

## РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОЙ ЧАСТИ КОЭРЦИТИВНОГО СПЕКТРОМЕТРА

М.М. Чупин, Р.С. Кириллов, Р.Р. Латыпов, Д.К. Нурғалиев, А.В. Сапожников

Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия  
grey2paul@gmail.com

## DEVELOPMENT OF SOFTWARE AND HARDWARE FOR COERCIVE SPECTROMETER

M.M. Chupin, R.S. Kirillov, R.R. Latypov, D.K. Nurgaliyev, A.V. Sapozhnikov

Kazan (Volga region) Federal University, Kazan, Russia

**Аннотация.** Целью данного проекта является обновление системы управления и блока сбора данных коэрцитивного спектрометра на современной элементной базе. Усовершенствование системы управления позволит улучшить качество обнаружения полезного сигнала, повысить соотношение сигнал-шум, упростить труд оператора системы и практически полностью автоматизировать систему получения и обработки конечных результатов спектрометра.

**Ключевые слова:** Коэрцитивный спектрометр, исследование шумов, намагниченность, математические методы обработки, геофизические данные.

**Abstract.** The aim of this project is modernization of control system and data gathering block of coercive spectrometer based on modern analog and digital elements. Control system upgrade leads to improvement of signal detection quality and increase of signal-to-noise ratio. Therefore, system operator's job would be simplified and complex of receiving and processing final data would be completely automatic.

**Keywords:** Coercive spectrometer, noise investigation, magnetization, mathematical processing methods, geophysical data.

### Введение

Коэрцитивный спектрометр предназначен для исследования процессов намагничивания и перемагничивания различных веществ. Отличительной особенностью прибора является возможность одновременного наблюдения таких различных процессов, как индуктивное и остаточное намагничивание. Принцип действия прибора основывается на пошаговом намагничивании образцов исследуемых веществ с малым приращением поля на каждый шаг, что позволяет считать процессы намагничивания и перемагничивания практически непрерывными. Блок схема прибора показана на рис. 1.

Снятие измерений с устройства автоматизировано и позволяет получать информацию о характеристиках вещества с незначительным участием оператора. Основным элементом прибора является, вращающийся с постоянной угловой скоростью, диамагнитный диск с держателем образцов. Указанный диск позволяет провести намагничивание и измерение индуктивной намагниченности исследуемого образца, внося его в магнитное поле, а также произвести измерение остаточной намагниченности,

вынося образец из поля. Магнитное поле создается электромагнитом (рис. 1), индуктивная и остаточная намагниченность измеряется при помощи индукционных датчиков, расположенных последовательно, через четверть оборота диска измерительной системы. Датчик измерений индуктивной намагниченности ( $J_i$ , рис. 1) размещен между полюсами электромагнита, а датчик остаточной намагниченности ( $J_r$ , рис. 1) помещен в многослойный пермаллоевый экран. Изменение тока в катушках датчиков усиливается и фильтруется на аппаратном уровне, после чего сигналы поступают на вход аналогово-цифрового преобразователя (АЦП) и передаются в управляющую программу на персональном компьютере.

Магнитное поле, создаваемое электромагнитом, изменяется после каждого оборота диска, как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения, что позволяет строить зависимости вектора намагничивания и вектора напряженности магнитного поля для широкого спектра веществ — от диамагнетиков и парамагнетиков до веществ с достаточно большими концентрациями ферромагнитных примесей (магматических пород).

### Модификация системы управления и системы сбора данных спектрометра

В качестве основного контроллера, управляющего спектрометром, используется контроллер фирмы Silicon Labs на основе микросхемы C8051F060. Одним из недостатков данного контроллера является маленькая пропускная способность канала связи с управляющим компьютером. Это приводит к неустойчивой связи управляющего компьютера и контроллера через используемый виртуальный COM порт, прикрепленный к физическому интерфейсу USB.

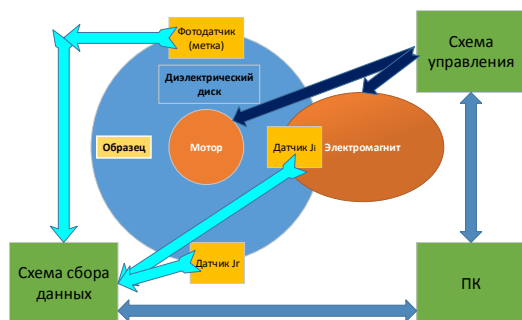


Рис. 1. Блок схема коэрцитивного спектрометра

Замена C8051F060 на микроконтроллер STM32F407, использующего 32-разрядное ядро ARM Cortex-M4, позволяет решить данную проблему, т. к. в составе STM32F407 содержится возможность работы с USB как конечного устройства. Так же высокая частота тактирования и скорость выполнения команд микроконтроллером STM32F407 позволяет без ущерба производительности пересылать данные непрерывным потоком за все время проведения эксперимента, что открывает новые возможности и качество в обработке полученных экспериментальных результатов.

В составе контроллера STM32F407 имеются три независимых 12-ти битных АЦП, посредством которых осуществляется оцифровка сигнала, поступающего с коэрцитивного спектрометра, с последующей передачей в цифровом виде на управляющий компьютер. Так же имеются два 16-ти битных цифро-аналоговый преобразователя (ЦАП) и используются для управления магнитным полем, изменяя напряжение на электромагните (рис. 1).

Для того чтобы отказаться от набора переключаемых предусилителей были добавлены два внешних 24-ех битных АЦП в блок сбора данных, работающих с максимальной скоростью до 20 МГц, что позволит значительно увеличить точность поступающей информации со спектрометра. Так же добавление внешнего 20-ти битного ЦАП позволит увеличить количество шагов регулировки тока в катушках, создающих магнитное поле.

Блок-схема мастер цикла работы программы сбора данных приведена на рис. 2. При запуске контроллера происходит начальная настройка периферии, портов ввода-вывода и настройка внешних АЦП и ЦАП, после чего контроллер переходит в режим ожидания команды от управляющего компьютера. При получении по последовательному порту 4х-байтной команды, содержащей количество измерений, которые необходимо произвести, происходит переход к циклу измерений. В процессе выполнения программы каждого цикла контроллер выполняет одновременно следующие операции: определение преобразователя, задает значение на выходе ЦАП и

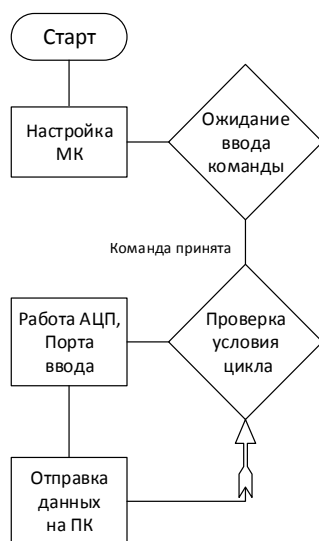


Рис. 2. Алгоритм работы мастер цикла контроллера STM32F407

значение дискретного порта ввода, к которому подключен фотодатчик, отвечающий за регистрацию метки. Полученные значения напряжения и состояние фотодатчика собираются в четырех байтовый пакет, который на третьем этапе передается по последовательному порту на управляющий компьютер. После окончания выполнения цикла контроллер снова переходит в режим ожидания.

Со стороны управляющего компьютера данные принимаются программой, разработанной на языке Matlab при помощи стандартного объекта Serial, и далее проводится их обработка и выведение результата.

### Заключение

Использование предлагаемой аппаратной модификации позволило получать полную картину значений датчиков за все время оборота диска и, более того, позволяет получать информацию за любое число оборотов, что в дальнейшем может быть использовано для получения максимально полной информации о свойствах полезных сигналов и помех, и создания новых методов обработки и фильтрации сигнала. Результаты полученных данных представлены на рис. 3 и 4.

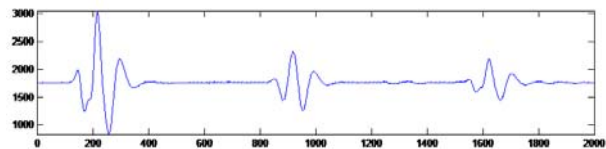


Рис. 3. Полученные данные за один оборот диска с образцом

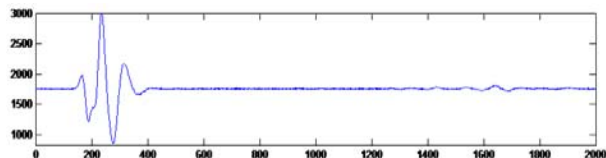


Рис. 4. Полученные данные за один оборот диска без образца

### Список литературы

1. Буров Б.В., Нургалиев Д.К., Ясонов П.Г. Коэрцитивный спектрометр — Авторское свидетельство № 851293, 1981, опубл. в Б.И. N 28, 1981.
2. Нургалиев Д.К., Ясонов П.Г. Полезная модель «Коэрцитивный спектрометр» № 81805 от 22.09.2009.
3. Буров Б.В., Нургалиев Д.К., Ясонов П.Г. Палеомагнитный анализ. Казань: Изд-во КГУ, 1986. 167 с.
4. <http://bse.sci-lib.com/article072388.html>. БСЭ, магнитные измерения.
5. Iassonov P.G., Nourgaliev D.K., Bourov B.V., Heller F. A modernized coercivity spectrometer // *Geologica Carpathica*. 1998. V. 49, no 3. P. 224–226.
6. ARM Cortex-M4 32b MCU+FPU, 210DMIPS, up to 1MB Flash/192+4KB RAM, crypto, USB OTG HS/FS, Ethernet, 17 TIMs, 3 ADCs, 15 comm. interfaces & camera. STMicroelectronics. October 2015, DocID022063, Rev 6., 203 p. <http://www.st.com/web/en/resource/technical/document/datasheet/DM00035129.pdf>
7. A Wavelet Tour of Signal Processing, Third Edition (3rd Edition), The Sparse Way by Stephane Mallat, Stéphane G. Mallat, Published 2008 by Academic Press, ISBN-13: 978-0-12-374370-1, ISBN: 0-12-374370-2. P. 700.