

УДК 621.317.73

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ МОТОРНОГО МАСЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОРТАТИВНОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ ИМПЕДАНСА

*Джежора А.А., д.т.н., проф., Науменко А.М., к.т.н. доц.,*

*Леонов В.В., ст. преп., Темкин Д.А., маг.*

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

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

**Реферат.** В статье рассмотрена конструкция портативного измерителя импеданса на базе микросхем AD5933 и ESP32. Разработана программа управления в среде Arduino IDE, позволяющая регулировать количество измерений, диапазон и шаг частоты сигнала. Обработанные данные передаются в виде HTML-файла по сети Wi-Fi. Для проведения исследований спроектирован электроемкостной преобразователь с открытой областью пространства. Проведено исследование относительной диэлектрической проницаемости синтетического моторного масла eni i-Sint MS 5W-30. По результатам эксперимента установлено, что относительная диэлектрическая проницаемость образцов отработанного масла на 1,5–4,5 % больше данного показателя нового масла. В результате эксперимента подтверждена целесообразность применения разработанного измерителя импеданса для диагностики состояния моторных масел.

К маслам для смазывания текстильного оборудования предъявляют специальные требования, когда оно находится в непосредственном контакте с пряжей, волокном или тканью. Маслянистые остатки, которые не удается полностью удалить, образуют пятна, препятствуют однородности окрашивания и снижают качество продукции. В качестве базовых масел применяют высокоочищенные технические белые масла, к которым добавлены ингибиторы окисления для гарантии увеличенного срока службы (до 5000 ч) и облегчения смывки даже после длительной работы. Высококачественные продукты обычно содержат присадки, способствующие удалению масляных пятен с ткани.

Важным требованием к маслам для текстильных машин является высокая стабильность. Образование осадков и повышение вязкости масла вследствие его старения недопустимы, с одной стороны, потому что в результате этого возрастают потери на трение, с другой стороны, вследствие сокращения срока службы масла и увеличения простоев оборудования из-за необходимости промывки и чистки от осадков, надежности и экономичности использования гидропривода.

При эксплуатации текстильных машин, рабочую жидкость меняют согласно установленным в технической документации нормам часов работы. Данная система не всегда учитывает все особенности эксплуатации оборудования. Это может привести к тому, что параметры рабочей жидкости достигнут предельных значений раньше установленных сроков замены. Применение диэлектрического метода контроля фактического состояния рабочей жидкости, является актуальным направлением повышения надежности и экономичности использования оборудования.

Данная статья посвящена исследованию диэлектрических характеристик моторных масел с помощью портативного измерителя импеданса.

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].

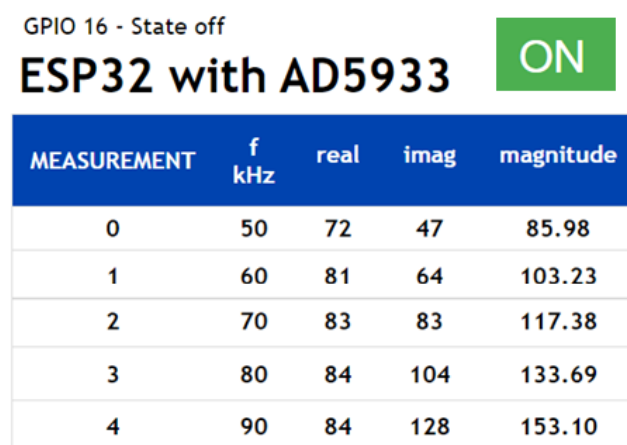
Функционально измеритель импеданса состоит из следующих блоков: генератор гармонического сигнала, анализатор напряжения и тока двухполюсника, блок обработки данных. Таким образом, измеряя амплитудное соотношение тока и напряжения, можно рассчитать модуль

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 двухполюсника.

При работе над построением измерителя импеданса в качестве управляющего узла выбран микроконтроллер ESP32, разработанный компанией Espressif Systems. ESP32 представляет собой систему на кристалле с интегрированным Wi-Fi и Bluetooth-контроллерами.

Разработка измерителя импеданса 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, показанного на рисунке 1. В таблице показаны: measurement – номер измерения; f kHz – частота измерения, кГц; real – действительная часть измеренного адмиттанса в относительных единицах, См; imag – мнимая часть измеренного адмиттанса в относительных единицах, См; magnitude – измеренный адмиттанс (проводимость) в относительных единицах, См.



MEASUREMENT	f kHz	real	imag	magnitude
0	50	72	47	85.98
1	60	81	64	103.23
2	70	83	83	117.38
3	80	84	104	133.69
4	90	84	128	153.10

Рисунок 1 – HTML-файл с результатами измерения

Способ измерения диэлектрической проницаемости моторного масла заключается в помещении исследуемого образца в емкость между электродами и измерении полученной емкости, которая будет отличаться от рабочей емкости конденсатора в воздухе.

Измеритель импеданса измеряет модули импеданса измерительной конденсаторной ячейки:

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

где Re и Im – действительная и мнимая части измеренного адмиттанса соответственно в относительных единицах, См; M – измеренный адмиттанс (проводимость) в относительных единицах, См; GF – корректирующий множитель.

Корректирующий множитель определяется с помощью калибровочного сопротивления с учетом используемого диапазона частот и импеданса [2]:

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

где  $R_{эт}$  – номинал калибровочного резистора, Ом.

Емкость емкостного датчика определяется по формуле

$$C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot Z} = \frac{GF \cdot M}{2 \cdot \pi \cdot f}. \quad (3)$$

Относительная диэлектрическая проницаемость определяется по формуле

$$\varepsilon_i = \frac{C_i}{C_0} = \frac{M_i}{M_0} \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot f \cdot GF}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot GF} = \frac{M_i}{M_0} \quad (4)$$

Для проведения исследований спроектирован электроемкостной преобразователь с открытой областью пространства. Датчик изготовлен из фольгированного стеклотекстолита марки СТФ-2-35 толщиной  $b = 0,15$  мм. Конструктивные размеры: ширина электрода 3,09 мм, ширина охранного электрода 0,39 мм, расстояние между электродами 0,41 мм, эффективная длина электродов 60,00 мм, число секций электродов 7.

В качестве объекта исследования использовалось синтетическое моторное масло Eni i-Sint MS 5W-30. Использовались образцы нового и отработанного масла. Отработанное масло эксплуатировалось не менее 5000 часов в нагруженном приводе.

Образцы масла объемом 200 мл помещались в прямоугольную емкость, посередине которой располагалась измерительная конденсаторная ячейка. Стенки емкости изготовлены из фольгированного стеклотекстолита. Вместе с крышкой они выполняли роль экрана Фарадея. Такая конструкция позволяет исключить влияние внешних электрических полей.

Измерения проводились с помощью разработанного измерителя импеданса на частоте 50–90 кГц. Рабочая емкость измерительного конденсатора в воздухе составила 1,265 пФ. Корректирующий множитель равен  $7,5 \cdot 10^{-9}$ . Измерения проводились при температуре 20,4 °С. Результаты измерения представлены на рисунке 2.

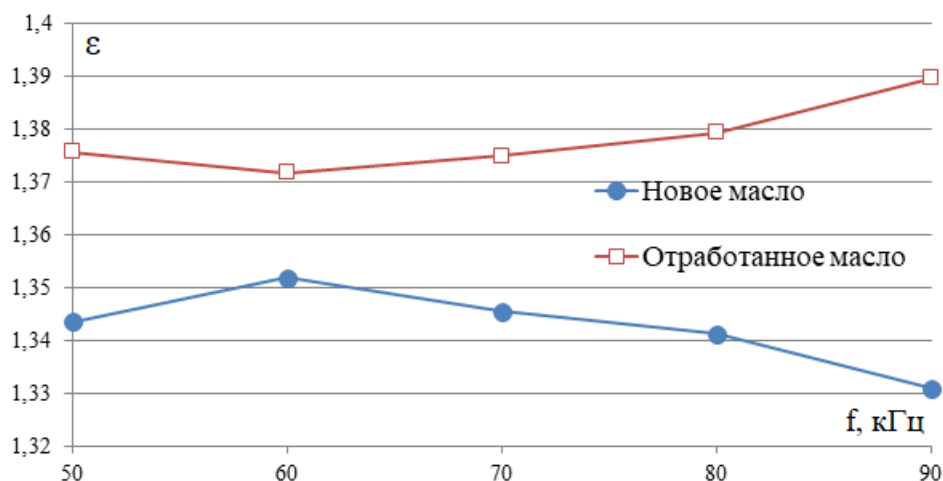


Рисунок 2 – Зависимость относительной диэлектрической проницаемости моторного масла от частоты электрического поля

По результатам эксперимента установлено, что относительная диэлектрическая проницаемость образцов отработанного масла увеличилась на 1,5–4,5 % по сравнению с образцами нового масла. Это обусловлено изменениями в составе масла, вызванными процессами окисления при повышенных температурах, обводнения и попадания продуктов износа трущихся деталей. В результате эксперимента подтверждена целесообразность применения разработанного измерителя импеданса для диагностики состояния моторных масел.

Выводы по работе:

1. Разработан измеритель импеданса с использованием тестовых плат EVAL-AD5933EBZ и ESP-WROOM-32. Разработана программа управления в среде Arduino IDE. Реализована передача данных в виде HTML-файла по сети Wi-Fi.

2. Спроектирован и изготовлен электроемкостной преобразователь с открытой областью пространства для проведения исследований образцов моторного масла.

3. Проведено исследование относительной диэлектрической проницаемости синтетического моторного масла марки Eni i-Sint MS 5W-30. Установлено, что в результате эксплуатации относительная диэлектрическая проницаемость масла увеличивается на 1,5–4,5 %. Подтверждена целесообразность применения разработанного измерителя импеданса для диагностики состояния моторных масел.

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 677.016.671

## РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ТАНГЕНЦИАЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕКСТИЛЬНЫХ ПОЛОТЕН

*Марущак Ю.И., студ., Петюль И.А., к.т.н., доц.,  
Ясинская Н.Н., д.т.н., доц., Ленько К.А., асп.*

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

**Ключевые слова:** туше, статический коэффициент тангенциального сопротивления, кинетический коэффициент тангенциального сопротивления, метод горизонтальной плоскости, неопределенность, заключительная отделка.

**Реферат.** В последние годы ведутся исследования по аппретированию текстильных материалов силиконовыми смягчителями, в ходе которых полотна и изделия приобретают дополнительную гладкость. Однако на сегодняшний день отсутствуют объективные методы оценки туше текстильных полотен. Результатом данной работы является разработанная методика определения коэффициента тангенциального сопротивления текстильных полотен на приборе FRT-F1. Разработанная методика может быть использована для оценки эффекта после умягчения текстильных полотен силиконовыми смягчителями и ферментсодержащими композициями, а также может быть применена при конфекционировании текстильных полотен. В рамках работы рассчитана расширенная неопределенность результата измерения по разработанной методике, которая составила  $\pm 0,02$  (при коэффициенте охвата 2 и вероятности охвата 0,95). По результатам проведения эксперимента с целью валидации методики измерения коэффициента тангенциального сопротивления в части исследования и установления показателей точности измерений установлены: стандартное отклонение повторяемости; предел повторяемости; стандартное отклонение воспроизводимости; предел воспроизводимости.

В системе оценки качества материалов и изготавливаемых из них швейных изделий отдельное место отводится показателям художественно-эстетических свойств материалов, таких как блеск, фактура поверхности, туше или гриф. Они оказывают эмоционально-эстетическое воздействие на человека при органолептическом восприятии с помощью зрения и осязания. Туше – впечатление, возникающее от осязания материала [1]. Для придания тканям приятного туше проводят обработку хлопчатобумажных и льняных тканей препаратами текстильной химии. Однако на сегодняшний день в Республике Беларусь отсутствуют объективные методы оценки туше текстильных полотен. Актуальной является задача разработки такой методики, с помощью которой можно было бы количественно оценить эффект после умягчения.

Основными документами в Республике Беларусь, распространяющимися на методики измерения и устанавливающими общие положения и требования, относящиеся к разработке, стандартизации методик измерений и метрологическому надзору (контролю) за ними, являются ГОСТ 8.010-2013; постановления Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь № 44 «Об утверждении Правил разработки и применения методик (методов) измерений»; № 43 «Об утверждении Правил осуществления метрологической оценки в виде работ по аттестации методик (методов) измерений»; № 61 «Об утверждении Методических рекомендаций по оформлению методик (методов) измерений» [2]. Методики измерения разрабатывают и применяют с целью обеспечить выполнение измерений с требуемой точностью.

Для описания туше необходимо учитывать поведение текстильного изделия при трении (тангенциальное сопротивление), основной характеристикой которого является коэффициент