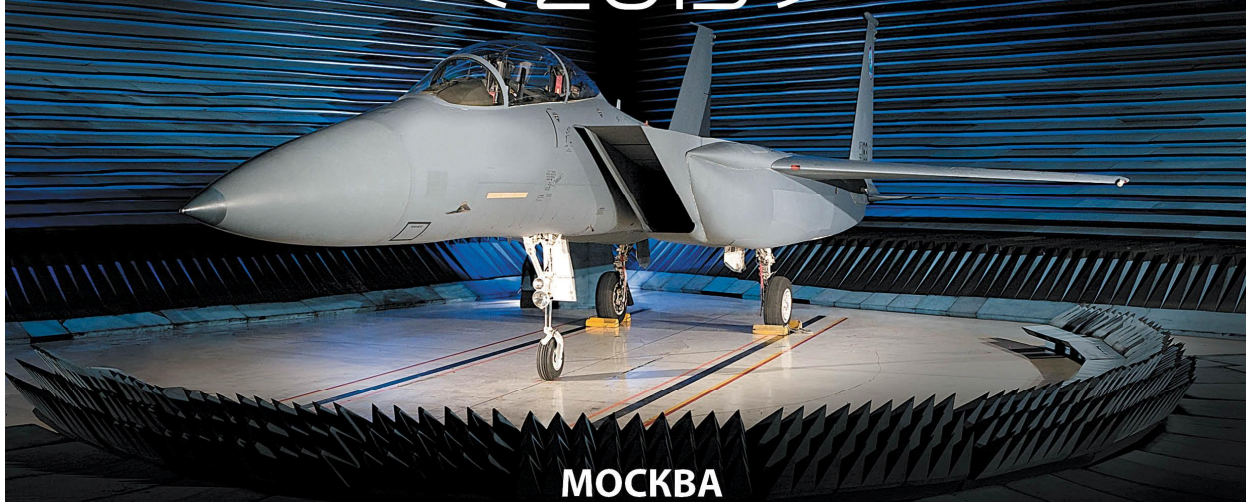


II-я ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
ТЕХНОЛОГИИ, ИЗМЕРЕНИЯ И ИСПЫТАНИЯ  
В ОБЛАСТИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ  
СОВМЕСТИМОСТИ



МОСКВА

1 – 2 апреля 2015 г.



**Организаторы конференции:**

Федеральное агентство  
по техническому регулированию и метрологии

ТК 30 «Электромагнитная совместимость»

Компания «Диполь»

Московский институт электроники и математики  
НИУ «Высшая школа экономики»

Метрологическая ассоциация промышленников  
и предпринимателей

ЗАО «НИЦ «САМТЭС»

TESEQ

Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии  
Метрологическая ассоциация промышленников и предпринимателей  
Технический комитет по стандартизации  
ТК 30 «Электромагнитная совместимость»  
Московский институт электроники и математики НИУ ВШЭ  
Компания «ДИПОЛЬ»  
ЗАО Научно-испытательный центр «САМТЭС»  
TESEQ

II Всероссийская  
научно-техническая конференция

**ТЕХНОЛОГИИ, ИЗМЕРЕНИЯ И ИСПЫТАНИЯ  
В ОБЛАСТИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ**

**ТехноЭМС 2015**

**ТРУДЫ КОНФЕРЕНЦИИ**

г. Москва  
1–2 апреля 2015 г.

УДК 621.396.61

ББК 32.811.7

Т 38

Т 384

Технологии, измерения и испытания в области электромагнитной совместимости.  
Труды II Всероссийской НТК «Техно-ЭМС 2015», Москва 1–2 апреля 2015 /Под ред. А.С.  
Кривова, Л.Н. Кечиева – М.: Грифон, 2015. – 121 с.

ISBN 978-5-98862-231-4

В сборнике приведены материалы II Всероссийской конференции «Техно-ЭМС 2015», посвященной технологии, измерениям и испытаниям в области электромагнитной совместимости.

Сборник предназначен для специалистов в области проектирования технических средств, электромагнитной совместимости, а также занимающихся испытаниями и измерениями в этой области.

Редакционная коллегия:

д.т.н., проф. Кривов А.С.  
д.т.н. Смирнов А.П.  
д.т.н., проф. Кечиев Л.Н.

Информационная поддержка:

Журнал «Технологии ЭМС»  
Журнал «Приборы»

УДК 621.396.61

ББК 32.811.7

© А.С. Кривов, Л.Н. Кечиев  
составление, редактирование

ISBN 978-5-98862-231-4

Статьи рецензируются. Статьи опубликованы в авторской редакции. Мнение членов редакционной коллегии может не совпадать с точкой зрения авторов публикаций. Перепечатка материалов допускается только с письменного разрешения редакции. Рукописи не возвращаются.



Кечнев Л.Н., Крючков Н.М.

НИУ «Высшая школа экономики», МИЭМ, г. Москва;

Тел.: +7(985)723-02-80; e-mail: [klm1940@gmail.com](mailto:klm1940@gmail.com), [krug64@gmail.com](mailto:krug64@gmail.com)

Кузнецов В.В.

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Калуга

Тел.: +7(962)179-21-94; e-mail: [ra3xdh@gmail.com](mailto:ra3xdh@gmail.com)

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВОБОДНОГО ПО QUCS ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА ПО КУРСУ «ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ РЭС»

Традиционно при подготовке студентов специальностей, связанных с электроникой и радиотехникой используется моделирование электронных схем на ПК. Это позволяет наглядно продемонстрировать работу электронного устройства и провести измерения, без физического измерительного оборудования.

Многие учебные заведения сейчас переходят на лицензионное программное обеспечение (ПО), т.к. использование в учебном процессе нелегального (т.е. незаконного) ПО вызывает вопросы у проверяющих органов [1, 2].

Лицензии на программное обеспечение в целом делятся на две большие группы: несвободные (собственнические, они же проприетарные; и полусвободные) и лицензии свободного и открытого ПО. Их различия сильно влияют на права конечного пользователя в отношении использования программы [3].

Поэтому в учебном процессе, все больше, используется проприетарное (коммерческое) ПО для схемотехнического моделирования: MicroCAP, MultiSim, OrCAD и т.п. Всё это сложные программные комплексы стоимостью несколько тысяч долларов. И применение их в учебном процессе для выполнения лабораторных работ, на наш взгляд, не всегда оправдано. В последние годы им появилась альтернатива — легковесная САПР для моделирования электронных схем Qucs [4, 5, 6]. Qucs относится к классу свободного ПО и распространяется бесплатно с открытым исходным кодом. Название проекта расшифровывается как Quite Universal Circuit Simulator (почти универсальный симулятор схем). Разработчиками Qucs являются сотрудники Берлинского института высокочастотной техники M. Margraf и S. Jahn. В настоящее время руководителем проекта являются F. Schreuder (Нидерланды) и G. Tomi (Италия). Текущей версией проекта является 0.0.18. В настоящее время ведётся подготовка к релизу версии 0.0.19. Все желающие могут предложить изменения для исходного кода программы. Система является кроссплатформенной и работает под управлением ОС Linux и Windows. Для достижения наилучших результатов рекомендуется использовать ОС Linux.

Qucs позволяет проводить следующие виды моделирования:

1. Моделирование на постоянном токе (DC analysis).
2. Моделирование в частотной области (AC analysis).
3. Моделирование во временной области (Transient analysis).
4. Параметрический анализ (Parameter sweep).
5. Моделирование S-параметров в частотной области (S-parameter).
6. Синтез пассивных фильтров, согласованных схем, расчёт коаксиальных и микрополосковых линий.

Результаты моделирования можно визуализировать в виде графиков в декартовых (2D и 3D) и полярных координатах, таблиц и диаграмм Смита.

Отличительной особенностью Qucs является возможность анализа комплексных частотных характеристик (КЧХ), построение графиков на комплексной плоскости и диаграмм Смита, анализ комплексных сопротивлений и S-параметров. Эти возможности отсутствуют в системах MicroCAP и MultiSim, и здесь Qucs даже превосходит коммерческое ПО. Возможности Qucs достаточны для проведения научных исследований [7], связанных с моделированием электронных схем.

Недостатком системы Qucs является малое количество библиотечных компонентов. Но этот недостаток не является препятствием к использованию, так как Qucs совместим с форматом Spice в котором приводятся модели электронных компонентов в даташитах.



В настоящее время Qucs применяется в Калужском филиале МГТУ им. Н.Э. Баумана на кафедре «Конструирование и производство РЭА» (ЭИУ1-КФ).

Разработан курс лабораторных работ, в ходе которых студенты моделируют различные источники помех и помехоподавляющие схемы.

Курс содержит шесть лабораторных работ:

1. Моделирование помех, вызванных коммутацией индуктивной нагрузки и способы борьбы с ними.
2. Помехоподавляющие элементы: керамический конденсатор и дроссель.
3. Моделирование многозвенного помехоподавляющего LC-фильтра.
4. Моделирование эквивалента сети.
5. Моделирование спектра помех тиристорного фазового регулятора переменного напряжения.
6. Моделирование эквивалентных схем электростатического разряда [7].

Также Qucs применяется в МИЭМ НИУ «Высшая школа экономики» на кафедре «Радиоэлектроника и телекоммуникации» при курсовом и дипломном проектировании для выполнения компьютерного анализа электронных схем. Пример применения можно найти в [8].

Ещё в 2004 году на кафедре РТУиС МИЭМ<sup>1</sup>, в рамках дипломной работы (см. результаты в [9]), была разработана программа по синтезу активных фильтров, которую в 2014 году переработал и дополнил Кузнецов В.В. под названием qucs-activefilter (ожидается в следующем стабильном выпуске программы Qucs). При помощи Qucs-activefilter можно будет синтезировать активные ФНЧ, ФВЧ, ППФ, ПЗФ с АЧХ Бесселя, Баттерворта, Чебышева, Кауэра и АЧХ задаваемой пользователем на основе схемотехники звеньев фильтра Саллена-Ки, фильтра с многопетлевой ОС и звена фильтра Кауэра. Алгоритмы синтеза фильтров соответствуют справочнику [10].

Из вышеприведенного видно, что Qucs представляет собой бурно развивающееся программное средство (ПС) для моделирования электронных схем, в том числе в области ЭМС, позволяющее получать результаты, сопоставимые с коммерческими ПС и заменить их в учебном процессе вузов.

#### Литература

1. Лицензирование программного обеспечения. Вторая часть. [http://center-soft.ru/state/licenzirovanie\\_po2.html](http://center-soft.ru/state/licenzirovanie_po2.html).
2. [http://center-soft.ru/state/o\\_licenzirovanii.html](http://center-soft.ru/state/o_licenzirovanii.html).
3. <https://ru.wikipedia.org/>
4. Qucs: Quite Universal Circuit Simulator. <http://qucs.sourceforge.net>.
5. Brinson M. E., Jahn S. Qucs: A GPL software package for circuit simulation, compact device modelling and circuit macromodelling from DC to RF and beyond // International Journal of Numerical Modelling (IJNM): Electronic Networks, Devices and Fields. — 2008. — September. — Vol. 22, no. 4. — Pp. 297 — 319. <http://www3.interscience.wiley.com/journal/121397825/abstract>.
6. Кузнецов В.В., Крючков Н.М. Qucs: Использование свободного ПО для моделирования электронных схем в учебном процессе/ XI конференция разработчиков свободных программ: Тезисы докладов/ Калуга, 26–28 сентября 2014 года. М.: Альт Линукс, 2014.
7. Кузнецов В. В., Кечиев Л. Н. Исследование стойкости печатных узлов к воздействию электростатического разряда // Технологии ЭМС. — 2013. — №1. — С. 29–38.
8. Кечиев Л.Н., Шатов Д.С. Моделирование в среде Qucs развязывающих конденсаторов в составе распределенной системы питания цифровых модулей. — Технологии ЭМС. 2014. № 3(50). С. 3644.
9. Елисеева О.М., Крючков Н.М. Проектирование фильтров. // Электромагнитная совместимость и проектирование электронных средств: Сборник научных трудов МИЭМ. Москва, 2004.
10. Johnson D., Johnson J., and Moore H., A handbook of active filters. Prentice-Hall, Inc, Engewood Cliffs, 1980.

<sup>1</sup> С 1 июля 2012 года кафедра РЭТ МИЭМ НИУ «Высшая школа экономики».