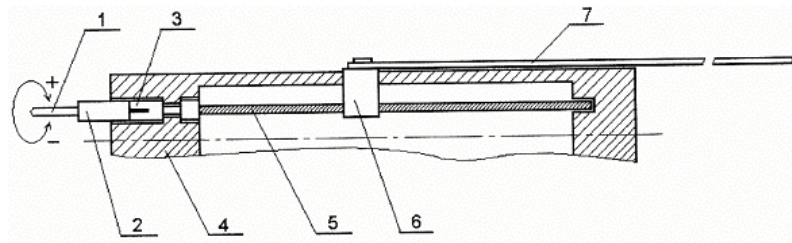
Фиг.4



Фиг. 5



Фиг. 6



Фиг. 7