

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **034623**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2020.02.28**

(51) Int. Cl. **G01T 1/36** (2006.01)

(21) Номер заявки  
**201700515**

(22) Дата подачи заявки  
**2017.11.23**

---

(54) **УСТРОЙСТВО ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ СПЕКТРОВ ЯДЕРНОГО МАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА В МАГНИТНОМ ПОЛЕ ЗЕМЛИ**

---

(31) **2017108590**

(32) **2017.03.14**

(33) **RU**

(43) **2019.09.30**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:  
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ "САНКТ-  
ПЕТЕРБУРГСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ" (СПбГУ) (RU)**

(56) ALES MOHORIC et al. Magnetic Resonance Imaging System Based on Earth's Magnetic Field. INSTRUMENTATION SCIENCE AND TECHNOLOGY, 2004, Vol. 32, No. 6, p. 655-667

US-A1-20160327626

US-A1-20150234030

US-A1-20120249137

US-B1-6452387

(72) Изобретатель:  
**Чижик Владимир Иванович,  
Куприянов Павел Алексеевич (RU)**

(74) Представитель:  
**Матвеев А.А., Матвеева Т.И., Леонов  
И.Ф. (RU)**

---

(57) Изобретение относится к области электротехники, в частности к радиоэлектронике и регистрации сигналов ядерного магнитного резонанса (ЯМР), и может быть использовано в устройствах ЯМР в условиях флуктуации внешнего магнитного поля, что позволяет производить накопление ЯМР-сигнала для выявления в спектрах органических жидкостей линий с очень малой амплитудой при анализе их молекулярной структуры. Принцип работы устройства состоит в оптимизации параметров квадратурного детектирования ЯМР-сигналов в условиях флуктуации внешнего магнитного поля для возможности накопления сигнала. Техническим результатом является повышение разрешения ЯМР-спектров при длительном накоплении сигнала за счет увеличения длительности опорного сигнала для квадратурного детектирования исследуемого ЯМР-сигнала и исключения влияния шумов датчика в конце калибровочного ЯМР-сигнала. Технический результат изобретения достигается за счет новой схемы устройства с частотомером и генератором сигнала синусоидальной формы.

---

**B1**

**034623**

**034623**

**B1**

Изобретение относится к области электротехники, в частности к радиоэлектронике и регистрации сигналов ядерного магнитного резонанса (ЯМР), и может быть использовано в устройствах ЯМР в условиях флуктуации внешнего магнитного поля, что позволяет производить накопление ЯМР-сигнала для выявления в спектрах органических жидкостей линий с очень малой амплитудой при анализе их молекулярной структуры. Принцип работы устройства состоит в оптимизации параметров квадратурного детектирования ЯМР-сигналов в условиях флуктуации внешнего магнитного поля для возможности накопления сигнала.

Известно устройство для регистрации спектров ЯМР и коррекции его частоты в спектрометрах с электромагнитом [1]. В устройство поступают два ЯМР-сигнала: один - от исследуемого образца, второй - с калибровочным образцом. Сначала регистрируется ЯМР-сигнал от калибровочного датчика, по которому измеряется величина внешнего магнитного поля, затем регистрируется ЯМР-сигнал от датчика с исследуемым образцом, полученный спектр корректируется по полученным данным от калибровочного датчика. Полученные таким образом спектры могут использоваться в методе накопления для увеличения отношения сигнала/шум. Недостатком такого способа является недостаточно точная получаемая информация за счет последовательности регистрации ЯМР-сигналов, разделенной временем, за которое величина поля, как в случае магнитного поля Земли внутри лаборатории, может значительно измениться.

Известно устройство, используемое для получения магнитно-резонансных изображений в земном магнитном поле с компенсацией флуктуации магнитного поля Земли [2], наиболее близкое к заявленному изобретению, принятое в качестве прототипа. Принцип работы известного устройства-прототипа заключается в квадратурном детектировании ЯМР-сигнала от исследуемого образца с использованием ЯМР-сигнала от калибровочного датчика в качестве опорного сигнала. Заявленное изобретение выполняет функции, аналогичные функциям детекторного узла известного устройства, и, соответственно, имеет похожую структуру, а именно, на входы устройства поступают два ЯМР-сигнала, в качестве опорного сигнала при квадратурном детектировании исследуемого ЯМР-сигнала используется сигнал, сформированный по данным, полученным из анализа калибровочного сигнала.

Недостатком известного устройства являются получаемые широкие спектральные линии. Это обстоятельство приводит к потере информации при исследовании образцов с большими временами релаксации в однородном магнитном поле. Этот недостаток возникает за счёт использования сигнала от калибровочного датчика в качестве опорного сигнала при детектировании исследуемого сигнала, что делает невозможным качественно детектировать продолжительные сигналы, используемые в ЯМР-спектроскопии высокого разрешения, даже при использовании специального фильтра, преобразующего экспоненциальный спад калибровочного ЯМР-сигнала в прямоугольный импульс с заполнением. Продолжительности такого сигнала достаточно для детектирования исследуемых ЯМР-сигналов, получаемых в магнитно-резонансной томографии, поскольку они значительно короче из-за используемых в экспериментах градиентов магнитных полей. Эксперименты, связанные со спектроскопией высокого разрешения, проводятся при отсутствии градиентов, т.е. в однородном магнитном поле Земли, в котором регистрируется и калибровочный ЯМР-сигнал. При этом длительности ЯМР-сигналов от обоих датчиков становятся сравнимыми. В этом случае специальный фильтр для калибровочного сигнала, используемый в прототипе, приводит к потере информации о спектре из-за артефактов частоты в конце сигнала, вносимыми шумами датчика.

Техническим результатом заявленного изобретения является повышение разрешения ЯМР-спектров при длительном накоплении сигнала.

Указанный технический результат достигается реализацией в заявленном изобретении длительности опорного сигнала для квадратурного детектирования исследуемого ЯМР-сигнала за счёт исключения влияния шумов датчика в конце калибровочного ЯМР-сигнала. Такой результат является следствием нескольких факторов. Во-первых, калибровочный ЯМР-сигнал не используется в качестве опорного сигнала при детектировании, он анализируется для получения точного значения частоты сигнала. При этом используется только часть сигнала, в которой влияние шумов датчика незначительно. Во-вторых, опорный сигнал формируется генератором синусоидальной формы любой необходимой продолжительности, что, по сути, является идеальным условием для квадратурного детектирования. Технический результат достигается за счет оснащения устройства частотомером и генератором сигнала синусоидальной формы.

Сущность заявленного изобретения поясняется фиг. 1, на которой представлена схема устройства, которое состоит из корпуса (1) с двумя входами для исследуемого (2) и калибровочного (3) сигналов с одной стороны и двумя выходами (4 и 5) для двух компонент исследуемого сигнала, внутри корпуса со стороны его входов расположены два блока амплитудно-цифровых преобразователей (6, 7), каждый из которых подсоединен к соответствующему из двух блоков памяти (8, 9), выход блока памяти канала исследуемого сигнала подсоединен к входу квадратурного детектора (10), между квадратурным детектором (10) и блоком памяти в канале калибровочного сигнала (9) расположен блок частотомера (11), соединенный с блоком генератора (12), выходы которого соединены с входами квадратурного детектора (10).

Работа устройства осуществляется следующим образом. Оба ЯМР-сигнала переводятся в цифровой вид соответствующими АЦП (6, 7) и запоминаются в соответствующих блоках памяти (8, 9). Далее ис-

следуемый сигнал из блока памяти (8) поступает в квадратурный детектор (10). Калибровочный сигнал из блока памяти (9) поступает в частотомер (11), где производится точный расчёт частоты сигнала по участку сигнала, в котором влияние шумов минимально. Затем численное значение полученной частоты калибровочного сигнала подаётся в генератор (12), формирующий два синусоидальных сигнала с полученной частотой, являющихся комплексными дополнениями, которые подаются на квадратурный детектор (10). На выходах (4, 5) образуются комплексные дополнения продетектированного сигнала, готовые для процесса накопления сигнала и получения ЯМР-спектров высокого разрешения после преобразования Фурье.

На фиг. 2 представлены схематически изображения сигналов и получаемых спектров в прототипе и заявленном изобретении. В прототипе исследуемый (1а) и калибровочный (1б) сигналы с шумовой дорожкой в конце; калибровочный сигнал после обработки специальным фильтром (1г) имеет артефакты частоты ближе к концу сигнала из-за влияния шумов, но они не влияют на детектирование короткого исследуемого сигнала; широкая линия спектра, получившаяся после детектирования и преобразования Фурье (1в). Аналогично, в заявленном изобретении исследуемый (2а) и калибровочный (2б) сигналы с продолжительностью одного порядка; гармонический сигнал (2г), выдаваемый генератором с частотой, полученной в результате обработки калибровочного сигнала в блоке частотомера; спектр высокого разрешения исследуемого сигнала (2в).

Заявленное изобретение было апробировано в лабораторных условиях Санкт-Петербургского государственного университета (на физическом факультете на кафедре ядерно-физических методов исследования). Была подтверждена работоспособность заявленного изобретения и достижение указанного технического результата.

Ниже приведен конкретный пример результатов апробации.

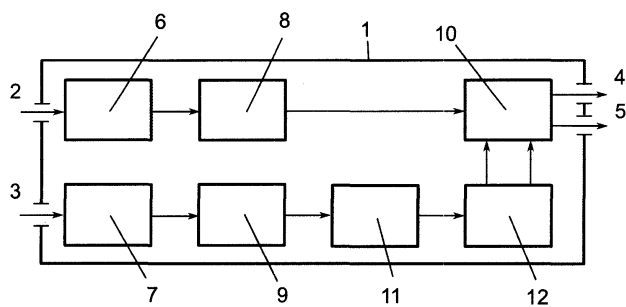
Измерение константы косвенного спин-спинового взаимодействия в триметилфосфате между протонами и ядрами углерода  $^{13}\text{C}$  естественного содержания методом ЯМР в земном поле. Объем исследуемого образца 130 мл. В спектре одиночного эксперимента выделяются две линии косвенного спин-спинового взаимодействия (КССВ) протонов с ядрами фосфора  $^{31}\text{P}$ . Спектральные линии КССВ протонов с ядрами углерода  $^{13}\text{C}$  из-за его низкого природного содержания имеют амплитуду на два порядка меньше, чем линии взаимодействия с ядрами фосфора, и не видны из-за шума. Для увеличения отношения сигнал/шуму применялся метод накопления сигнала, для чего необходима стабильность частоты ЯМР. В результате эксперимента со 100-кратным повторением на спектре возникли линии с амплитудой на два порядка меньшей, чем у линии от взаимодействия с фосфором на расстоянии 81,5 Гц от центра спектра. Таким образом, константа КССВ протонов с углеродом прямой связи равна 163 Гц, что подтверждает достижение указанного технического результата заявленным изобретением.

Используемые источники информации.

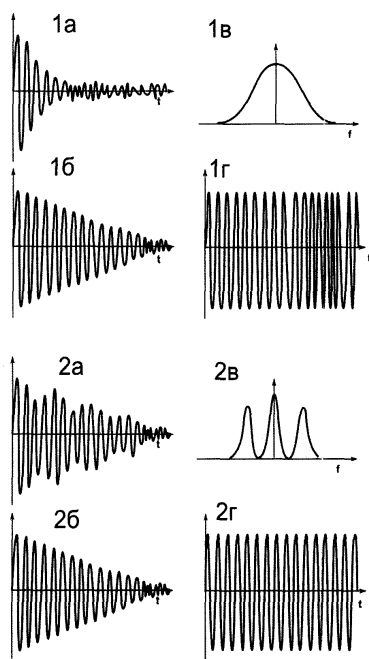
1. Патент: WO 2015/116518-PAMPH-449.
2. Статья: Ales Mohorič, Gorazd Planinšič, Miha Kos, Andrej Duh, Janez Stepišnik "Magnetic Resonance Imaging System Based on Earth magnetic field", INSTRUMENTATION SCIENCE AND TECHNOLOGY, Vol. 32, No. 6, p. 655-667, 2004 (прототип)

#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

Устройство для регистрации спектров ядерного магнитного резонанса в магнитном поле Земли, содержащее корпус с двумя входами для исследуемого и калибровочного сигналов с одной стороны и двумя выходами для двух компонент продетектированного исследуемого сигнала, внутри корпуса со стороны его входов расположены два блока амплитудно-цифровых преобразователей, каждый из которых подсоединен к соответствующему из двух блоков памяти, выход одного из которых подключён к входу квадратурного детектора, расположенного со стороны выходов корпуса; между квадратурным детектором и блоком памяти в канале калибровочного сигнала расположен блок преобразования калибровочного сигнала, отличающееся тем, что в качестве блока преобразования калибровочного сигнала использованы последовательно расположенные со стороны блока памяти блок частотомера, соединенный с блоком генератора, выходы которого соединены с входами квадратурного детектора.



Фиг. 1



Фиг. 2