

УДК 004.021:519.688

АЛГОРИТМЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АППАРАТНОЙ ЧАСТИ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОИМПЕДАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ

Алексанян Г.К., Кучер А.И., Щербakov И.Д., Щербakova M.B.

Южно-российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова, Новочеркасск, e-mail: graer@ya.ru

В работе рассмотрены основные принципы построения программного обеспечения блока измерения в составе аппаратно-программного комплекса многоугловой электроимпедансной томографии. Проанализированы представленные ранее программные решения. На основе проведенного анализа выдвинуты требования к алгоритмам функционирования основных компонентов аппаратной части системы трехмерной электроимпедансной томографии с учетом специфики их совместного использования. Разработаны и приведены структурные схемы как аппаратно-программного комплекса, так и блока измерения непосредственно. На основании выдвинутых требований и построенных структурных схем разработаны алгоритмы автоматического управления процессом получения измерительных данных методом многоугловой электроимпедансной томографии, дано их подробное описание. Представлены блок-схемы разработанных алгоритмов, которые охватывают весь спектр выполняемых операций: от выбора электродного пояса, переключения отдельных инжектирующих и измерительных каналов, управления параметрами инжектирующего тока до автоматического тестирования качества электрического контакта между выбранным электродом и поверхностью исследуемого объекта, подбора коэффициента усиления и вывода полученных измерительных данных на персональный компьютер для их последующего анализа и обработки. Применение разработанных алгоритмов позволит повысить функциональные возможности аппаратно-программного комплекса многоугловой электроимпедансной томографии, а также сократить сроки его проектирования и практической реализации.

Ключевые слова: трехмерная электроимпедансная томография, алгоритмы работы аппаратного обеспечения

DEVELOPMENT OF ALGORITHMS FOR THE FUNCTIONING OF MULTI-ANGLE ELECTRICAL IMPEDANCE TOMOGRAPHY HARDWARE

Aleksanyan G.K., Kucher A.I., Shcherbakov I.D., Shcherbakova M.V.

South Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, e-mail: graer@ya.ru

The paper discusses the basic principles of building software of a measurement unit as part of a hardware-software complex of multi-view electrical impedance tomography. Analyzed previously presented software solutions. On the basis of the analysis made, requirements are put forward for the algorithms of the functioning of the main components of the hardware of the three-dimensional electrical impedance tomography system, taking into account the specifics of their joint use. The structural diagrams of the hardware-software complex and the measurement unit itself are developed and given. On the basis of the requirements put forward and the constructed structural diagrams, algorithms for automatic control of the process of obtaining measurement data by the method of multi-angle electrical impedance tomography have been developed, and their detailed description has been given. The flowcharts of the developed algorithms are presented, which cover the whole range of operations performed: from selecting the electrode belt, switching individual injection and measuring channels, controlling the parameters of the injection current, to automatically testing the quality of electrical contact between the selected electrode and the surface of the object under study, selecting the gain and output received measurement data on a personal computer for their subsequent analysis and processing. The application of the developed algorithms will allow to increase the functionality of the hardware-software complex of multi-angle electrical impedance tomography, as well as reduce the time of its design and practical implementation.

Keywords: three-dimensional electrical impedance tomography, hardware algorithms

Известны примеры разработки информационно-измерительных систем электроимпедансной томографии [1, 2] (ИИС ЭИТ), представляющих собой аппаратно-программный комплекс, состоящий из устройства, выполняющего функции автоматического получения измерительной информации и ее передачу, и персонального компьютера с установленным программным обеспечением, выполняющего функции приема, обработки, анализа, хранения и визуализации измерительных данных. В указанных примерах устройства, вы-

полняющие измерения в плоскости одного пояса пациента, реализуют метод двумерной ЭИТ. В данной статье рассмотрены вопросы построения алгоритмов функционирования аппаратной части ИИС ЭИТ, а именно устройства, позволяющего проводить измерения в нескольких плоскостях поясов пациента, то есть методом многоугловой электроимпедансной томографии (МРЭИТ) [3]. Концепция МРЭИТ заключается в возможности выбора отдельных томографических срезов, синтеза новых срезов в плоскостях, отличных от плоскостей

расположения электродных поясов, что явно отличает ее от традиционной двумерной ЭИТ. При этом стоит отметить и возрастающую сложность проектирования аппаратной и программной составляющих такой системы.

Представленные ранее разработки аппаратно-программных комплексов традиционной двумерной электроимпеданной томографии [4, 5] не соответствуют требованиям метода МРЭИТ в части поддержки проведения измерений посредством нескольких электродных поясов. В этой связи возникает необходимость разработки технических средств МРЭИТ.

Материалы и методы исследования

Структурная схема АПК ЭИТ представлена на рис. 1.

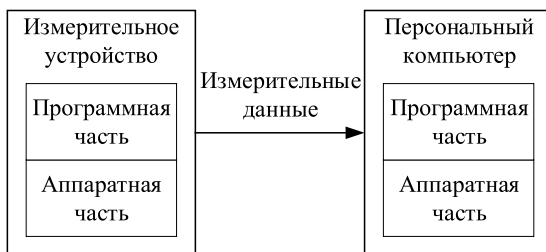


Рис. 1. Структурная схема АПК ЭИТ

Как можно видеть из представленной на рис. 1 схемы, и в персональном компьютере, и в измерительном устройстве работа аппаратного обеспечения

невозможна без программной части, задающей алгоритмы функционирования всего устройства. При этом построение программной части невозможно без учета специфики использования его аппаратных компонентов.

Разработанная структурная схема аппаратной части измерительного устройства (БИ) в составе АПК ЭИТ представлена на рис. 2.

Согласно представленной на рис. 2 структурной схеме, блок измерения включает в себя следующие компоненты:

- микропроцессор (МК) [6],
- источник инжектирующего тока (ИТ),
- усилитель измерительного канала (УИК),
- блок коммутации, состоящий из n блоков мультиплексов электродных поясов,
- блок питания (БП),
- блок электродов (БЭ), посредством которого устройство подключено к объекту исследования ИО.

Микропроцессор МК является центральным элементом БИ. С помощью МК осуществляется автоматическое переключение каналов измерения потенциалов на поверхности исследуемого объекта и инжектирования тока через него, задание параметров работы инжектирующей и измерительной схем на отдельных этапах работы АПК ЭИТ.

Источник тока ИТ под управлением МК позволяет динамически менять параметры инжектирующего тока.

Блоки мультиплексов электродных поясов (1.. n) выполняют функцию коммутации реализованных в АПК ЭИТ аналоговых каналов: инжектирующего тока, общей точки, дифференциальных измерительных каналов.

Схема блока УИК, представляющая собой программируемый усилитель, управляемый микропроцессором, позволяет автоматически изменять коэффициент усиления измерительного сигнала в зависимости от его амплитуды.

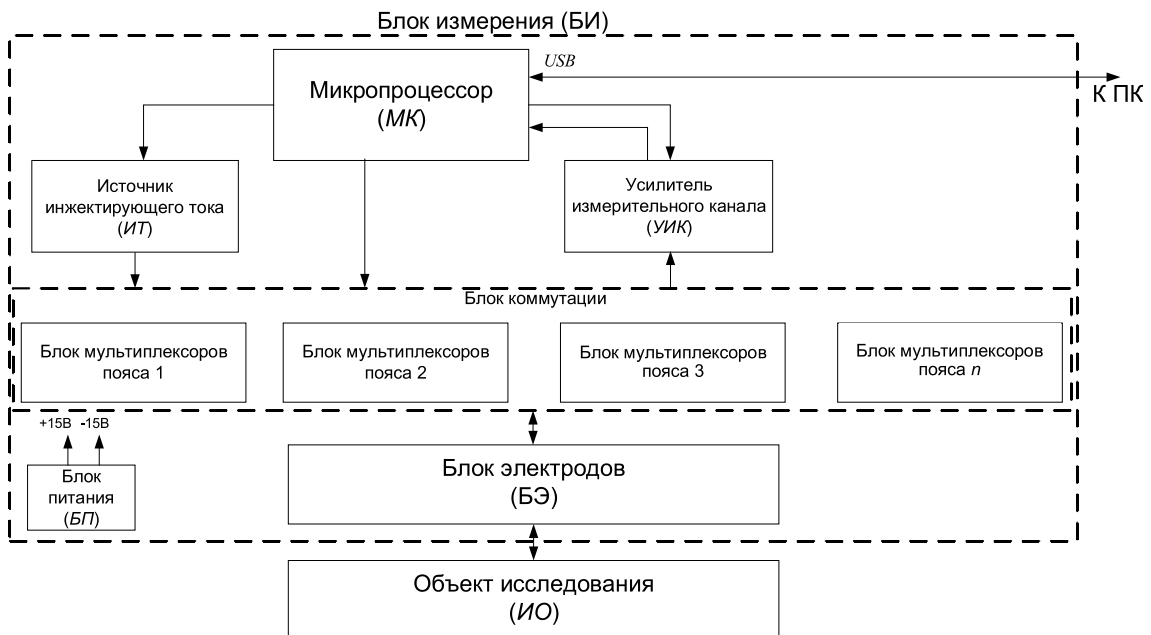


Рис. 2. Структурная схема измерительного устройства

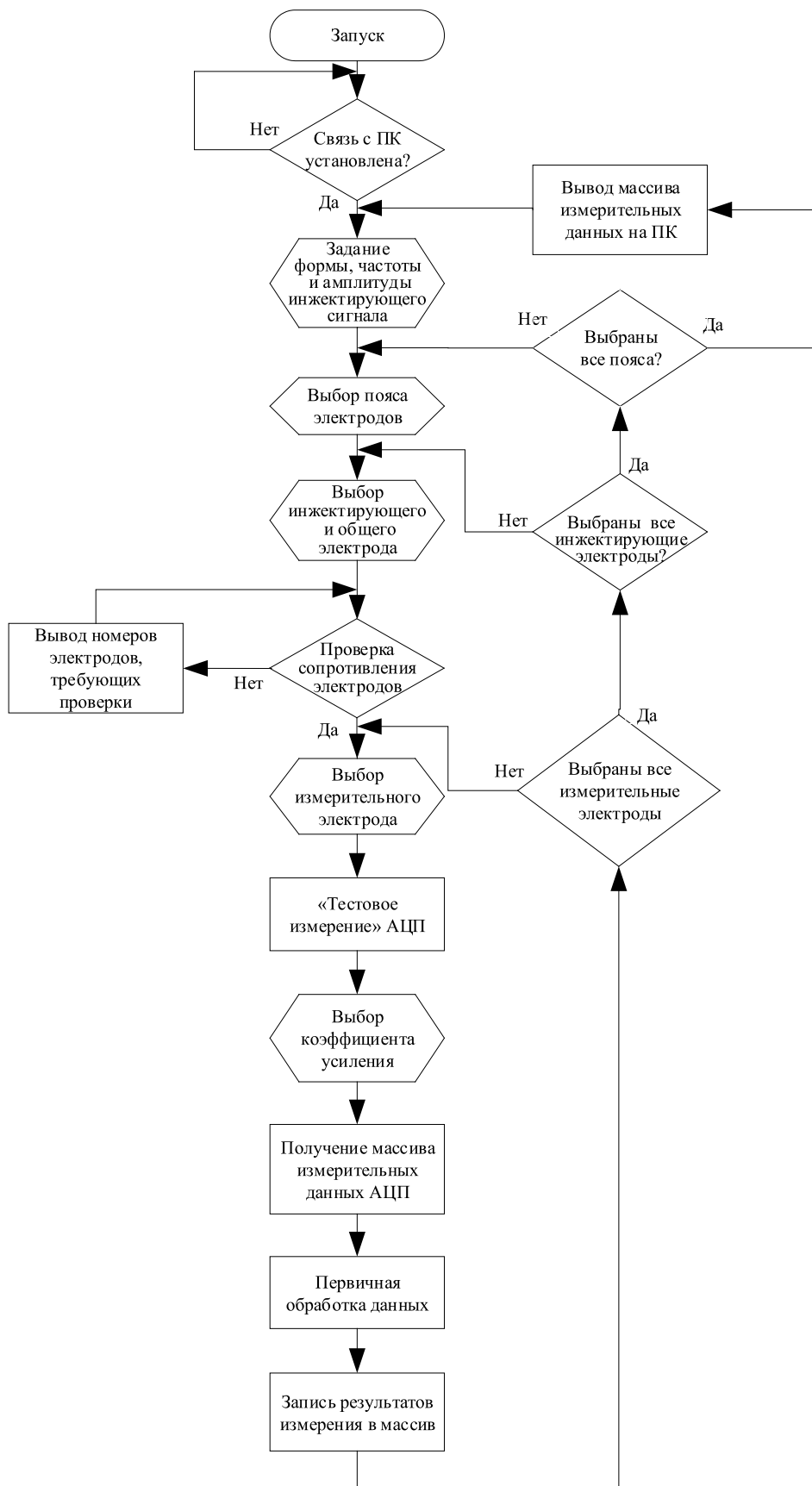


Рис. 3. Блок-схема общего алгоритма функционирования аппаратной части АПК ЭИТ

В работах [4–5] представлены разработанные ранее алгоритмы функционирования аппаратной части АПК ЭИТ, которые показали высокую эффективность для решения задач двухмерной ЭИТ. Однако учесть данные алгоритмы для реализации МРЭИТ не представляется возможным в связи с новыми техническими требованиями. Поэтому необходима разработка новых подходов и алгоритмов функционирования АПК для практической реализации метода МРЭИТ.

При этом разрабатываемый АПК ЭИТ должен иметь возможность управления процессом такого исследования, заключающуюся в возможности задания оператором автоматического режима работы комплекса с момента задания параметров исследования до получения конечного результата, который в каждом отдельном случае зависит от решаемых методом МРЭИТ задач.

Результаты исследования и их обсуждение

На основе сформированных требований разработана блок-схема общего алгоритма функционирования аппаратной части АПК ЭИТ, которая представлена на рис. 3.

Согласно разработанному алгоритму, блок измерения работает следующим образом: МК проверяет наличие подключения к ПК, в случае его отсутствия МК переходит в режим ожидания. В случае успешного подключения к ПК МК ожидает ввода следующих параметров измерения: амплитуда, частота и форма инжектирующего тока, а также количество задействованных электродных поясов, подключенных к ИО.

После задания параметров исследования производится проверка наличия электрического контакта поверхности исследуемого объекта и каждого электрода в составе выбранных поясов. Проверка контакта осуществляется путем измерения сопротивления между двумя соседними электродами, путем подключения соответствующих каналов коммутаторов и аналого-цифрового преобразователя (АЦП [7]). В случае, если сопротивление между выбранными электродами превышает заданное значение, МК выводит сообщение с номерами электродов, на которых обнаружено нарушение контакта, и переходит в режим ожидания устранения выявленных нарушений и сигнала возможности продолжения измерения.

В случае успешного подключения всех электродов производится тестовое измерение, блок-схема алгоритма которого представлена на рис. 4.

В результате тестового измерения определяется коэффициент усиления УИК, соответствующий диапазону измеряемого напряжения. Затем выполняется процедура основного измерения с выбранным коэффициентом усиления с проверкой полученных измерительных данных на

соответствие выбранному коэффициенту усиления. В случае выхода значений измеренных величин напряжения за заданные пределы процедура повторяется. При успешном завершении процедуры измерения на основе выбора коэффициента усиления УИК производится первичная математическая обработка измерительных данных с учетом коэффициента передачи всей измерительной цепи и выбранного значения коэффициента усиления УИК.

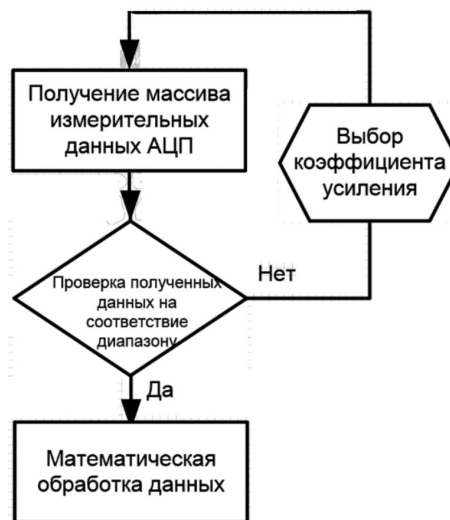


Рис. 4. Блок-схема алгоритма тестового измерения

В результате проведенного измерения и математической обработки измерительных данных производится запись в массив измерительных данных.

При завершении измерительных процедур во всех выбранных конфигурациях подключения инжектирующих и измерительных электродов, с помощью МК осуществляется выбор следующего электродного пояса и процедура повторяется заново. При достижении заданного числа электродных поясов МК завершает процедуру измерения и производит вывод полученных измерительных данных на ПК по линии *USB* [8], где производится их дальнейшая обработка. Производится очистка динамической памяти [9], выделенной под все массивы хранения измерительной информации, МК переходит в режим ожидания параметров следующего измерения.

Таким образом, в ходе работы реализовано автоматическое управление всем процессом получения измерительных данных методом МРЭИТ, а именно следующими процедурами:

- заданием параметров измерения;

- проверкой наличия электрического контакта выбранных электродов;
- переключения отдельных инжектирующих и измерительных каналов;
- управления параметрами инжектирующего тока;
- подбором коэффициента усиления;
- выводом полученных измерительных данных.

Выводы

В результате проведенных работ сформулированы требования к аппаратной части аппаратно-программного комплекса многокурсовой электроимпедансной томографии, разработана структурная схема измерительного устройства. На основе выдвинутых требований и структурных схем измерительного устройства разработан алгоритм общего функционирования аппаратной части комплекса, представлена блок-схема разработанного алгоритма.

Разработка позволяет реализовать автоматическое управление всеми процессами получения измерительных данных, от момента задания оператором параметров исследования до момента получения измерительных данных.

Работы выполняются в рамках гранта Президента Российской Федерации для

государственной поддержки молодых российских ученых МК-196.2017.8.

Список литературы

1. Пеккер Я.С., Бразовский К.С. Электроимпедансная томография. Томск: Изд-во НТЛ, 2004. 192 с.
2. Корженевский А.В. Электроимпедансная томография: исследования, медицинские приложения, коммерциализация // Альманах клинической медицины. 2006. № 12. С. 58.
3. Aleksanyan G., Shcherbakov I., Kucher A., Priyma M. Research of the conductivity of organic and inorganic media in multi-angle multi-frequency electrical impedance tomography. MATEC Web of Conferences. 2017. V. 132. DOI: 10.1051/mateconf/201713204008.
4. Алексанян Г.К., Кучер А.И., Демьянов В.В. Разработка общего алгоритма функционирования блока сбора и передачи данных для информационно-измерительной системы электроимпедансной томографии биологических объектов // Новая наука: Теоретический и практический взгляд. 2016. № 11–1. С. 3–5.
5. Алексанян Г.К., Кучер А.И., Демьянов В.В. Алгоритм функционирования информационно-измерительной системы электроимпедансной томографии биологических объектов // Проблемы внедрения результатов инновационных разработок: сборник статей международной научно-практической конференции, 2016. С. 9–11.
6. Васильев А.Е. Микроконтроллеры: разработка встраиваемых приложений. СПб.: БХВ-Петербург, 2008. С. 6–8.
7. Fraden J. Handbook of Modern Sensors: Physics, Designs, and Applications. Springer, 2010. P. 5.
8. What is a Universal Serial Bus (USB)? // Techopedia.com [Электронный ресурс]. URL: <https://www.techopedia.com/definition/2320/universal-serial-bus-usb> (дата обращения: 19.11.2018).
9. Godse A.P., Godse D.A. Advanced C Programming. Technical Publications. 2008. P. 6–28.