

УДК 004.4

**Власов Дмитрий Владимирович**<sup>1</sup>, студент электромеханического факультета  
e-mail: dv\_vlasov@vk.com

**Гордяскина Татьяна Вячеславовна**<sup>1</sup>, доцент, к.ф.-м.н., доцент кафедры РЭ,  
e-mail: klimtat@yandex.ru

<sup>1</sup>Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия.

## ОБЗОР СИСТЕМ СКВОЗНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ, ДОСТУПНЫХ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ В УСЛОВИЯХ САНКЦИЙ

*Аннотация.* В работе рассматриваются программные пакеты, позволяющие осуществить методику сквозного проектирования радиоэлектронных устройств, доступных для использования в учебном процессе, в условиях санкций на примере разработки блока аналогового передающего устройства – амплитудного модулятора. В качестве образцовой демонстрации методики применяется коммерческий программный пакет NI Circuit Design Suite 10, который наиболее полно ей соответствует и пока предоставляется учебному заведению по лицензии.

*Ключевые слова:* сквозное проектирование, радиоэлектронное устройство, амплитудный модулятор, программные пакеты, печатная плата, электрическая схема, свободное программное обеспечение, некоммерческое программное обеспечение.

В условиях санкций среди обучающихся будущих специалистов в области радиоэлектроники на сегодняшний день возникает проблема использования лицензионного зарубежного программного обеспечения для осуществления сквозного проектирования радиоэлектронных устройств (РЭУ) в рамках учебного процесса в государственных образовательных учреждениях. Разработчики подобного типа программного обеспечения прекращают поддержку и предоставление лицензий на территории нашей страны в связи с международной ситуацией, что может негативно сказаться на учебном процессе.

Одним из наиболее доступных и наименее затратных решений данной проблемы является использование свободно распространяемых некоммерческих программных пакетов, которые будут позволять осуществить методику сквозного проектирования радиоэлектронных устройств (РЭУ), подразумевающую осуществление полного процесса разработки РЭУ от идеи до разработки конструкторской документации на разрабатываемое оборудование, и состоящей из следующих этапов [1]:

- 1) Разработка технического задания, включающего функциональные возможности, структуру и основные технические параметры системы.
- 2) Выбор элементной базы разрабатываемого РЭУ.
- 3) Разработка схемы электрической принципиальной РЭУ.

4) Моделирование процесса функционирования схемы с использованием встроенного эмулятора.

5) Конструкторская разработка печатного узла РЭУ.

– Разработка конструкции печатной платы (ПП).

– Упаковка принципиальной электрической схемы на плату.

– Размещение компонентов на печатной плате в соответствии с требованиями по электромагнитной совместимости (ЭМС) и надежности узла.

– Трассировка платы в соответствии с классом точности ПП.

– Разработка конструкторской документации на РЭУ.

Данную методику в полном объеме позволяет выполнить коммерческий программный пакет NI Circuit Design Suite 10, включающим в себя средства моделирования и диагностики радиоэлектронных узлов и устройств Multisim, а также средства разработки печатных плат Ultiboard, который пока еще предоставляется учебному заведению по лицензии и наиболее полно позволяет осуществить вышеуказанную методику.

В качестве технического задания возьмем разработку простого радиотехнического устройства - блока аналогового передающего устройства – амплитудного модулятора, обеспечивающего работу на средних радиоволнах – 800 кГц с однотоновой модуляцией управляющим сигналом с частотой 8 кГц.

Амплитудный модулятор выполнен на транзисторе, так как он обладает высоким КПД и не является слишком сложным для реализации и демонстрации методики сквозного проектирования, а также рассмотрения различных программных пакетов на примере реализации данной принципиальной схемы. Данная схема будет состоять из: транзистора, разделяющих конденсаторов, делителя напряжения на резисторах, элементов обеспечивающих термостабилизацию транзистора, двух генераторов, задающих несущий и управляющий сигналы и полосового фильтра, который представляет собой RLC-контур, обеспечивающего качественное выделение амплитудно-модулированного сигнала (АМ-сигнала), обозначенного в техническом задании.

В соответствии с техническим заданием и выбранной элементной базой была разработана принципиальная электрическая схема в программе Multisim 10.0, которая представлена на рисунке 1.

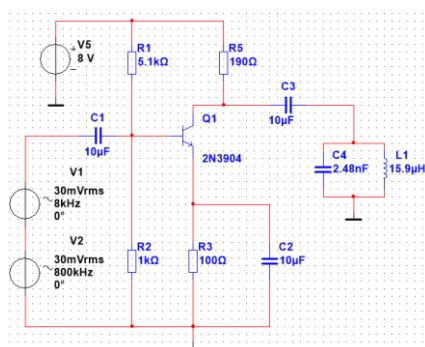


Рисунок 1 – Принципиальная электрическая схема амплитудного модулятора, разработанная в программном пакете NI Circuit Design Suite 10

Следующим этапом согласно рассматриваемой методике является осуществления моделирования процесса функционирования схемы с использованием встроенного симулятора и подтверждение того, что схема соответствует функциональным возможностям, поставленным в техническом задании, получив на выходе АМ-сигнал с несущей частотой в 800 кГц и боковыми гармониками на частотах 792 и 808 кГц с

минимальным присутствием побочных гармоник, неотфильтрованных полосовым фильтром на других частотах. Для этих целей необходимо рассмотреть осциллограмму и спектр сигнала на выходе цепи, используя виртуальные осциллограф и анализатор спектра, встроенные в программный пакет (рисунок 2).

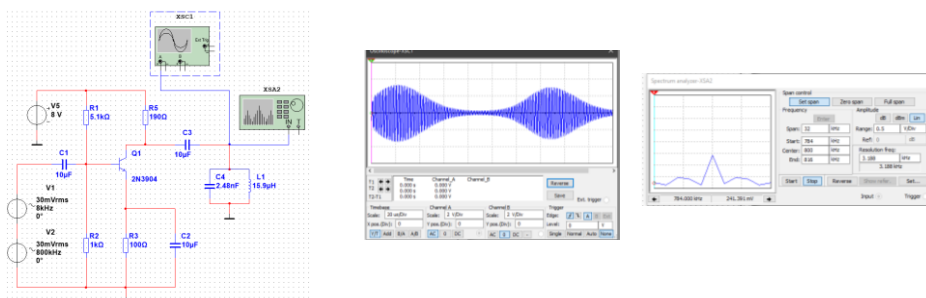


Рисунок 2 – Моделирование процесса функционирования схемы с использованием виртуального осциллографа и анализатора спектра в программном пакете NI Circuit Design Suite 10

После моделирования функционирования схемы можно осуществить переход к разработке ее печатного узла. Для этого произведем экспорт из программы Multisim 10.0 в Ultiboard 10.0, находящихся в одном программном пакете NI Circuit Design Suite 10. Опустим выполнение промежуточных этапов конструкторской разработки печатного узла, отметив лишь, что данный программный пакет позволяет удобно и легко их выполнять, и продемонстрируем конечный результат разработки после экспорта, размещения компонентов и трассировки печатной платы и его трехмерную реализацию на рисунке 3.

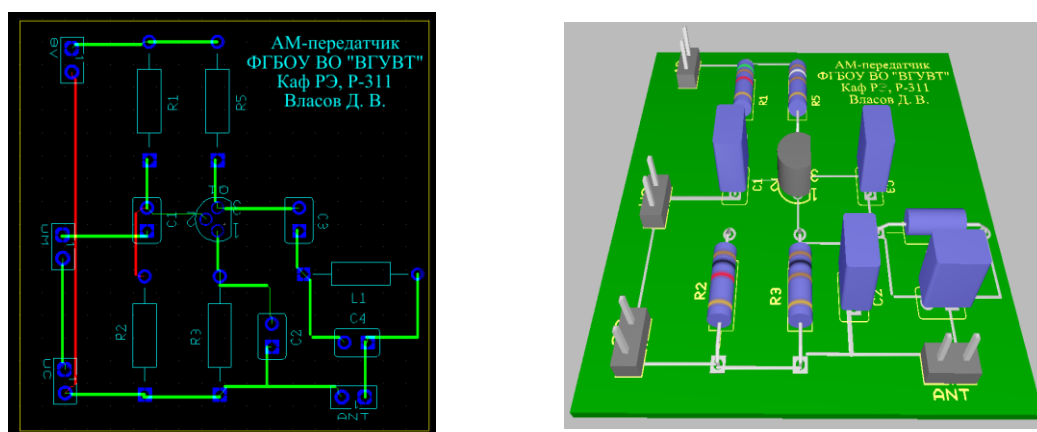


Рисунок 3 – Печатная плата схемы (слева), 3D-визуализация печатной платы (справа) в программном пакете NI Circuit Design Suite 10

На этом процесс сквозного проектирования в программном пакете NI Circuit Design Suite 10 можно считать завершенным.

Необходимо отметить, что данный программный пакет является коммерческим программным обеспечением, предоставляемым по лицензии университету и в любой момент может стать недоступным в связи с санкциями, что приводит к идее поиска достойной или даже более совершенной альтернативы среди некоммерческого и свободно распространяемого программного обеспечения.

Для выполнения данной поставленной задачи прежде всего следует сформировать некоторые требования, на основании которых и будет осуществляться выбор оптимального некоммерческого и свободно распространяемого программного

обеспечения, позволяющего осуществить методику сквозного проектирования по аналогии и уровню с выше представленным программным пакетом:

1) Программный пакет должен позволять осуществить выполнение вышеуказанной методики сквозного проектирования, как минимум выполнения хотя бы трех ее главных этапов: разработка принципиальной электрической схемы, моделирование процесса функционирования схемы, и разработка печатной платы по разработанной схеме.

2) Интерфейс программы должна быть простым, насколько это возможно и легким в освоении обучающимися, так как в большинстве своем это будет первая их программа для подобных задач, которая не должна быть перегружена второстепенным и не обязательным функционалом, что способствует более быстрой адаптации обучающихся к новому программному обеспечению и переходу к конкретным задачам.

3) Программа должна иметь возможность адаптации под отечественные стандарты, использующиеся повсеместно на реальном производстве.

4) В программном пакете должна быть большая элементная база, а также поддержка сторонних библиотек и возможность добавления своих компонентов, что необходимо для расширения компонентного обеспечения программного пакета, которое по умолчанию может не совпадать с реально используемыми компонентами в производстве.

5) Наличие в программном пакете поддержки русского языка, являющегося официальным государственным языком на всей территории РФ, способствуют более полному пониманию функционала программы и значительно ускоряет процесс ее усвоения в масштабах всей страны.

6) В программной пакете будет преимуществом наличие поддержки трехмерной визуализации печатной платы, ее наличие позволяет более наглядно представить обучающимся разрабатываемое РЭУ.

7) Программный пакет должен быть не сильно требователен к системным ресурсам персонального компьютера по причине наличия в большинстве учебных заведений устаревшей технической базы и невозможности ее своевременного обновления.

Рассмотрим следующие некоммерческие и свободно распространяемые в условиях санкций программные пакеты и их взаимодействие между собой для осуществления методики сквозного проектирования РЭУ на соответствие данным требованиям: DesignSpark PCB 10.0.1 [2], EasyEDA 6.5.1 [3], ExpressPCB 7.9.0, ExpressSCH 7.9.0 [4], FreePCB 1.2 [5], KiCad 6.0.5 [6], LibrePCB 0.1.6 [7], LTspice XVII [8], PCB Artist 4.0 [9], Solo PCB 1.1 [10], TINA-TI V9 [11], TinyCAD 3.00.04 [12].

Результат рассмотрения данных программ на соответствие требованиям представим в таблице 1.

По результату рассмотрения данных программных пакетов на соответствие предъявляемым требованиям можно сделать вывод, что наиболее подходящим EasyEDA 6.5.1. Он полностью отвечает всем требованиям и наиболее сильно приближен к программному пакету с NI Circuit Design Suite 10.

Проведем сравнение данных пакетов между собой на примере выполнения той же поставленной задачи - разработки блока аналогового передающего устройства – амплитудного модулятора.

Таблица 1 – Результат рассмотрения некоммерческого и свободно распространяемого программного обеспечения на соответствие предъявляемым требованиям

Требования		Программные пакеты			
		DesignSpark PCB, LTspice / TINA-TI	ExpressSCH, LTspice, ExpressPCB	PCB Artist, LTspice / TINA-TI	TinyCAD, LTspice, FreePCB
Возможность сквозного проектирования	Разработка принципиальной электрической схемы	✓ (DesignSpark PCB)	✓ (ExpressSCH)	✓ (PCB Artist)	✓ (TinyCAD)
	Моделирование процесса функционирования схемы	✓ (LTspice / TINA-TI)	✓ (LTspice)	✓ (LTspice / TINA-TI)	✓ (LTspice)
	Разработка печатной платы по созданной схеме	✓ (DesignSpark PCB)	✓ (ExpressPCB)	✓ (PCB Artist)	✓ (FreePCB)
Простота и легкость в освоении обучающимися		✗	✓	✗	✗
Возможность адаптация под отечественные стандарты		✓	✗	✓	✗
Большая элементная база и поддержка сторонних библиотек		✓	✓	✓	✓
Поддержка русского языка		✗	✗	✗	✗
Поддержка трехмерной визуализации печатной платы		✓	✗	✗	✗
Низкая требовательность к системным ресурсам		✓	✓	✓	✓

Продолжение таблицы 1

Требования		Программные пакеты			
		EasyEDA	KiCad	LibrePCB	SoloPCB Design
Возможность сквозного проектирования	Разработка принципиальной электрической схемы	✓	✓	✓	✓
	Моделирование процесса функционирования схемы	✓	✓	✗*	✗*
	Разработка печатной платы по	✓	✓	✓	✓

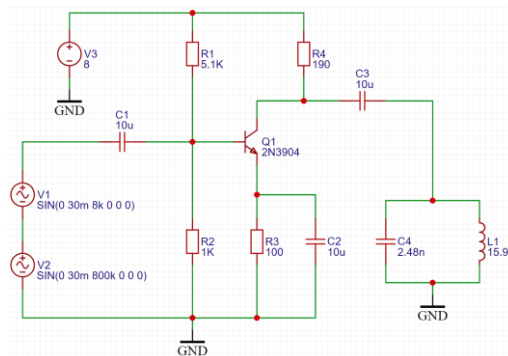
	созданной схеме				
Простота и легкость в освоении обучающимися	✓	✗	✓	✓	✓

*Продолжение таблицы 1*

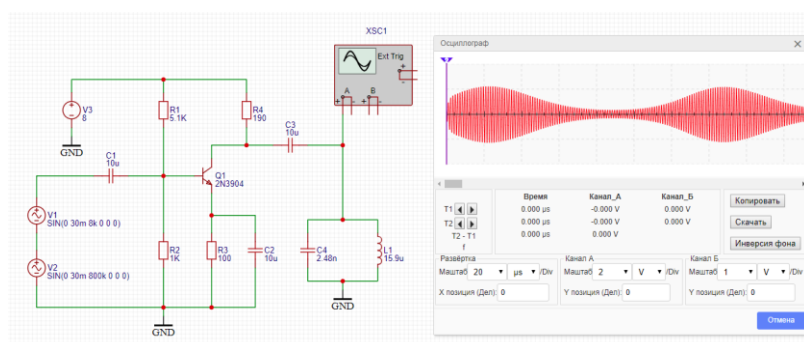
Требования	Программные пакеты			
	EasyEDA	KiCad	LibrePCB	SoloPCB Design
Возможность адаптации под отечественные стандарты	✓	✓	✓	✓
Большая элементная база и поддержка сторонних библиотек	✓	✓	✓	✓
Поддержка русского языка	✓	✓	✓	✗
Поддержка трехмерной визуализации печатной платы	✓	✓	✗	✗
Низкая требовательность к системным ресурсам	✓	✗	✓	✓

\* - только проверка элементарных электрических правил

Разработанная по аналогии в программном пакете EasyEDA 6.5.1 принципиальная электрическая схема, процесс получения осциллограммы в необходимой нам точке схемы, созданная на базе схемы печатная плата и её трехмерная визуализация представлены соответственно на рисунках 4-6.



*Рисунок 4 – Принципиальная электрическая схема амплитудного модулятора, разработанная в программном пакете EasyEDA 6.5.1*



*Рисунок 5 – Моделирование процесса функционирования схемы с использованием виртуального осциллографа в программном пакете EasyEDA 6.5.1*

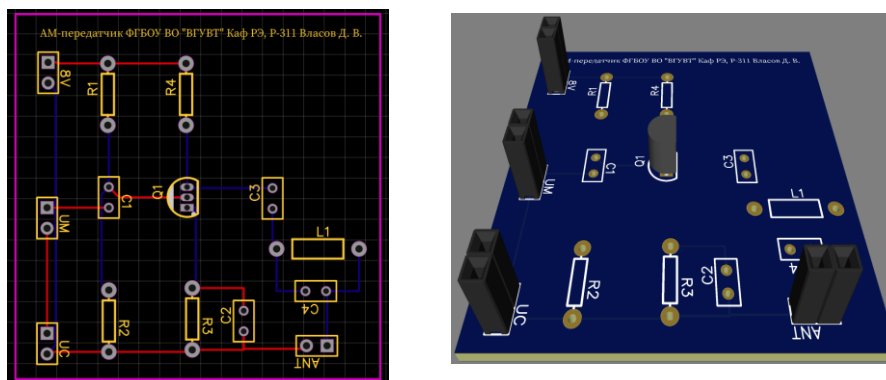


Рисунок 6 – Печатная плата схемы (слева), 3D-визуализация печатной платы (справа) в программном пакете EasyEDA 6.5.1

По итогу рассмотрения процесса сквозного проектирования в обоих программных пакетах, можно сделать вывод, что свободно распространяемый некоммерческий программный пакет EasyEDA 6.5.1 позволяет успешно заменить NI Circuit Design Suite 10 в учебном процессе. По сравнению с ним EasyEDA 6.5.1 обладает некоторыми преимуществами, в частности существует веб-версия программного пакета, что позволяет работать с ним на любых платформах, в том числе мобильных, при наличии доступа к сети Интернет, помимо этого также существует настольная оффлайн-версия клиентов для всех платформ, что делает его более жизнеспособным в случае прекращения предоставления лицензий на определенные операционные системы, также обусловленного санкциями.

Из его недостатков можно отметить требования к авторизации для выполнения многих аспектов программы, а также меньший набор виртуальных измерительных приборов, что не позволяет, например, получить спектр сигнала в различных участках цепи как в случае использования Multisim. Данный недостаток можно компенсировать тем, что в данном программном пакете существует возможность импорта и интеграции на любом этапе разработки с другими свободно распространяемыми программными пакетами, что значительно расширяет его потенциальный функционал.

По итогу, можно с уверенностью заявить, что данный программный пакет позволяет в значительной степени заместить NI Circuit Design Suite 10 в учебном процессе обучающихся в сфере радиоэлектроники с наименьшими затратами.

#### Список литературы:

1. Гордяскина, Т.В. Технология автоматизированного проектирования радиоэлектронных средств : метод. пособие к выпол. лабор. работ для студ., обуч-ся по направ. подгот. 25.05.03 «Техническая эксплуатация транспортного радиооборудования». – Н. Новгород : Изд-во ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2017. – 60 с.
2. DesignSpark PCB Software. URL: <https://www.rs-online.com/designspark/pcb-software> (дата обращения 08.05.2022)

3. EasyEDA – Online PCB design & circuit simulator. URL: <https://easyeda.com> (дата обращения 08.05.2022)
4. ExpressPCB. URL: <https://www.expresspcb.com> (дата обращения 11.05.2020)
5. FreePCB: freeware PCB layout software. URL: <http://www.freepcb.com> (дата обращения 10.05.2022)
6. KiCad EDA – Schematic Capture & PCB Design Software. URL: <https://www.kicad.org> (дата обращения 10.05.2022)
7. LibrePCB. URL: <https://librepcb.org> (дата обращения 11.05.2022)
8. LTspice Simulator | Analog Devices. URL: <https://www.analog.com/en/design-center/design-tools-and-calculators/ltspice-simulator.html> (дата обращения 11.05.2022)
9. Online PCB Design – Free Software | Advanced Circuits. URL: <https://www.4pcb.com/free-pcb-layout-software> (дата обращения 12.05.2022)
10. SoloPCB Design. URL: <https://www.softpedia.com/get/Science-CAD/SoloPCB-Design.shtml> (дата обращения 12.05.2022)
11. TINA-TI Simulation tool | TI.com. URL: <https://www.ti.com/tool/TINA-TI> (дата обращения 13.05.2022)
12. TinyCAD – the free circuit design program. URL: <https://www.tinycad.net> (дата обращения 13.05.2022)

## **OVERVIEW OF SYSTEMS FOR END-TO-END DESIGN OF ELECTRONIC DEVICES AVAILABLE FOR USE IN THE EDUCATIONAL PROCESS UNDER SANCTIONS**

Dmitry V. Vlasov, Tatyana V. Gordyaskina

*Abstract.* The paper considers various software packages that allow to implement the methodology of end-to-end design of radio-electronic devices available for use in the educational process under sanctions on the example of the development of an analog transmitting device unit - an amplitude modulator. As an exemplary demonstration of the methodology, the commercial software package NI Circuit Design Suite 10 is used, which is still provided to the educational institution under a license, which most fully corresponds to it.

*Keywords:* end-to-end design, radio electronic device, amplitude modulator, software packages, printed circuit board, electrical circuit, free software, non-commercial software.