

Исаев Андрей Станиславович

канд. техн. наук, доцент

Руденко Егор Олегович

студент

Новомосковский институт (филиал)
ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический
университет им. Д.И. Менделеева»
г. Новомосковск, Тульская область

ОПЫТ РАЗРАБОТКИ ВИРТУАЛЬНЫХ ЛАБОРАТОРНЫХ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

***Аннотация:** в статье рассмотрена организация проведения лабораторного практикума в дистанционном формате занятий. В качестве инструментального средства представлена виртуальная лабораторная установка для исследования режимов электрических цепей (программная среда Matlab SimScare). Приведены результаты моделирования при изменении расчётных условий. Отмечены достоинства использования в учебном процессе виртуальных лабораторных установок (прежде всего – гибкость и хорошие средства визуализации результатов). Результаты работы внедрены в учебный процесс при изучении электротехники.*

***Ключевые слова:** информационные технологии, лабораторный практикум, математическое моделирование, образовательный процесс, Matlab SimScare.*

***Введение.** Организация занятий в дистанционном формате обучения, ставшая актуальной во время пандемии COVID-19, является в настоящее время непреложной составляющей учебного процесса (прежде всего, при переподготовке специалистов). При этом наиболее остро стоит проблема организации проведения лабораторного практикума – лекционные курсы и консультации могут быть организованы на основе различных онлайн платформ и электронных информационных образовательных систем (ЭИОС). Заметим, что традиционные*

лабораторные стенды откровенно плохо адаптированы для дистанционных занятий ввиду низкого качества визуализации результатов экспериментов. Помимо этого, виртуальные лаборатории экономически целесообразны (требуют минимума затрат, их использование не сопряжено с наладкой и профилактикой оборудования) и позволяют качественно моделировать широкий спектр режимов (включая моделирование аварийных режимов в качестве длительно существующих). В [3] проведён сравнительный анализ традиционных лабораторных установок и их программных (виртуальных) аналогов. При этом выявлен широкий потенциал для модернизации учебного процесса и повышения его эффективности на основе технологии виртуальной реальности (VR), показана доступность, безопасность и экономичность подобных разработок. Ранее нами представлен обзор направлений использования информационных технологий при подготовке электроэнергетиков [4], в котором красной линией проходит информационное обеспечение лабораторного практикума.

Задача реализации компетенций в дистанционном формате обучения является общей для системы образования, реализуя тем самым универсальный интердисциплинарный подход (объединяет концепции, базы знаний и методов различных дисциплин для решения комплексных проблем на основе универсального математического аппарата). В работе [5] представлен опыт организации экспериментов в школьном курсе физики (включая лабораторный практикум при ГИА ОГЭ – итоговая аттестация по окончании 9-го класса). Подход для задач электротехники (прежде всего – «Теоретические основы электротехники») представлен в статье [1] – отражен круг проблем и представлены направления их решения. Из практического опыта проведения занятий (включая семинары) нужно отметить и использование интеллектуальных калькуляторов (например, бесплатный онлайн сервис Wolfram).

Ранее для разработки программного обеспечения традиционно использовались алгоритмические языки программирования высокого уровня. Примером подобного подхода является патент [6] получен на программную реализацию (среда – JavaScript, законченное программное средство для ОС Windows) дина-

мических задач (законы поступательного и вращательного движения). Представляется, что для технических приложений (при сопоставимости результатов) удобнее использовать пакеты прикладной математики (Matlab, MathCAD, Maple) – это приводит к меньшей нагрузке при программной реализации алгоритмов.

Целью работы является программная реализация лабораторного стенда для исследования режимов цепей переменного тока. Программное средство – Matlab. Выбор обусловлен хорошими функциональными возможностями библиотек Simulink (реализация математических методов) и SimPowerSystems/SimScape (построение технических систем различной природы). Связь между учащимися осуществляется на уровне файлов – при этом программа обладает полной совместимостью различных релизов (в отличие от MathCAD, для которого наиболее современный релиз MathCAD Prime не открывает файлы более старых версий).

Методы используют общие принципы математического моделирования с использованием внутренних свойств объектов библиотеки *SimPowerSystems*. Модель трехфазной сети представлена на рис. 1. Отдельные фазы источника выполнены *AC Voltage Source*, приемника *Series RLC Branch*. Для измерения использованы виртуальные измерительные приборы, результаты выведены на блоки *Scope*.

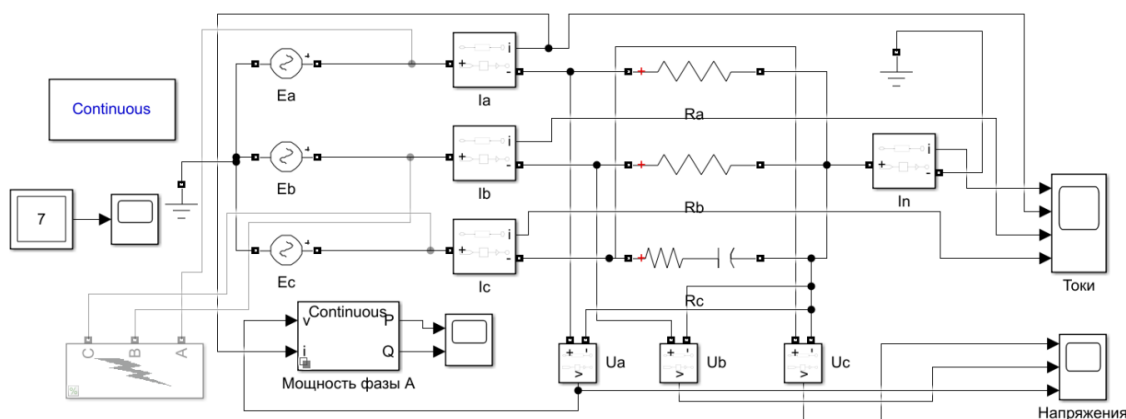


Рис. 1. Модель трехфазной цепи

Схема является гибкой – RLC нагрузка трансформируется в блоки другой нагрузки (например, активной R – показано на рис. 1), моделируется обрыв фазы в режиме «open circuit» для *Series RLC Branch*, источник переменного тока – в источник постоянного (значением частоты и начальной фазы). При этом возможно «комментирование» блока (функции меню «*Comment Out*»/«*Outcomment*») – объект не удаляется из модели явно, но игнорируется при моделировании. Примером подобного на рис. 1 является блок короткозамыкателя *3-Phase Fault* (на схеме модели как неактивный элемент показан бледно).

Результаты. Исследование режимов может быть проведено в двух видах – моделирование процесса (результатом являются зависимости, отражающие динамику изменения контрольных параметров – рис.2а) и расчет параметров режима (рис. 2б).

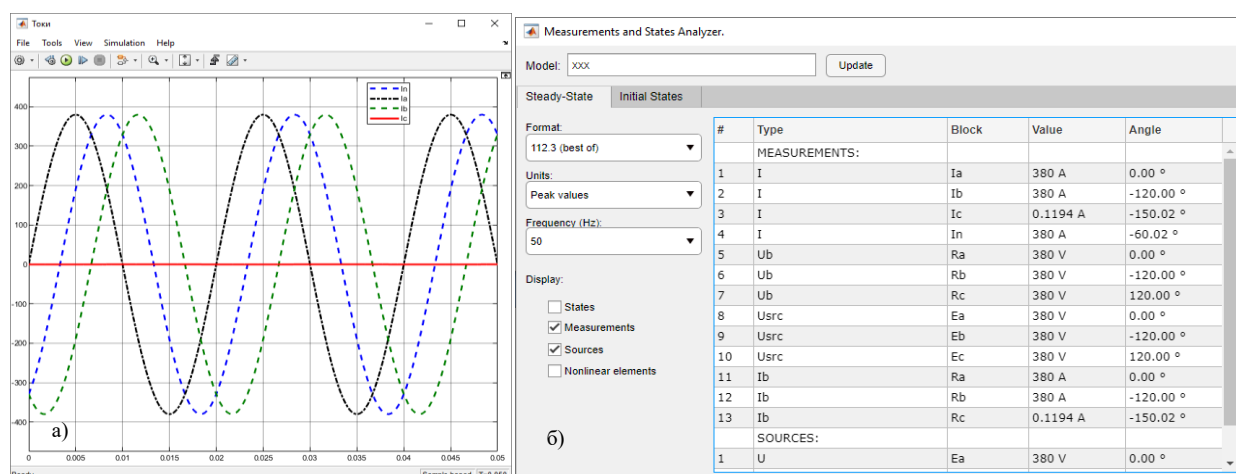


Рис. 2. Результаты исследования;

а) моделирование, б) расчёт параметров режима

При расчёте используется блок Powergui (на рис. 1 для него показан непрерывный режим «Continuous»), при этом результаты представлены в векторной форме (получен модуль и угол для комплексной величины в её показательной форме). Корректность результатов моделирования подтверждается их соответствием расчётным параметрам и теоретическим положениям электротехники (прежде всего, законам коммутации для переходных процессов).

Обсуждение. Традиционно виртуальные стенды критикуют за отказ от использования физической модели в явном виде. Но в данном случае компетенции схемотехники осваиваются при формировании модели, потому использование виртуальной лабораторной в дополнение к имеющимся традиционным стендам представляется вполне корректным.

Альтернативным направлением цифровизации учебного процесса является использование программного обеспечения как инструментального средства для проведения расчётов. Matlab предоставляет информационную основу для этого, включая расчёты средствами символьной математики (в традиционной терминологии – в аналитическом виде). Создание подобного программного кода в виде скриптов в достаточно полном объеме представлено в работе [4].

Представленная модель (рис. 1) может быть реализована несколько иначе. Например, вместо объединения трёх однофазных источников можно использовать трёхфазный *Three-Phase Source*. В данном случае выбор элементов сделан исходя из простоты требований (предполагается, что учащиеся сами собирают модель) и ориентации на задачи электротехники (трёхфазный источник характеризуется параметрами силовой энергетики – мощностью короткого замыкания, внутренним сопротивлением и индуктивностью).

Заключение. Использование виртуальной лаборатории для исследования электрических цепей позволяет решить ряд практических задач электротехники: моделирование и расчёт цепей переменного (включая нелинейные и магнитосвязанные элементы) и постоянного тока; моделирование переходных процессов (включая несимметричные режимы и случаи некорректной коммутации), исследование переменных цепей при изменении расчётных условий (в частности, характер и способ соединения нагрузки); анализ резонансных явлений; расчёт четырёхполюсников. Таким образом, полностью формируется лабораторный практикум дисциплины «Теоретические основы электротехники».

Развитие работы представляется в направлении интерфейса (разработка элементов управления и задания параметров отдельных элементов аналогичных реальному стенду) и создания исполнимого файла (после компиляции для ис-

пользовании программы не будет требоваться Matlab). Помимо этого, актуальность подобных разработок высока для дисциплин, использующих фундаментальный математический аппарат, но традиционно ориентированных на «ручной» расчёт. В частности, для теории автоматического управления могут использоваться функции прямых математических критериев устойчивости (непосредственное определение корней характеристического уравнений) и средства для построения диаграмм Боде и Найквиста.

Список литературы

1. Быченко Д.Е. Адаптация в учебный процесс виртуальных лабораторных работ по дисциплине «Теоретические основы электротехники» / Д.Е. Быченко, Е.Ю. Елизарова // Студенческая научная весна – 2024: сборник тезисов Всероссийской научно-практической молодежной конференции (Волгодонск, 25–29 марта 2024 г.). – Волгодонск: Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, 2024. – С. 167–171. EDN GCPMUR

2. Валицкий И.М. Использование символьных вычислений для переходных процессов электрических цепей / И.М. Валицкий, А.С. Исаев // Проблемы и перспективы развития энергетики: сборник материалов VII Всероссийской (с международным участием) научно-практической конференции (Казань, 22–23 октября 2025 г.). – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2025. – С. 59–63. EDN QCBJUO

3. Виктуров Е.А. Сравнение традиционных лабораторных работ и их аналогов в виртуальной реальности: модель и преимущества / Е.А. Виктуров // Материалы докладов всероссийской научн.-практ. конф. им. Я.В. Мильмана (Москва, 18 декабря 2024 г.). – М.: Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), 2025. – С. 239–245. EDN WRNVCB

4. Исаев А.С. Направления цифровизации учебного процесса электроэнергетики / А.С. Исаев, С.А. Барабанов // Современное инженерное образование: вызовы и перспективы: материалы V национальной научно-практической кон-

ференции (Магнитогорск, 5–6 февраля 2026 г.). – Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 2026. – С. 89–96. EDN HWJMXU

5. Пашков Д.В. О применении виртуальных лабораторных экспериментов в обучении физике в основной школе / Д.В. Пашков // Актуальные проблемы школьного образования: сборник статей по материалам Международной научно-практической конференции (Благовещенск, 21 февраля 2024 г.). – Благовещенск: Благовещенский государственный педагогический университет, 2024. – С. 504–508. EDN VFGVGT

6. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2025661663 Российская Федерация. Виртуальная лабораторная работа «Изучение законов движения системы связанных тел»: заявл. 24.04.2025; опубл. 12.05.2025 / И.С. Елкин, С.С. Иванов; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева».