

короткое время, что способствует монодисперсности полученного продукта. Средний размер частиц магнетита полученного в условиях воздействия УЗ составлял 20-25 нм. Вторая характерная особенность материалов, полученных при ультразвуковом воздействии, – округлая форма частиц (отсутствие острых углов). Известно, что при многократном воздействии импульсных нагрузок и замыкании кавитационных пузырьков на поверхности уже образовавшихся частиц, имеющих неровности, микротрещины и сrostки, происходит отщепление выступающих участков материала. Кроме того, имеет место измельчение за счет соударения частиц порошка при их беспорядочном движении под действием ультразвука. При этом скорость измельчения увеличивается за счет увеличения числа соударений кристаллов друг о друга. В результате происходит диспергация частиц и сглаживание их поверхности. Этот момент очень важен в контексте применения магнетита при адресном терапевтическом воздействии. Например, для терапевтического лечения опухолей управляемой локальной гипертермией – методом, основанном на разогреве магнитных материалов, введенных в зону опухоли, электромагнитными полями. В этом случае необходимо, с одной стороны, локализовать наночастицы в заданной области, а с другой равномерно распределить их. И этим требованиям соответствуют материалы, синтезированные при наложении ультразвуковых колебаний, поскольку они имеют нанометрические размеры и форму близкую к сферической.

#### Список использованных источников

1. Першина, А. Г. Использование магнитных наночастиц в биомедицине / А. Г. Першина [и др.]. // Бюллетень сибирской медицины. – 2008. – № 2. – С. 70–78.
2. Biological applications of magnetic nanoparticles / M. Colombo [et al.] // Chem. Soc. Rev. – 2012. – Vol. 41, № 11. – P. 4306–4334.
3. Bonnemain, B. Superparamagnetic Agents in Magnetic Resonance Imaging: Physicochemical Characteristics and Clinical Applications, a Review/ B. Bonnemain // Journal of Drug Targeting . – 1998. – Vol. 6, No. 3. – P. 167-174.
4. Berryl, C. C. Functionalisation of magnetic nanoparticles for applications in biomedicine- Topical review / Catrine. C. Berryl , Adam S. G. Curtis // J. Phys. D: Appl. Phys. – 36 . – 2003. – R198–R206.
5. Applications of magnetic nanoparticles in biomedicine – Topical review // Q A Pankhurst [et al.] // J. Phys. D: Appl. Phys. – 36 . – 2003. – R167–R181.
6. Шут, В. Н. Морфология и дисперсность порошков магнетита, полученных при воздействии ультразвука / В. Н. Шут, С. Е. Мозжаров, В. Ф. Куксевич // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия С. Фундаментальные науки. Физика. – 2019. – № 4. – С. 96–100.

УДК 621.317.73

## РАЗРАБОТКА ПОРТАТИВНОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ ИМПЕДАНСА НА БАЗЕ МИКРОСХЕМЫ AD5933

**Джежора А.А., д.т.н., проф., Науменко А.М., к.т.н. доц., Леонов В.В., ст. преп., Темкин Д.А., студ.**

*Витебский государственный технологический университет,  
г. Витебск, Республика Беларусь*

*Реферат. В статье рассмотрена конструкция портативного измерителя импеданса на базе микросхем AD5933 и ESP32. Проведены испытания устройства при измерении омического и реактивного сопротивления. Установлено, что разработанный измеритель импеданса позволяет получать стабильные результаты при измеряемом импедансе от 4,5 до 250 кОм. При работе с малым импедансом  $Z = 1 - 4,5$  кОм и большим импедансом  $Z = 250$  кОм – 5 МОм необходимо отдельно проводить калибровку для каждого измерительного диапазона. Данные ограничения, однако, не являются решающими при проектировании устройств технологического контроля материалов и изделий.*

**Ключевые слова:** *электроемкостной преобразователь, относительная диэлектрическая проницаемость, измеритель иммитанса E7-20, адмиттанс.*

Измерение модуля и фазы или действительной и мнимой составляющих электрического импеданса требуется при решении многочисленных задач в научных исследованиях, технологическом контроле материалов и изделий, эксплуатационном контроле готовых изделий и т.д. В последние десятилетия в приборостроении наблюдается тенденция миниатюризации аппаратуры для персонального использования в диагностических целях.

Для измерения импеданса существуют специализированные приборы – измерители RLC и анализаторы иммитанса. Основное применение первых заключается в измерении отдельных составляющих импеданса (омической, емкостной или индуктивной), а также производных параметров – добротности и тангенса угла диэлектрических потерь. Анализаторы иммитанса позволяют измерять модули импеданса и адмиттанса. Однако данные приборы непригодны для построения носимой аппаратуры ввиду конструктивного исполнения и массогабаритных показателей [1].

Данная статья посвящена разработки портативного измерителя импеданса на базе микросхем AD5933 и ESP32 и анализу возможности его применения.

Функционально измеритель импеданса состоит из следующих блоков: генератор гармонического сигнала, анализатор напряжения и тока двуполюсника, блок обработки данных. Таким образом, измеряя амплитудное соотношение тока и напряжения, можно рассчитать модуль импеданса, а зная фазовую задержку между током и напряжением, можно вычислить аргумент импеданса. Построение анализатора с данным функциональным составом является технически сложной задачей.

В настоящее время существует решение в виде интегральной схемы AD5933 от производителя интегральной электроники Analog Devices. В данной микросхеме применяется метод цифровой обработки сигналов как для генерации тестового гармонического напряжения, так и для анализа тока двуполюсника. Микросхема AD5933 имеет все функциональные блоки, необходимые для построения измерителя импеданса. Среди основных характеристик можно отметить следующие:

- встроенный DDS-генератор с максимальной частотой 100 кГц и разрешением 0,1 Гц;
- наличие режима качающейся частоты;
- диапазон абсолютного значения модуля измеряемого импеданса 1 кОм – 1 МОм с возможностью расширения нижней границы до 100 Ом;
- системная погрешность 0,5 %;
- наличие интерфейса I2C для коммуникации с другими устройствами системы;
- широкий диапазон рабочих температур: от  $-40^{\circ}$  до  $+125^{\circ}$ С;
- миниатюрный корпус SSOP-16 (размеры менее 9×7 мм).

Для повышения точности измерений рекомендуется производить калибровку с некоторой периодичностью для уменьшения влияния изменения параметров окружающей среды на результат измерения. Для этого необходимо подключить в качестве измеряемого образца резистор известного номинала, осуществить измерение и вычислить модуль импеданса. Для широкого спектра частот импеданс резистора численно равен номиналу резистора, поэтому, сопоставляя данные величины, можно вычислить корректирующий множитель GF (Gain Factor по терминологии производителя) [2]:

$$GF = \frac{1}{R_{эт}} \cdot \frac{1}{\sqrt{Re^2 + Im^2}} = \frac{1}{R_{эт}} \cdot \frac{1}{M} \quad (1)$$

где  $R_{эт}$  – номинал калибровочного резистора, Ом;  $R_e$  и  $I_m$  – действительная и мнимая части измеренного адмиттанса соответственно в относительных единицах, См;  $M$  – измеренный адмиттанс (проводимость) в относительных единицах, См.

Данный коэффициент необходимо использовать при вычислении модуля импеданса в процедуре измерения:

$$|Z| = \frac{1}{GF} \cdot \frac{1}{\sqrt{Re^2 + Im^2}} = \frac{1}{GF} \cdot \frac{1}{M} \quad (2)$$

где  $|Z|$  – значение модуля импеданса измеряемого двуполюсника.

При работе над построением измерителя импеданса разработана схема микропроцессорного устройства, осуществляющего управление, обработку данных и передачу результатов по сети Wi-Fi. В качестве управляющего узла выбран микроконтроллер ESP32, разработанный компанией Espressif Systems. ESP32 представляет

собой систему на кристалле с интегрированным Wi-Fi и Bluetooth контроллерами.

В основе модуля лежит микросхема 2A7Z-ESPWROOM32. Встроенный чип разработан с учетом возможности масштабирования и адаптации. Центральный процессор содержит два ядра, которыми можно управлять индивидуально, а тактовая частота ЦП регулируется от 80 МГц до 240 МГц. Чип также имеет сопроцессор с низким энергопотреблением, который можно использовать вместо ЦП для экономии энергии при выполнении задач, не требующих больших вычислительных мощностей, таких как мониторинг состояния пинов. ESP32 объединяет богатый набор периферийных устройств, начиная от емкостных сенсорных датчиков, датчиков Холла, интерфейса SD-карты, Ethernet, высокоскоростного SPI, UART, I<sup>2</sup>S и I<sup>2</sup>C.

Разработка измерителя осуществлялась с использованием тестовых плат EVAL-AD5933EBZ и ESP-WROOM-32. Программа управления разработана в среде Arduino IDE, позволяет регулировать количество измерений, диапазон и шаг частоты сигнала. Обработанные данные передаются в виде HTML-файла по сети Wi-Fi.

Для оценки параметров измерителя проведены сравнительные испытания собранного прибора с лабораторным измерителем иммитанса E7-20 производства ОАО «МНИПИ» (Республика Беларусь). В качестве измеряемых образцов для проведения сравнительных испытаний выбраны радиокомпоненты, имеющие как чисто омическое сопротивление (резисторы)  $R = 1 \text{ кОм} - 5 \text{ МОм}$ , так и чисто реактивное (конденсаторы)  $C = 1,7 - 2200 \text{ пФ}$ ,  $X_C = 0,9 \text{ кОм} - 1,2 \text{ МОм}$ . Для всех компонентов измерен модуль импеданса на частоте 80 кГц. Результаты измерения представлены на рисунке 1.

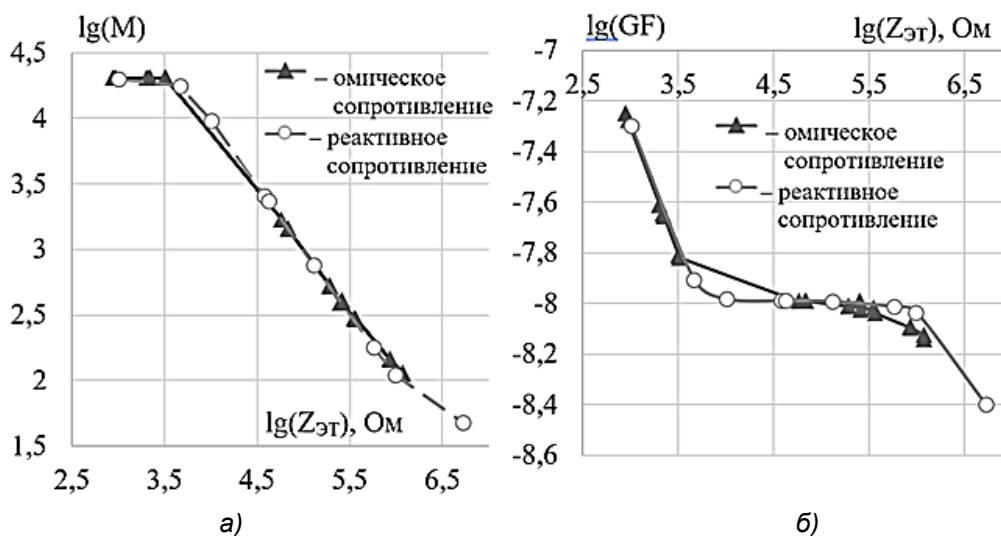


Рисунок 1 – Экспериментальные данные:  
 а) зависимость измеренного адмиттанса от эталонного сопротивления; б) зависимость корректирующего множителя от эталонного сопротивления

При проведении эксперимента измеренный адмиттанс варьировался от 43 до 20262 относительных единиц (о.е.). При значениях эталонного сопротивления  $Z_{ЭТ}$  менее 3кОм наблюдается нелинейный характер зависимости измеренного адмиттанса из-за высокого значения тока в измерительной схеме. При значениях  $3\text{кОм} < Z_{ЭТ} < 1\text{МОм}$  зависимость измеренного адмиттанса имеет линейный характер. При  $Z_{ЭТ} > 1\text{МОм}$  наблюдается низкие значения измеренного адмиттанса  $M < 100 \text{ о.е.}$ , что свидетельствует о высокой погрешности измерения. Нижняя граница полученных данных  $M = 43,0 \pm 0,4 \text{ о.е.}$  при  $Z_{ЭТ} = 4,64 \text{ МОм}$  близка к пределу измерения микросхемы AD5933, так как при разомкнутой измерительной схеме уровень сигнала составляет  $33,2 \pm 0,2 \text{ о.е.}$  Линейная зависимость корректирующего множителя  $GF = 1,04 \cdot 10^{-8} - 1,25 \cdot 10^{-8}$  наблюдается при значениях эталонного сопротивления  $Z_{ЭТ} = 4,5 - 250 \text{ кОм}$ . При  $Z_{ЭТ} < 4,5 \text{ кОм}$  происходит уменьшение корректирующего множителя до  $GF = 0,40 \cdot 10^{-9}$ . Это обусловлено высоким значением измеряемого тока, что приводит к увеличению нелинейности характеристик компонентов измерительной схемы. При  $Z_{ЭТ} > 250 \text{ кОм}$  происходит увеличение корректирующего множителя до  $GF = 5,65 \cdot 10^{-8}$  из-за низкого значения измеряемого тока.

По результатам эксперимента можно сделать вывод, что измеритель импеданса на базе микросхемы AD5933 позволяет получать стабильные результаты при измеряемом импедансе от 4,5 до 250 кОм. При работе с малым импедансом  $Z = 1 - 4,5$  кОм и большим импедансом  $Z = 250$  кОм – 5 МОм необходимо отдельно проводить калибровку для каждого измерительного диапазона. Данные ограничения, однако, не являются решающими при проектировании устройств технологического контроля материалов и изделий, в которых необходим мониторинг импеданса.

#### Список использованных источников

1. Базаев, Н. А. Особенности использования микросхемы AD5933 в качестве измерителя импеданса при проектировании малогабаритных систем / Н. А. Базаев, А. В. Пржиялговская, П. А. Руденко // Известия вузов. Электроника. – 2016. – Том 21. – № 3. – С. 279 – 285.
2. Образцов, С. А. Прецизионный конвертор импеданса AD5933 / С. А. Образцов, Ю. Б. Троицкий // Современная электроника. – 2009. – № 9. – С. 12–15.

УДК 004.6

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОГО ТЕСТИРОВАНИЯ В ПРОЦЕССЕ ОБУЧЕНИЯ ЛЮДЕЙ СТАРШЕГО ПОКОЛЕНИЯ

*Кабишева С.А., студ., Куксевич В.Ф., ст. преп.*

*Витебский государственный технологический университет,  
г. Витебск, Республика Беларусь*

Реферат. В статье рассмотрены вопросы реализации программ повышения компьютерной грамотности людей старшего поколения и, в частности, использование компьютерных тестовых систем при подготовке к началу обучения.

Ключевые слова: пожилые люди, компьютерная техника, интернет-технологии, компьютерная грамотность, программа обучения, автоматизированное тестирование.

В современных реалиях, когда проникновение интернет-технологий в повседневную жизнь человека стремительно растет, особую актуальность приобретает интеграция людей старшего поколения в интернет-среду. Статистика показывает, что в Республике Беларусь ежедневно выходят в интернет около 63 % пожилых женщин и 60 % пожилых мужчин [1].

Но если в экономически развитых западных странах представители старшего поколения используют все многообразие Интернет-продуктов, белорусские пенсионеры пользуются в основном электронной почтой, справочно-информационными сервисами и социальными сетями. Легче всего им удается поиск информации с помощью поисковых систем, просмотр видеофайлов в сети Интернет и общение в мессенджерах; сложнее – программы офисных пакетов персональных компьютеров, регистрация в различных сервисах и приложениях [2].

Главным мотивом освоения Интернет-технологий для пожилых людей является потребность в поддержании и расширении социальных контактов. В большинстве случаев коммуникация осуществляется с помощью IP-телефонии, являющейся более дешевым аналогом междугородней и международной телефонной связи. Поэтому технологии IP-телефонии приобретают все большую популярность среди людей старшего поколения, многие из которых к этому времени уже имеют родственников или друзей, в ближнем или дальнем зарубежье.

Таким образом, в настоящее время существует масса предпосылок приобщения представителей старшего поколения к информационным технологиям. Повышение компьютерной и информационной грамотности будет способствовать социальной активности, профессиональной ресоциализации и образованию пожилых людей, приведет к улучшению их социального самочувствия, положительно скажется на функционировании экономики, политики, семьи и других социальных институтов. Эти обстоятельства, несомненно, обуславливают важность развития любых образовательных проектов, связанных с повышением информационной культуры пожилых граждан.

Как показывает опыт геррагов, первыми инициаторами, а в дальнейшем учителями и