

**ПРИБОРЫ, ИЗГОТОВЛЕННЫЕ
В ЛАБОРАТОРИЯХ**

УДК 53.07

**АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ
ОБЪЕМНОЙ КАРТЫ МАГНИТНОГО ПОЛЯ**

© 2019 г. А. Р. Фахрутдинов, Я. В. Фаттахов, В. А. Шагалов,
Р. Ш. Хабипов, А. А. Баязитов

Поступила в редакцию 06.07.2018 г.

После доработки 30.11.2018 г.

Принята к публикации 30.12.2018 г.

DOI: 10.1134/S0032816219040074

Для целей магнитно-резонансной томографии крайне важна информация о пространственном распределении магнитного поля в рабочей области томографа. Предлагаемый нами способ измерения карты поля настраиваемой магнитной системы заключается в измерении частоты биений сигнала ядерного магнитного резонанса (я.м.р.) от сенсоров, жестко зафиксированных в рабочей области магнитной системы и последовательно подключаемых к приемно-передающему тракту томографа.

Для автоматизации процесса настройки однородности магнитного поля был разработан авто-

матизированный комплекс для измерения объемной карты магнитного поля (рис. 1).

Комплекс состоит из специального датчика, описанного в [1], блока электроники, состоящего из платы управления и платы мультиплексоров, а также из штатных блоков магнитно-резонансного томографа (м.р.т.): компьютера и радиоспектрометра, ранее описанного в работе [2]. Устройство согласования пропускает радиочастотный импульс из передающего тракта м.р.т. на плату мультиплексоров. Далее этот импульс возбуждает спиновую систему в резонансном веществе выбранного сенсора, и затем сигнал я.м.р. от этого

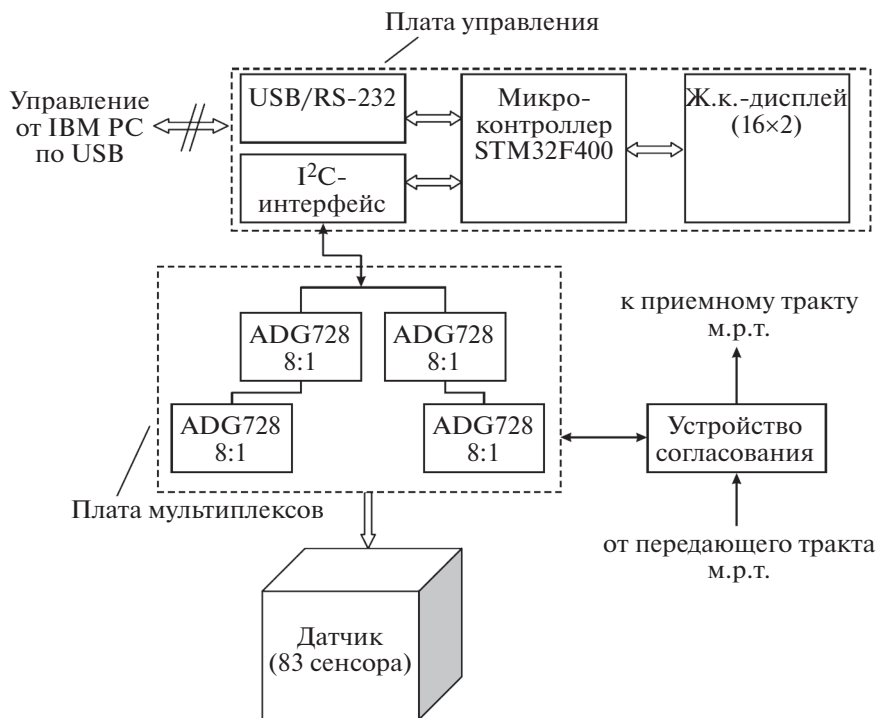


Рис. 1. Блок-схема комплекса для измерения объемной карты магнитного поля.

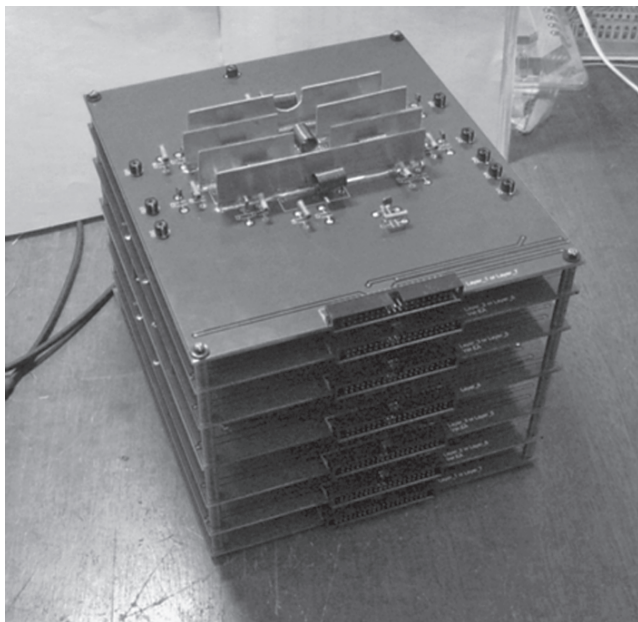


Рис. 2. Внешний вид датчика для измерения объемной карты магнитного поля.

сенсора направляется в приемный тракт м.р.т. для регистрации частоты сигнала, а значит, величины поля в данной точке пространства.

Датчик содержит 83 измерительных сенсора, расположенных специальным образом и настроенных на рабочую частоту 17.5 МГц. При этом семейство из 76 сенсоров равномерно распределено на поверхности сферы $\varnothing 150$ мм и еще 7 сенсоров расположены вдоль оси Z магнитного поля, в том числе один сенсор располагается в центре сферы. Конструктивно все сенсоры располагаются на семи плоскостях (рис. 2).

Для переключения сенсоров была разработана плата мультиплексоров. В основу этой платы положены 8-канальные мультиплексоры ADG728 [3], управляемые по I²C-интерфейсу. Выбор нужного сенсора на плате мультиплексоров осуществляется с помощью платы управления на базе микроконтроллерной платы STM32F100 [4], подключенной к компьютеру при помощи преобразователя USB/RS-232, выполненного на микросхеме FT232RL [5].

Для управления комплексом разработано специализированное программное обеспечение (с.п.о.), позволяющее управлять по I²C-интерфейсу переключением сенсоров, обеспечивать связь комплекса с рабочей станцией томографа, отображать на жидкокристаллическом (ж.к.) дисплее информацию о подключенном сенсоре. С.п.о. реализуется как прошивка для микроконтроллера STM32F100. Исходный текст программы на языке C разработан в среде IDEµVision V5.24.2.0.

Кроме того, специально для этого комплекса был разработан программный модуль, осуществляющий измерение пространственной карты поля. Программный модуль написан на языке высокого уровня C++ в среде Visual Studio и выполняется под операционной системой MS Windows. Модуль является частью программного комплекса для работы с м.р.т. При работе программного модуля оператору доступны следующие режимы: “Частота”, “Ось”, “Карта”. В этих режимах сенсоры датчика могут выбираться либо произвольно оператором (“Частота”), либо по заранее определенному алгоритму (“Ось”, “Карта”).

Программные средства томографа позволяют определить частоту отстройки сигнала спада свободной индукции и при необходимости записать это значение в соответствующий файл.

В режиме “Карта” программный модуль работает подобно режиму “Ось”, но с тем отличием, что через каждые десять сенсоров происходит переключение на сенсор “0” для того, чтобы измерить и скомпенсировать возможный дрейф поля за время измерений.

Разработанный аппаратно-программный комплекс позволяет измерять величину магнитного поля в магнитной системе томографа с зазором от 200 мм и с напряженностью магнитного поля порядка 0.4 Тл. По результатам измерений вычисляется относительная неоднородность магнитного поля.

В отличие от традиционного способа измерения магнитного поля с помощью одного сенсора, который позиционируется в пространстве по заданным координатам, данный способ обладает тем преимуществом, что время, затрачиваемое на один цикл измерений, существенно меньше (в 5–6 раз) и практически полностью исключен “человеческий” фактор, т.е. меньше вероятность ошибочных измерений.

Аппаратно-программный комплекс был апробирован при измерении карты поля магнитной системы м.р.т. с индукцией магнитного поля 0.4 Тл, разработанного в нашей лаборатории.

Данный комплекс может быть использован не только для задач магнитно-резонансной томографии, но и в тех случаях, когда требуется получить магнитное поле необходимой конфигурации с высокой точностью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крылатых Н.А., Фахрутдинов А.Р., Галеев Р.Т., Фаттахов Я.В. // ПТЭ. 2018. № 5. С. doi 118. 10.1134/S0032816218050099
2. Шагалов В.А., Фахрутдинов А.Р., Фаттахов Я.В. // ПТЭ. 2017. № 6. С. 132. doi 10.7868/S0032816217060118

3. Analog Devices. Data Sheets. http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADG728_729.pdf
4. STMicroelectronics. Data Sheets. <http://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/datasheet/03/b4/b2/36/4c/72/49/29/DM00071990.pdf/files/DM00071990.pdf/jcr:content/translations/en.DM00071990.pdf>
5. Future Technology Devices International Ltd. Data Sheets. https://www.sparkfun.com/datasheets/IC/FT232R_v104.pdf

Адрес для справок: Россия, 420029, Казань, Сибирский тракт, 10/7, Казанский физико-технический институт им. Е.К. Завойского Федерального исследовательского центра “Казанский научный центр РАН”. E-mail: fakhrutdinov@kfti.knc.ru