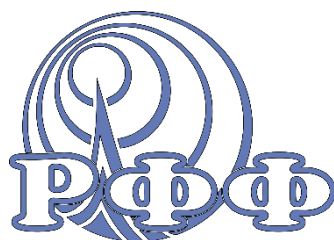


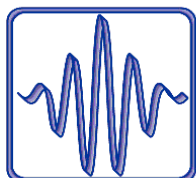


Национальный  
исследовательский

**Томский  
государственный  
университет**



Радиофизический факультет



9-я Международная научно-практическая конференция  
**Актуальные проблемы радиофизики**  
**АПР-2021**

Сборник трудов конференции

при поддержке:



20-22 октября 2021 года  
г. Томск

## Программно-аппаратный комплекс на платформе Agilent E4285A-LabVIEW для измерения диэлектрической проницаемости материалов конденсаторным методом

*Жуков Андрей Александрович*

*Журавлев Виктор Алексеевич*

*Атамасов Василий Викторович*

*Маленко Григорий Игоревич*

*Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия*

*E-mail: gyk@mail.tsu.ru*

Диэлектрическая проницаемость является важнейшим электрофизическим параметром материалов. Обычно, для ее измерения используется дорогостоящее оборудование. Для этих целей в настоящее время широко используются универсальные измерители, такие как LCR Agilent E4980A [1,2] и GW Instek LCR-78101G [3], которые позволяют получать данные о различных параметрах материалов с относительно высокой точностью.

Выбор измерительной платформы и программного обеспечения, используемого для сбора, обработки и передачи, принятых от измерительной аппаратуры данных, позволяет автоматизировать процесс измерений.

В настоящее время для взаимодействия измерительных комплексов с компьютером, ввода и обработки измеряемых параметров широко используется среда графического программирования LabVIEW. На основе этой среды программирования и прецизионного измерителя LCR Agilent E4285A авторами разработан программно-аппаратный комплекс для автоматизации процесса измерения диэлектрической проницаемости материалов. Внешний вид комплекса приведен на рис. 1.



*Рис.1 Внешний вид программно-аппаратный комплекса*

В качестве объектов для исследования были выбраны керамические подложки разной диэлектрической проницаемости с двухсторонней металлизацией медью и материал для СВЧ подложек фирмы «Rogers».

Измерения проводились конденсаторным методом [4]. Этот метод заключается в измерении емкости конденсатора и дальнейшем перерасчете по формулам (1) и (2) в мнимую и действительную части комплексной диэлектрической проницаемости [5]:

$$\varepsilon' = \frac{(\omega C_0)^{-1} Z''}{(Z')^2 + (Z'')^2}, \quad (1)$$

$$\varepsilon'' = \frac{(\omega C_0)^{-1} Z'}{(Z')^2 + (Z'')^2}, \quad (2)$$

где  $\varepsilon'$  и  $\varepsilon''$  – действительная и мнимая части диэлектрической проницаемости соответственно,  $Z'$  и  $Z''$  – действительная и мнимая части комплексного импеданса,  $C_0$  – ёмкость пустого конденсатора,  $\omega$  – циклическая частота.

В системе программирования LabVIEW был взят пример программы работы с прецизионным измерителем Agilent E4285A. Для проведения измерений частотной зависимости исследуемых образцов в эту программу были внесены изменения. Блок-диаграмма программы управления прецизионным измерителем Agilent E4285A приведена на рис. 2. Добавленные авторами блоки программы выделены нумерованными рамками. Блоки 1 и 4

создают папку для записи файла результатов измерений. Блок 2 позволяет изменять имя этого файла: в названии указывается либо номер образца, либо дату и время проведения измерения. Блок 3 реализует измерения для фиксированного уровня напряжения при изменяющейся частоте.

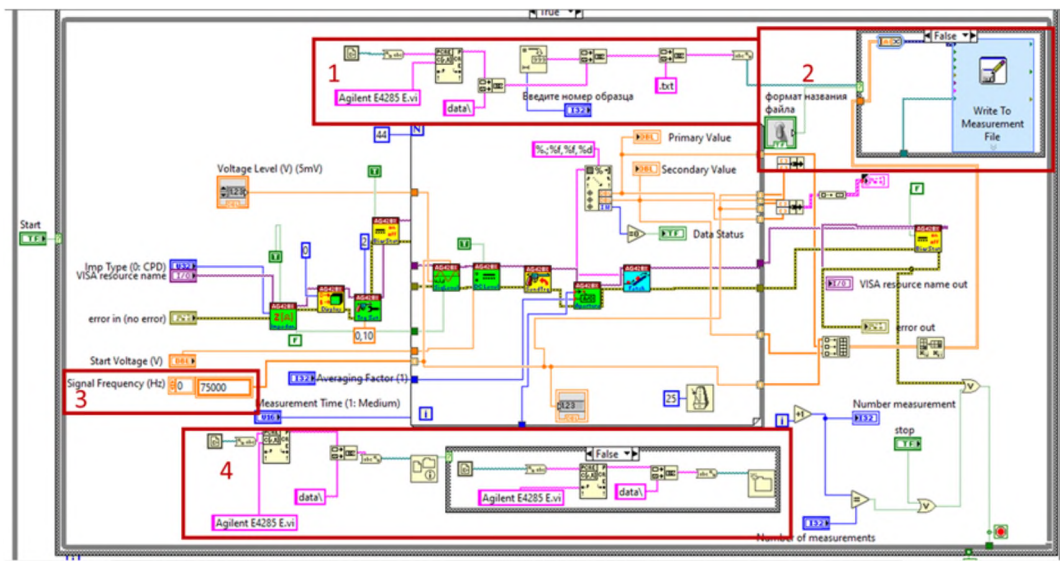


Рис.2 Блок-диаграмма программы управления прецизионным измерителем Agilent E4285A

Обработка результатов измерений производится отдельной программой. Блок-диаграмма программы обработки результатов измерений приведена на рис 3. В этой программе производится расчёт искомых величин, построение спектральных зависимостей действительной и мнимой частей комплексной диэлектрической проницаемости, создание папки и последующая запись конечных данных в файлы.

В программе задаются геометрические параметры образца. Значения действительной и мнимой частей импеданса, а также частот, на которых проводились измерения, программа считывает самостоятельно из файлов, полученных на первом этапе измерения. Результатом работы программы является создание на внешнем носителе папки с измеренными параметрами на калибровочных частотах прецизионного измерителя и построение на лицевой панели программы спектров действительной и мнимой части диэлектрической проницаемости исследуемого материала.

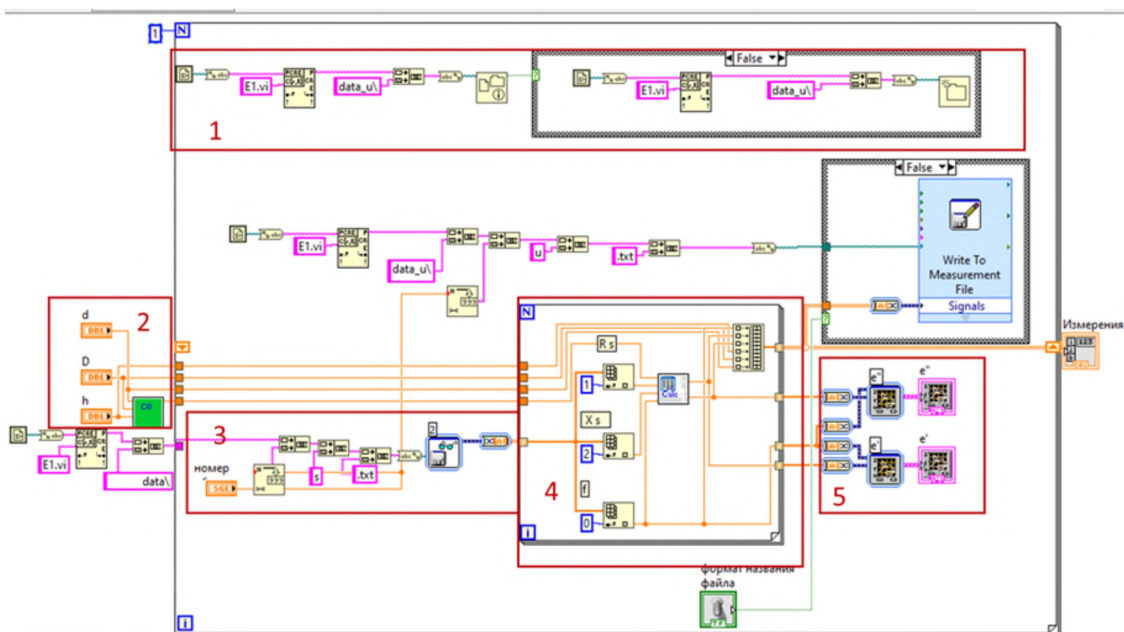


Рис.3 Блок-диаграмма программы обработки результатов измерений

Спектры действительной части диэлектрической проницаемости исследуемых образцов приведены на рис.

4.

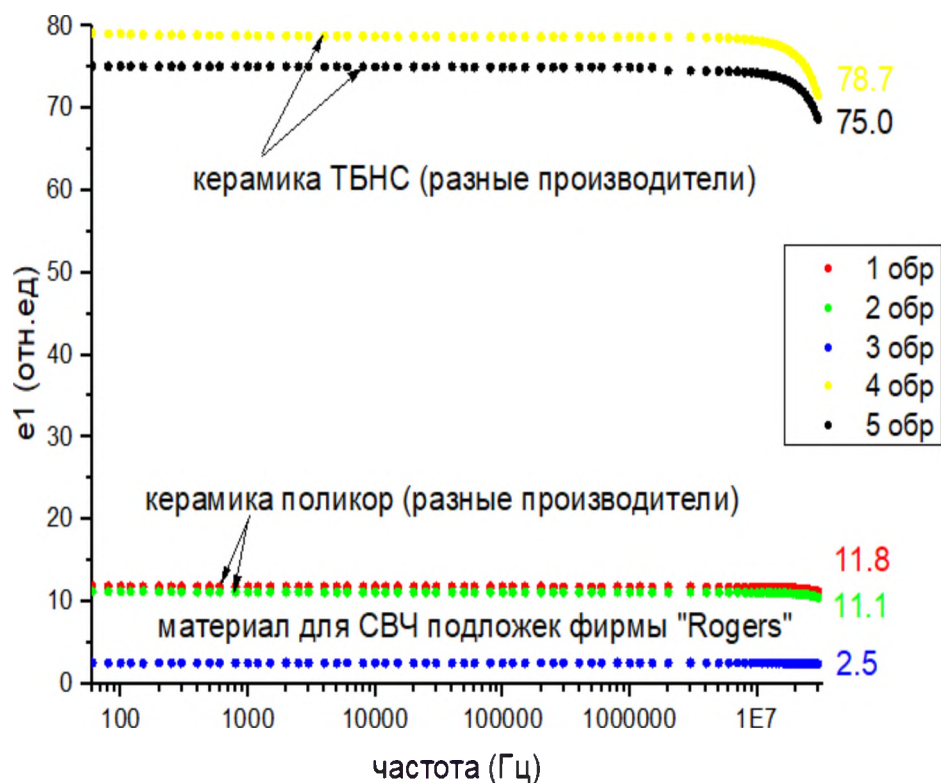


Рис.4 Спектры действительной части диэлектрической проницаемости исследуемых образцов

Так как объектами исследования являлись образцы, с известными границами значений комплексной диэлектрической проницаемости, то оценка погрешности измерений не производилась. Значения, измеренные программно-аппаратном комплексом, полностью попадают в эти границы, для каждого образца.

Разработанный программно-аппаратный комплекс для автоматизированного измерения спектров диэлектрической проницаемости в широком диапазоне частот на базе прецизионного измерителя LCR Agilent E4285A и среды проектирования виртуальных приборов LabVIEW значительно сокращает время проведения измерений.

Анализ полученных результатов показал возможность внедрения рассмотренного комплекса в реальный измерительный процесс.

Список публикаций:

- [1] Фролов К. О., Доценко О. А. // *NI academic days 2017. Москва. 2017. С. 8-10.*
- [2] Атамасов В. В., Жуков А. А., Маленко Г. И. // *Актуальные проблемы радиофизики (АПР 2019). VIII Международная научно-практическая конференция. 2019. С. 475-477.*
- [3] Шиганов А. // *Компоненты и Технологии. 2010. Т.6., №107. С. 150-151.*
- [4] Брандт А.А., Костиенко А.И., Плакше Л.Ю., Страхова Т.С. *Исследование диэлектриков на сверхвысоких частотах. М.: Изд-во физ.-мат. лит., 1963. 404с.*
- [5] Журавлев В. А., Суляев В. И., Журавлев А. В., Коровин Е. Ю. // *Известия высших учебных заведений. Физика. 2017. Т.60, № 11. С. 40-46.*