

**Д. С. Губский**, канд. физ.-мат. наук, **В. В. Земляков**, канд. физ.-мат. наук,  
**И. В. Мамай**, **Г. П. Синявский**, д-р физ.-мат. наук (Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону);  
e-mail: ds@sfedu.ru

## КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИБОРОВ И УСТРОЙСТВ ДЛЯ ВИРТУАЛЬНЫХ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

*Предложен способ компьютерного моделирования и разработан пакет программ для построения виртуальных лабораторных работ. Созданная виртуальная лабораторная работа имеет интерфейс реальных измерительных приборов, моделирует их поведение и позволяет исследовать характеристики построенной модели изучаемого сверхвысокочастотного устройства.*

**Ключевые слова:** компьютерное моделирование; виртуальная лаборатория; компьютерные симуляторы; дистанционные лабораторные работы.

**D. S. Gubsky**, Cand. of Phys. and Mat. Sc., **V. V. Zemlyakov**, Cand. of Phys. and Mat. Sc.,  
**I. V. Mamay**, **G. P. Sinyavsky**, Dr of Phys. and Mat. Sc. (Southern Federal University, Rostov-on-Don)

## COMPUTER SIMULATION OF THE DEVICES FOR VIRTUAL LABORATORY WORKS

*The computer simulation of operating principles of measurement equipment and microwave devices is of great importance in engineer education. It is also significant that virtual laboratory works can find their application in distance and online education and has no limits in a number of working places. First of all, virtual laboratory works should be aimed at studying physical processes of test devices and training students to operate laboratory equipment which means that there must be practically no difference in front panel view, interface and execution order between the «real» laboratory work and virtual one.*

*In this paper the technology of making computer simulations of microwave equipment, devices and special laboratory works is presented together with its realization by high-level programming language C++, also with using cross-platform application framework Qt.*

*Simulated laboratory has a module structure. Any laboratory work comes with measurement units and test devices combined in a single installation. Each measurement unit could be described with the set of input and output signals. Additionally, each measurement unit has determined functions. The microwave test devices also have those functions and sets of signals.*

*Each device's module is an autonomous software element. For this reason the functionality of software package is easily expandable and depends only on module set.*

*As an example the laboratory work for study the parameters of microwave filter was described. It consists of Sweep Frequency Generator, VSWR/Attenuation Scope and filter model. The preparation and measurement processes for this installation are discussed in detail.*

**Keywords:** Computer simulation; Virtual laboratory; Modeling; Remote laboratory works.

### Введение

Компьютерное моделирование работы измерительного оборудования и различных устройств позволяет создавать симуляторы приборов, практически не отличающиеся от своих «реальных» аналогов. Виртуальные лабораторные установки должны демонстрировать поведение измерительных приборов, исследуемых устройств и их взаимодействие в объеме, достаточном для получения навыков обращения с измерительной аппаратурой и изучения основных физических свойств исследуемых устройств. В связи с этим компьютерное моделиро-

вание измерительного оборудования и многообразных устройств является необходимым для различных областей науки и практической деятельности.

В научной литературе особое внимание уделяется лабораторным работам, допускающим компьютерное моделирование различных процессов и их дистанционное выполнение с помощью использования современных интернет-технологий, что позволяет создавать лабораторные практикумы, стенды с удаленным доступом [1 – 3] и проводить научные исследования на сложном оборудовании. Некоторые публикации посвящены вопросам организа-

ции виртуальных научных лабораторий [4] и применению различных современных облачных технологий [5, 6], где показывается возможность использования полученных результатов в учебном процессе.

Рассмотрим способ компьютерного моделирования измерительных приборов и специальных устройств, позволяющий разрабатывать легко модернизируемые и расширяемые виртуальные лаборатории, предназначенные для изучения специальных устройств и получения навыков работы с измерительным оборудованием. В основу построения компьютерной модели положен подход, аналогичный созданию обычных лабораторных работ, т.е. соединению определенным образом в единое целое измерительных приборов и изучаемых устройств [7, 8]. При этом каждое из реальных устройств обладает определенными свойствами (функционалом), поэтому моделируемая лаборатория имеет модульную структуру, а каждый модуль устройства является самостоятельным компонентом.

### Принцип построения модулей программы

При создании модулей устройств и приборов учитывается, что каждый реальный прибор или исследуемое устройство обладает набором входных и выходных сигналов, например, индикаторный блок получает сверхвысокочастотный сигнал от изучаемого устройства и сигналы управления от *генератора качающейся частоты (ГКЧ)*. При этом они выполняют определенные действия, преобразовывая входные сигналы в выходные или осуществляя их визуализацию (например, на экране приборов, различных индикаторах), т.е. выполняют какую-то функцию. Такими же функциями и наборами сигналов обладают и изучаемые устройства (например, на вход фильтра поступает сигнал определенной частоты и мощности и преобразуется в выходной сигнал в соответствии с функцией фильтра).

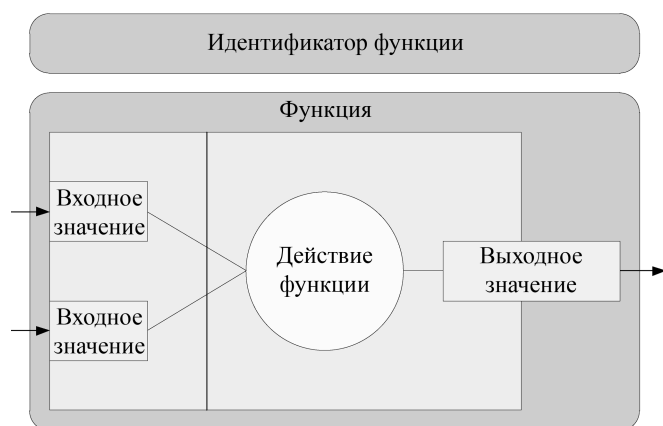


Рис. 1. Абстрактный метод-функция

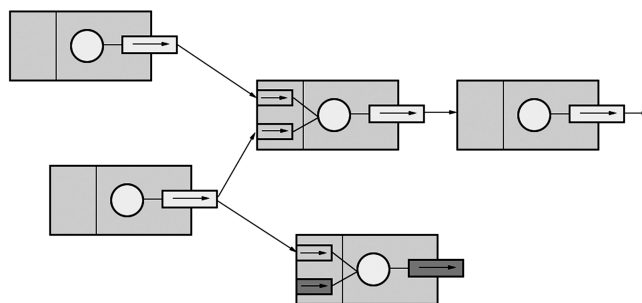


Рис. 2. Пример взаимодействия функций и передача сигналов

Для описания приборов и устройств разработан абстрактный метод-функция (рис. 1), описывающий выполнение определенных действий над входными сигналами на основе собственных параметров.

Связь между функциями осуществляется по типу «многие ко многим». Функция не выполняет никаких действий до тех пор, пока ей не будет сообщена информация о всех необходимых для работы входных сигналах. Таким образом, возможно построение цепочек и деревьев функций, где первые звенья независимы, а последующие рекурсивно зависят от всех предыдущих. На рис. 2 проиллюстрирован пример взаимодействия функций и передача сигналов.

При таком подходе любое изучаемое устройство, измерительный прибор в представлении программы рассматриваются в виде некоей абстрактной сущности с определенным набором свойств (тип устройства, входные и выходные сигналы, выполняемые преобразования и т.д.) и заданным поведением по отношению к другим устройствам.

При компоновке устройств в единую лабораторную работу устанавливается соответствие между входными сигналами устройства-приемника и выходными устройства-источника. Таким образом, любой входной сигнал устройства, в отличие от выходных, является не самостоятельным объектом, а указателем на выходной сигнал другого устройства, что позволяет произвольным образом подключать устройства между собой. Способ, которым выходные значения входных сигналов передаются выходным, зависит исключительно от конкретных реализаций устройств. Модули создаваемых устройств являются динамически подключаемыми библиотеками с единым экспортируемым интерфейсом.

### Программная реализация виртуальной лаборатории

Рассматриваемый комплекс программ создан на языке высокого уровня C++ с использованием Microsoft Visual Studio 2010 и пакета разработки приложений и пользовательского интерфейса Digia Qt 5.1.0. Ввиду малого объема хранимой информа-

ции и отсутствия большой нагрузки использована база данных SQLite 3.7.

Ядром пакета, ответственным за создание и выполнение лабораторных работ, а также составляющих программный интерфейс пользователя являются модули компоновщика и визуализатора, которые независимы и программно не связаны друг с другом.

*Компоновщик* – один из модулей ядра пакета, ответственный за создание и редактирование лабораторных работ. При его запуске модуль инициализации по очереди загружает все доступные модели устройств (динамически подключаемые библиотеки), образует для каждого из них временный экземпляр объекта и получает всю необходимую информацию (тип устройства, название, набор выходных сигналов, список доступных входных сигналов). При таком подходе добавление нового устройства в лабораторию сводится к разработке компьютерной модели устройства и копированию соответствующей ему динамически подключаемой библиотеки в рабочий каталог ранее установленной программной оболочки. После обработки существующих в системе устройств компоновщик отправляет запрос модулю взаимодействия с базой данных, и при получении ответа формирует список хранящихся в системе лабораторных работ. При этом осуществляется проверка динамически подключаемых модулей.

На следующем этапе работы компоновщик предлагает пользователю в диалоговом режиме возможность выбора существующей лабораторной работы для редактирования или создание новой. При этом программный модуль попросит пользователя ввести название работы, указать путь к файлу методического руководства, выбрать необходимые для включения в состав работы устройства, список которых сформировался ранее. После выбора устройств пользователю становится доступным режим установки соединений между ними, для этого им выбирается устройство, его тип, а для входных и выходных сигналов указываются устройства – при-

емник и источник. Таким образом, реализуется соединение устройств и создание новой лабораторной установки (аналог соединения сигналов и функций, см. рис. 2). При сохранении лабораторной работы все данные записываются в специально созданную базу и могут быть использованы компоновщиком при следующем запуске.

*Визуализатор* получает всю нужную информацию из базы данных, предоставляет возможность выбора лабораторной работы и отображает ее интерфейс. После выбора пользователем конкретной работы происходит обращение к модулю взаимодействия с базой данных, в ответе которой содержится информация о списке устройств и всех соединениях между ними. Далее выполняется загрузка требуемых модулей, создание необходимого числа экземпляров устройств и последующее их соединение указанным ранее способом. Затем отображается пользовательский интерфейс устройств (лабораторной работы) и передается управление данным программным модулям.

Таким образом, общий функционал пакета легко расширяется и зависит исключительно от набора модулей устройств, которые легко добавляются в систему и представляют собой динамически подключаемые библиотеки.

В качестве примера рассмотрим создание виртуальной лабораторной работы для исследования амплитудно-частотных характеристик различных устройств. Для этого разработаны интерфейсы абстрактных измерительных приборов: ГКЧ, индикаторный блок и исследуемое устройство, представленное как некий «черный ящик».

Из данных приборов скомпонуем простейшую лабораторную работу, структурная схема которой показана на рис. 3. «Черный ящик» представляет собой некоторое исследуемое устройство, вся логика работы которого заключена в его выходных сигналах, изучаемых в лабораторной работе. Исходными данными для выходных сигналов «черного ящика» в общем случае служат: аналитические преобразования значений входных сигналов; сохраненные в специальном унифицированном виде экспериментальные данные; расчетные данные сторонних пакетов моделирования различных устройств.

Под аналитическими преобразованиями значений входных сигналов понимается программная реализация изменения входных значений на основе какого-

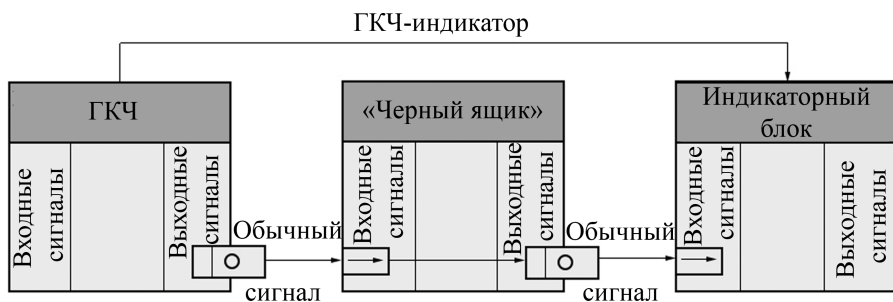


Рис. 3. Структурная схема простейшей лабораторной работы

либо аналитически выраженного закона. Экспериментальные или расчетные данные удобно представлять в бинарном виде, что значительно ускоряет и облегчает произвольный доступ к конкретным значениям. Конечный формат таких данных, в общем случае, зависит от наборов полученных значений и их числа. Так как набор полученных значений является дискретным, для адекватного построения амплитудно-частотной характеристики необходимо применять интерполяцию. В большинстве случаев для получения промежуточных значений достаточно построения интерполяционного многочлена Ньютона второй степени. Алгоритмы реализуются в модуле конкретного устройства, создаваемого на базе абстрактного «черного ящика».

**Пример реализации лабораторной работы**

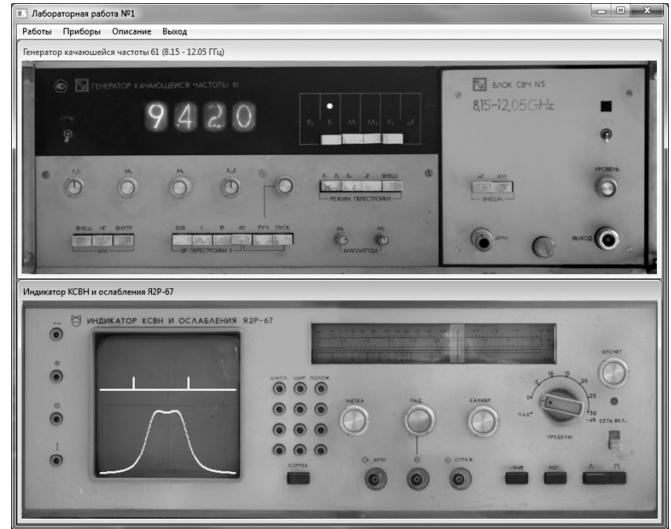
Для построения простейшей лабораторной работы созданы компьютерные модели генератора качающейся частоты ГКЧ-61, индикатора *коэффициента стоячей волны по напряжению (КСВН)* и ослабления Я2Р-67 и изучаемое устройство – микрополосковый резонатор.

ГКЧ-61 имеет единственный выходной сигнал, который подается на вход изучаемого устройства. Во время выполнения работы пользователю доступны следующие манипуляции с прибором: изменение значений начальной, конечной частот развертки и частоты меток; переключение между отображаемыми значениями на цифровом дисплее прибора (отображаются начальная или конечная частоты развертки или меток). Для управления разверткой индикаторного блока предусмотрен специальный тип соединения устройств «ГКЧ-индикатор».

На основе абстрактного индикаторного блока создана компьютерная модель прибора «Индикатор КСВН и ослабления Я2Р-67». Для работы устройству необходимо подключение одного входного сигнала, функция которого и будет построена на области отображения (на экране электронно-лучевая трубка). Во время работы пользователь может изменять положение измерительной линии и пределы измерений, амплитуду меток, при этом величина затухания будет отмечена на соответствующем табло.

После выбора и запуска лабораторной работы на экране компьютера отображается пользовательский интерфейс измерительных приборов (рис. 4).

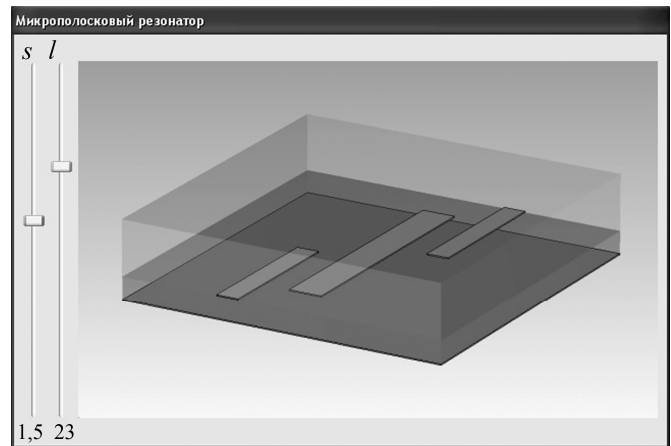
Исследуемая модель микрополоскового резонатора представляет собой отрезок волновода с диэлектрической подложкой, на которой расположены три металлических проводника. С помощью



**Рис. 4. Пользовательский интерфейс измерительных приборов**

пакета проектирования CST Microwave Studio рассчитываются элементы матрицы рассеяния изучаемого многополюсника (*S*-параметры) при изменении длины *l* и ширины *s* среднего проводника.

Полученный набор расчетных данных для различных геометрических размеров обработан и представлен в бинарном виде. Интерфейс модели микрополоскового резонатора (рис. 5) разрешает пользователю изменять длину и ширину среднего проводника, после чего из бинарного файла выбирается нужный набор *S*-параметров, который обрабатывается соответствующим образом и отображается на экране блока «Индикатор КСВН и ослабления Я2Р-67». Далее пользователь, используя органы управления индикаторного блока, проводит необходимые измерения (например, величину затухания, полосу рабочих частот), исследует их зависимость от геометрических размеров резонатора.



**Рис. 5. Интерфейс модели микрополоскового резонатора**

### Заключение

Таким образом, предложен способ моделирования измерительных приборов и устройств, разработан программный пакет построения виртуальной лабораторной работы, которая может быть использована в обучающем процессе в качестве интерактивного пособия. Компьютерные модели измерительных приборов, входящих в состав лабораторной установки, с точки зрения пользователя идентичны реальным устройствам.

### Библиографический список

1. **Матлин А. О., Фоменков С. А.** Модель виртуальной лабораторной работы в автоматизированной системе создания интерактивных средств обучения // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2012. № 9. С. 56 – 59.
2. **Автоматизированная** сетевая учебно-научная лаборатория по спектроскопии плазмы / А. М. Зимин и др. // Информационные технологии. 2011. № 6. С. 72 – 78.
3. **Current Trends in Remote and Virtual Lab Engineering.** Where are we in 2013? / S. Seiler et al. // *International Journal of Online Engineering*. 2013. V. 9, № 6. P. 12 – 16.
4. **Наумова В. В.** Виртуальные научные среды для обеспечения совместной работы территориально распределенных научных сотрудников // Информационные технологии. 2013. № 4. С. 46 – 51.
5. **Remote Laboratories – A Cloud Based Model for Teleoperation of Real Laboratories** / C. M. Markan et al. // *International Journal of Online Engineering*. 2013. V. 9, № 2. P. 36 – 43.
6. **Черемисина Е. Н., Антипов О. Е., Белов М. А.** Роль виртуальной компьютерной лаборатории на основе технологии облачных вычислений в современном компьютерном образовании // Дистанционное и виртуальное обучение. 2012. № 1. С. 50 – 64.
7. **Gubsky D. S., Mamay I. V., Zemlyakov V. V.** Virtual Laboratory for Microwave Devices // *Progress In Electromagnetics Research Symposium (PIERS)*. Stockholm, Sweden, Aug. 12 – 15, 2013. P. 527 – 530.

8. **Object-Oriented Approach to Software Implementation of Virtual Laboratory Workshop** / D. S. Gubsky et al. // *Proceedings of IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2013)*. Rostov-on-Don, Russia, September 27 – 30, 2013. P. 239 – 242.

### References

1. Matlin A. O., Fomenkov S. A. (2012). Model of a virtual laboratory work in the automated system of interactive learning tools creation. *Vestnik komp'iuternykh i informatsionnykh tekhnologii*, (9), pp. 56-59.
2. Zimin A. M. et al. (2011). Automated network of educational-scientific laboratory for plasma spectroscopy. *Informatsionnye tekhnologii*, (6), pp. 72-78.
3. Seiler S. et al. (2013). Current trends in remote and virtual lab engineering. Where are we in 2013? *International Journal of Online Engineering*, 9(6), pp. 12-16. doi: 10.3991/ijoe.v9i6.2898
4. Naumova V. V. (2013). Virtual research environment for ensuring collaboration between geographically distributed scientific employees. *Informatsionnye tekhnologii*, (4), pp. 46-51.
5. Markan C. M. et al. (2013). Laboratories – a cloud based model for teleoperation of real laboratories. *International Journal of Online Engineering*, 9(2), pp. 36-43. doi: 10.3991/ijoe.v9i2.2491
6. Cheremisina E. N., Antipov O. E., Belov M. A. (2012). The role of virtual computer laboratory based on cloud computing in modern computer education. *Distantionnoe i virtual'noe obuchenie*, (1), pp. 50-64.
7. Gubsky D. S., Mamay I. V., Zemlyakov V. V. (2013). *Virtual Laboratory for Microwave Devices*. Progress In Electromagnetics Research Symposium (PIERS). Stockholm, Sweden, Aug. 12 – 15, 2013, pp. 527 – 530.
8. D. S. Gubsky et al. (2013). *Object-Oriented Approach to Software Implementation of Virtual Laboratory Workshop*. Proceedings of IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2013). Rostov-on-Don, Russia, September 27 – 30, 2013, pp. 239-242.

Статья поступила в редакцию 03.07.2013 г.