

**ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ  
ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ**

*Методические указания к лабораторным работам  
для студентов бакалавриата направления 13.03.02*

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ  
2020**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
Санкт-Петербургский горный университет

Кафедра электроэнергетики и электромеханики

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ  
ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

*Методические указания к лабораторным работам  
для студентов бакалавриата направления 13.03.02*

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ  
2020

УДК 621.31:004.9(073)

**ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ:** Методические указания к лабораторным работам / Санкт-Петербургский горный университет. Сост.: *А.А. Бельский, А.Н. Скамын*. СПб, 2020. 45 с.

Изложены материалы по подготовке к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Программное обеспечение для решения задач электроэнергетики». Рассмотрено программное обеспечение, используемое при имитационном моделировании электроэнергетических объектов и систем, для электротехнических расчетов, выбора аппаратов защиты и компоновки распределительных шкафов при проектировании систем электроснабжения, для выполнения светотехнических расчетов.

Предназначены для студентов бакалавриата направления 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» профиля программы «Электроснабжение».

Научный редактор проф. *В.А. Шпенст*

Рецензент проф. *В.Ф. Минаков* (Санкт-Петербургский государственный экономический университет)

© Санкт-Петербургский  
горный университет, 2020

## **ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ**

***Методические указания к лабораторным работам  
для студентов бакалавриата направления 13.03.02***

Сост.: *А.А. Бельский, А.Н. Скамын*

Печатается с оригинал-макета, подготовленного кафедрой  
электроэнергетики и электромеханики

Ответственный за выпуск *А.А. Бельский*

Лицензия ИД № 06517 от 09.01.2002

Подписано к печати 27.05.2020. Формат 60×84/16.  
Усл. печ. л. 2,6. Усл.кр.-отт. 2,6. Уч.-изд.л. 2,4. Тираж 75 экз. Заказ 303. С 34.

Санкт-Петербургский горный университет  
РИЦ Санкт-Петербургского горного университета  
Адрес университета и РИЦ: 199106 Санкт-Петербург, 21-я линия, 2

## **ВВЕДЕНИЕ**

В процессе изучения дисциплины «Программное обеспечение для решения задач электроэнергетики» студенты должны выполнить лабораторные работы, основной целью которых является закрепление теоретического материала по курсу. Рассмотрено программное обеспечение, используемое при имитационном моделировании электроэнергетических объектов и систем, для электротехнических расчетов, выбора аппаратов защиты и компоновки распределительных шкафов при проектировании систем электроснабжения, для выполнения светотехнических расчетов.

Лабораторные работы проводятся в лабораториях кафедры электроэнергетики и электромеханики Горного университета, а также в центре компетенций «Горный университет – Schneider Electric».

Перед выполнением лабораторных работ студент должен ознакомиться с инструкцией и исходными данными по данной лабораторной работе. Отчет по работе должен быть выполненным в печатном виде, содержать титульный лист и описательную часть, требования к которой изложены в описании к каждой работе. Также обучающиеся должны подготовить ответы на контрольные вопросы.

Методические указания предназначены для студентов бакалавриата направления подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», профиль программы «Электроснабжение».

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1. ИССЛЕДОВАНИЕ СЕЛЕКТИВНОСТИ ЗАЩИТЫ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ONLINE TOOLS

## Цель работы

Получение навыков работы с программным обеспечением *OnLine Tools*. Исследовать селективность защиты автоматических выключателей.

## Общие сведения

Электроустановки низкого напряжения (НН) должны иметь надежную защиту от следующих типов повреждений: перегрузка, короткое замыкание (КЗ); повреждение изоляции.

При применении защит от вышеуказанных повреждений необходимо учитывать нормативную базу и правила безопасности персонала, а также технические и экономические требования.

Используемое оборудование защиты должно:

- быть стойким к токам повреждения;
- устранять их с оптимальными затратами по отношению к требуемым техническим характеристикам;
- ограничивать отрицательное воздействие токов повреждения на электроустановку, а также обеспечивать надежное (бесперебойное) электроснабжение [1].

При работе с программным обеспечением (ПО) *OnLine Tools* проверяется селективность работы автоматических выключателей, каскадирование, а также селективность, усиленная каскадированием [2]. Согласно МЭК 60947-2 селективность заключается в обеспечении такой координации между времятоковыми характеристиками последовательно расположенных выключателей, чтобы в случае повреждения отключался только выключатель, наиболее близкий к повреждению.

База данных программы содержит устройства Schneider Electric

Стартовая страница ПО *OnLine Tools* отображает набор из пяти инструментов (см. рисунок 1.1).

## Координация защит

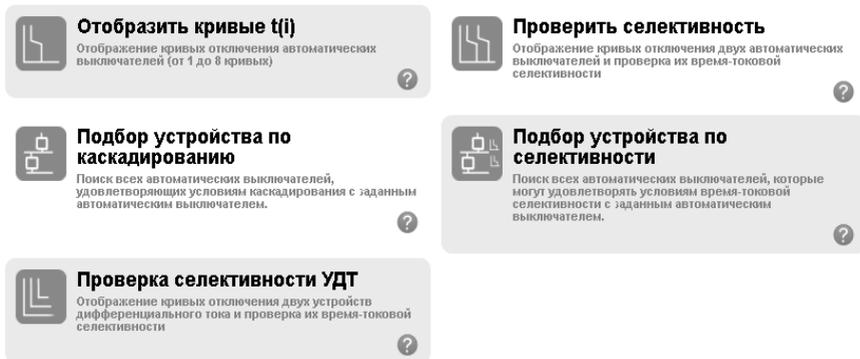


Рис.1.1. Стартовая страница ПО OnLine Tools

Краткая расшифровка иконок стартовой страницы приведена в таблице 1.1.

Таблица 1.1

### Расшифровка иконок стартовой страницы

Иконка	Описание
	<b>Отобразить кривые.</b> Отображение кривых отключения автоматических выключателей t(i). На одном графике может быть отображено до 8 кривых.
	<b>Проверить селективность.</b> Отображение кривых отключения двух автоматических выключателей с заданными характеристиками и проверка их времятоковой селективности.
	<b>Подбор устройства по селективности.</b> Поиск всех автоматических выключателей, которые могут удовлетворять условиям времятоковой селективности с заданным автоматическим выключателем.
	<b>Подбор устройства по каскадированию.</b> Поиск всех автоматических выключателей, удовлетворяющих условиям каскадирования с заданным автоматическим выключателем.
	<b>Проверка селективности УДТ.</b> Отображение кривых отключения двух устройств дифференциального тока (УДТ) с заданными характеристиками и проверка их времятоковой селективности.

Инструмент **«Отобразить кривые»** используется, если необходимо проверить влияние настроек расцепителя на времятоковую зависимость автоматического выключателя.

Основные характеристики инструмента **«Отобразить кривые»**:

- позволяет выбрать автоматический выключатель из базы данных автоматических выключателей;
- отображает от 1 до 8 кривых отключения для автоматических выключателей с заданными характеристиками;
- позволяет пользователю задать характеристики автоматического выключателя и настройки расцепителя и увидеть в результате времятоковую характеристику;
- отображает кривую отключения с учетом всех заданных характеристик и настроек;
- создает и сохраняет отчет по решению пользователя.

Инструмент **«Проверить селективность»** используется, если необходимо быстро проверить времятоковую селективность между двумя автоматическими выключателями с известными характеристиками.

Основные характеристики инструмента **«Проверить селективность»**:

- позволяет выбрать два автоматических выключателя из базы данных устройств;
- отображает кривые отключения двух автоматических выключателей с заданными характеристиками;
- позволяет пользователю задать характеристики каждого автоматического выключателя и настройки расцепителя и увидеть в результате времятоковые характеристики;
- отображает предел селективности с учетом настроек расцепителя каждого из автоматических выключателей и таблицы дискриминации;
- создает и сохраняет отчет по решению пользователя.

Инструмент **«Подбор устройства по селективности»** используется, если необходимо подобрать автоматический выключатель, совместимый с заданным по условиям времятоковой селективности.

Основные характеристики инструмента **«Подбор устройства по селективности»**:

- выбирает автоматический выключатель из базы данных;
- отображает все автоматические выключатели, с которыми у заданного возможно достижение времятоковой селективности;
- отображает предел селективности для всех возможных вариантов;
- создает и сохраняет отчет по решению пользователя.

Инструмент **«Подбор устройства по каскадированию»** используется, если необходимо подобрать автоматический выключатель, совместимый с заданным по условиям каскадирования.

Основные характеристики инструмента **«Подбор устройства по каскадированию»**:

- выбирает автоматический выключатель из базы данных;
- отображает все автоматические выключатели, с которыми у заданного возможно достижение каскадирования;
- отображает предел селективности для всех возможных вариантов;
- создает и сохраняет отчет по решению пользователя.

Инструмент **«Проверка селективности УДТ»** используется, если необходимо проверить времятоковую селективность двух устройств дифференциального тока (УДТ).

Основные характеристики инструмента **«Проверка селективности УДТ»**:

- выбирает два УДТ из базы данных;
- отображает кривые двух УДТ;
- позволяет задать характеристики для каждого из УДТ и просмотреть кривые их отключения;
- отображает достигнутый уровень селективности с учетом кривых отключения и таблиц координации;
- создает и сохраняет отчет по решению пользователя.

### **Порядок выполнения работы (пример)**

1. На стартовой странице ПО *OnLine Tools* (см. рисунок 1.1) выбрать инструмент **«Отобразить кривые»** нажав на соответствующую иконку.

2. Задать выбираемые характеристики первого автоматического выключателя (см. таблицу 1.2 и рисунок 1.2) в соответствии с исходными данными (см. таблицу 1.3).

Таблица 1.2

**Расшифровка выбираемых характеристик автоматического выключателя**

Номер позиции на рис.1.2	Описание
1	<b>Линейное напряжение (В).</b> В выпадающем списке следует выбрать напряжение из предлагаемого стандартного ряда.
2	<b>Тип стандарта.</b> Стандарт, которому должно удовлетворять устройство, доступны 2 варианта – «Гражданское строительство» и «Промышленность».
3	<b>Серия.</b> В выпадающем списке следует выбрать серию автоматического выключателя.
4	<b>Автоматический выключатель.</b> Уточнение номинала автоматического выключателя и буквенного кода его предельной отключающей способности.
5	<b>Номинальный ток (А).</b> В выпадающем списке следует выбрать номинальный ток из предлагаемого ряда, для каждого устройства предлагаемый ряд номиналов будет своим, согласно каталогу на устройства.
6	<b>Число полюсов.</b> Число полюсов и их назначение.
7	<b>Расцепитель / Тип кривой.</b> В зависимости от устройства выбирается название блока управления, расцепителя (для Compact NSX), или тип кривой (для модульных автоматических выключателей Acti9).
8	<b>Номинальный ток расцепителя (А).</b> В выпадающем списке требуется выбрать значение тока расцепителя из предложенного ряда. Представленный ряд вариантов определяется характеристиками расцепителя, например, для модульных устройств, в данном списке автоматически появляется значение номинального тока выключателя без возможности изменения.
9	<b>Отключающая способность (кА).</b> В данном поле значение предельной отключающей способности появляется автоматически в соответствии с выбором в поле №4.

1 Скрыть устаревшие продукты

2 Линейное напряжение (В) 400

Тип стандарта Промышленность

Добавить кривую Удалить кривую Отобразить кривые t(i)

3 **NSX630L Micrologic 6.3 E - 630 A**

4 Серия Compact NSX

5 Автоматический выключатель NSX630L

6 Номинальный ток, А 630

7 Число полюсов 3P3d

8 Расцепитель / Тип кривой Micrologic 6.3 E

9 Номинальный ток расцепителя (А) 630

Отключающая способность (кА) 150

Защита

Рис.1.2. Выбор характеристик автоматического выключателя

3. Убедиться, что в поле «Скрыть устаревшие продукты» стоит отметка.

4. Нажать кнопку «Добавить кривую» для добавления нового устройства в список.

5. Самостоятельно задать выбираемые характеристики второго автоматического выключателя (см. шаг 2 и 3), с учетом того, чтобы номинальный ток расцепителя второго выключателя был больше, чем первого.

6. Нажать кнопку «Добавить кривую» для добавления нового устройства в список.

7. Самостоятельно задать выбираемые характеристики третьего автоматического выключателя (см. шаг 2 и 3), с учетом того чтобы номинальный ток расцепителя третьего выключателя был больше, чем второго.

Таким образом, будет создан список устройств (см. рис.1.3) для последующего отображения их времятоковых характеристик

Спрятать устаревшие продукты

Линейное напряжение (В)

Тип стандарта

■ NSX630L Micrologic 6.3 E - 630 A

■ NSX100L Micrologic 6.2 E - 100 A

▲ ■ iC60L C - 32 A

	Защита
Серия	<input type="text" value="Acti9 iC60"/>
Автоматический выключатель	<input type="text" value="iC60L"/>
Номинальный ток, А	<input type="text" value="32"/>
Число полюсов	<input type="text" value="3P3d"/>
Расцепитель / Тип кривой	<input type="text" value="C"/>
Номинальный ток расцепителя (А)	<input type="text" value="32"/>
Отключающая способность (кА)	<input type="text" value="20"/>

Рис.1.3. Список устройств

8. Если все устройства выбраны, необходимо нажать на кнопку «**Отобразить кривые**». Тогда в правой части экрана появляется система координат с времятоковыми кривыми (см. рисунок 1.4).

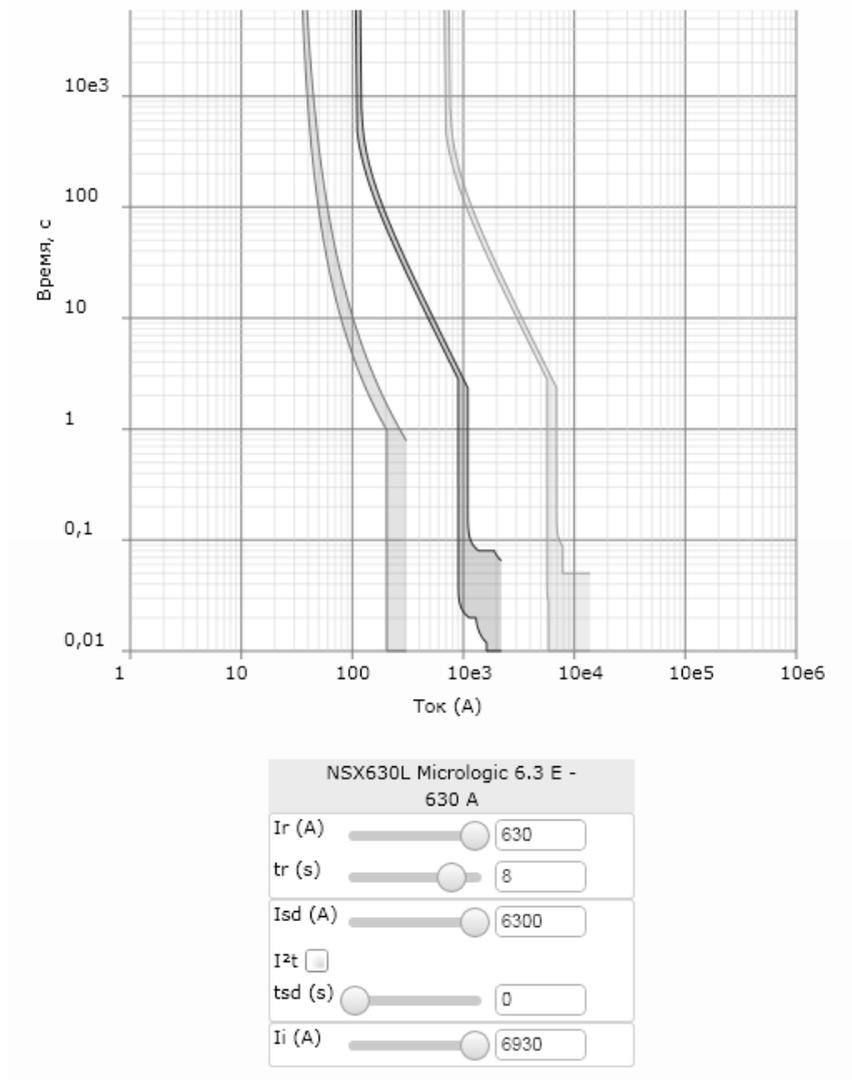


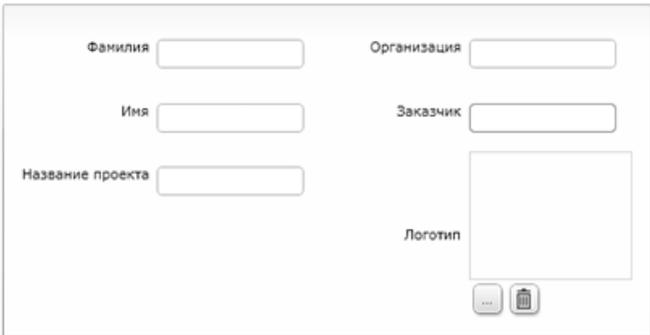
Рис.1.4. Времятоковые характеристики выбранных выключателей

Каждое из устройств маркируется своим цветом. В целях экономии места на экране поля с характеристиками ранее заданных устройств сворачиваются. Но в списке всегда доступны их названия и цветовая маркировка. При необходимости просмотреть или изменить характеристики ранее добавленного устройства следует нажать на иконку слева от его цветовой маркировки и названия. Для удаления устройства из списка, нажмите на кнопку «**Удалить кривую**».

Цвет кривой на графике соответствует цвету маркировки устройства в списке. Под графиком отображаются дополнительные параметры выделенного устройства, например настройки его расцепителя. Также доступна функция изменения настройки расцепителя, в случае если это возможно физически.

9. Проверить наличие полной времятоковой селективности трех автоматических выключателей. Времятоковые характеристики не должны пересекаться (см. рисунок 1.4), тогда лабораторная работа окончена. Если характеристики пересекаются, то необходимо изменить выбираемые параметры выключателей (см. п.5 и 7).

10. Для сохранения результатов нажмите кнопку . Далее необходимо указать общую информацию по проекту, которая будет упоминаться в отчете (см. рис.1.5). После заполнения полей нажать на кнопку «**Генерировать**» для генерации отчета в ПО.



Генерация Отчета

Информация о Пользователе > Генерация > Закончить

Фамилия

Имя

Название проекта

Организация

Заказчик

Логотип

Рис.1.5. Окно генерации отчета в ПО OnLine Tools

Таблица 1.3

## Исходные данные

	Номер варианта													
Параметр	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Линейное напряжение (В)	400													
Тип стандарта	Гражданское строительст- во							Промышленность						
Серия	Acti9 iC60													
Автоматический выключатель	iC60L			iC60N				iC60L			iC60N			
Номинальный ток (А)	16		20		25		32		40		50		63	
Число полюсов	3													
Расцепитель / Тип кривой	В			С				В			С			
Номинальный ток расцепителя (А)	16		20		25		32		40		50		63	
Отключающая способность (кА)	Значение появляется автоматически													

## Содержание отчета

Отчет по работе должен быть выполненным в печатном виде и содержать титульный лист и описательную часть. В описательной части должны быть приведены:

1. Цель работы.
2. Краткие сведения о ПО *OnLine Tools*.
3. Исходные данные.
4. Сгенерированный отчет в ПО *OnLine Tools*.
5. Вывод о проделанной работе.

## Контрольные вопросы

1. От каких типов повреждений электроустановки низкого напряжения должны иметь надежную защиту?
2. Определение селективности согласно МЭК 60947-2?
3. Основные инструменты ПО *OnLine Tools* и их назначение?
4. Основные характеристики инструмента «Отобразить кривые»?
5. Случаи, в которых целесообразно использовать инструмент «Отобразить кривые»?
6. Основные характеристики инструмента «Проверить селективность»?
7. Случаи, в которых целесообразно использовать инструмент «Проверить селективность»?
8. Основные характеристики инструмента «Подбор устройства по селективности»?
9. Случаи, в которых целесообразно использовать инструмент «Подбор устройства по селективности»?
10. Основные характеристики инструмента «Подбор устройства по каскадированию»?
11. Случаи, в которых целесообразно использовать инструмент «Подбор устройства по каскадированию»?
12. Основные характеристики инструмента «Проверка селективности УДТ»?
13. Случаи, в которых целесообразно использовать инструмент «Проверка селективности УДТ»?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2. КОМПОНОВКА СИЛОВОГО ШИТКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ RAPSODIE

### Цель работы

Получение навыков работы с программным обеспечением *Rapsodie*. Осуществить компоновку силового распределительного щитка низкого напряжения.

### Общие сведения

Программное обеспечение (ПО) *Rapsodie* предназначено для компоновки шкафов низкого напряжения. Работа в ПО *Rapsodie* существенно ускоряет процесс компоновки шкафа [2]. В результате работы с программой пользователь может получить:

- внешний вид шкафа;
- полную сборочную спецификацию;
- подробный расчет стоимости проекта.

База данных программы содержит устройства Schneider Electric, пользователь может автоматически подобрать к ним дополнительные аксессуары. Также есть возможность создавать персональный каталог из устройств, которых нет в базе данных программы. ПО *Rapsodie* также позволяет отобразить топологию однолинейной схемы для корректного подбора распределительных устройств и монтажных аксессуаров. В программе есть режим автоматического подбора ячейки нужной конфигурации с учетом ранее заданных критериев.

При запуске ПО *Rapsodie* на экране отображается окно стартовой страницы (см. рисунок 2.1 и таблицу 2.1), с помощью этой страницы можно:

- создать новый проект;
- открыть ранее сохраненный проект;
- доступ к дополнительным функциям;
- изменить персональные настройки пользователя;
- просмотреть файл помощи по работе с программой.



Рис.2.1. Стартовая страница ПО Rapsodie

Таблица 2.1

### Описание стартовой страницы

Номер позиции на рис. 4.1	Описание
1	<b>Создать новый проект.</b> Позволяет создать новый проект.
2	<b>Открыть проект.</b> Позволяет открыть ранее сохраненный в программе Rapsodie проект.
3	<b>Отмена.</b> Позволяет отменить последние выполненные действия.
4	<b>Инструменты.</b> Дает пользователю доступ к дополнительным функциям (обновление персонального каталога, обновление цен и т.д.) и позволяет использовать пользовательские настройки (работа со скидками, характеристики оборудования по умолчанию и т.д.).
5	<b>Сохранить.</b> Позволяет сохранить проект на любой стадии.
6	<b>Печать.</b> Позволяет распечатать информацию из проекта.
7	<b>Помощь.</b> Дает доступ к файлу помощи по работе с программой.
8	<b>Выход.</b> С помощью данной кнопки можно закрыть программу.

Этапы работы с программой, соответствующие этапам создания проекта компоновки распределительного щита (РЩ), нашли отображение в интерфейсе ПО *Rapsodie* в виде закладок на окне программы (см. рисунок 2.2 и таблицу 2.2).



Рис.2.2. Интерфейс ПО Rapsodie

Программа имеет привлекательный и интуитивно понятный русскоязычный интерфейс, документация выдается в виде файлов распространенных форматов (\*.txt, \*.xls, \*.pdf, \*.dxf).

Перед запуском ПО *Rapsodie* с целью создания нового проекта, необходимо на руках иметь однолинейную схему с выбранным оборудованием.

Таблица 2.2

## Описание интерфейса

Номер позиции на рис.2.2	Описание
1	<b>Модель проекта.</b> Позволяет переключаться между различными РЩ в рамках одного проекта и задавать номинальные параметры РЩ.
2	<b>Выбор оборудования.</b> Позволяет выбрать оборудование для различных РЩ проекта.
3	<b>Электрическая схема.</b> Позволяет задать электрические соединения между компонентами и выбрать распределительные блоки в РЩ.
4	<b>Конфигурация НКУ.</b> Позволяет осуществить непосредственное проектирование РЩ. В программе реализовано 2 режима проектирования: – <u>Полуавтоматический режим проектирования.</u> В данном режиме ПО <i>Rapsodie</i> само предлагает пользователю все варианты РЩ с выбранными компонентами, удовлетворяющие заданным характеристиками. Пользователю лишь остается выбрать из предложенного списка именно то решение, которое его устроит. Программа сама скомпонует функциональные блоки (сборки), установит их в выбранный пользователем РЩ и отобразит результат. – <u>Режим ручного проектирования.</u> В данном режиме все операции выполняются пользователем одна за другой пошагово.
5	<b>Отчеты.</b> Позволяет экспортировать и распечатать содержание проекта.

## Порядок выполнения работы (пример)

1. Открыть программу и создать новый проект. В закладке «**Модель проекта**» задать характеристики РЩ (см. рис. 2.3).

2. Перейти в закладку «**Выбор оборудования**», выбрать из каталога в соответствии с исходными данными (см. рисунок 2.11 и таблицу 2.4) вводной автоматический выключатель серии Multi9 C120 номинальный ток 125 А – 1 шт., автоматические выключатели серии Multi9 C60 номинальный ток 16 А – 5 шт.

В окне каталога (см. рисунок 2.4) найти меню **Multi9 – модульное оборудование**, ниже – **Multi9 – автоматические выключатели**.

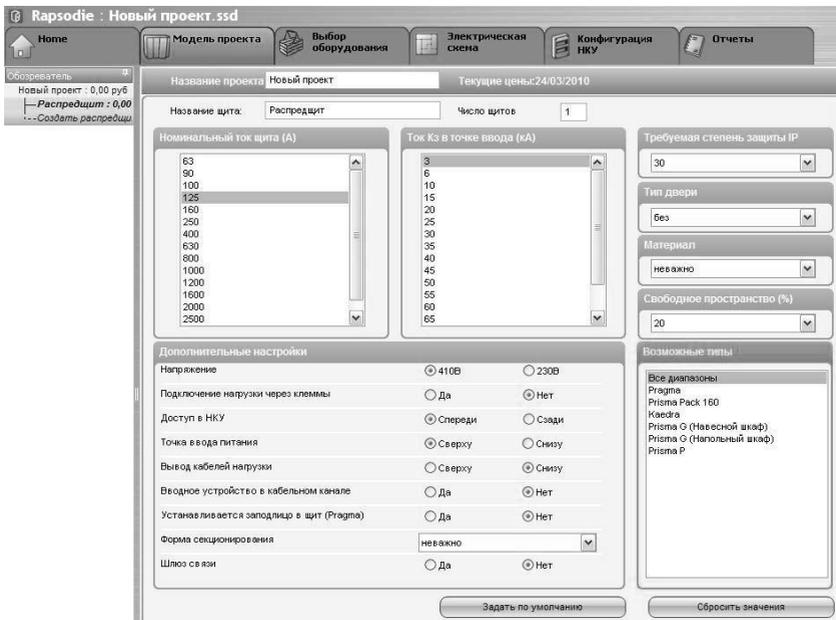


Рис.2.3. Закладка «Модель проекта»

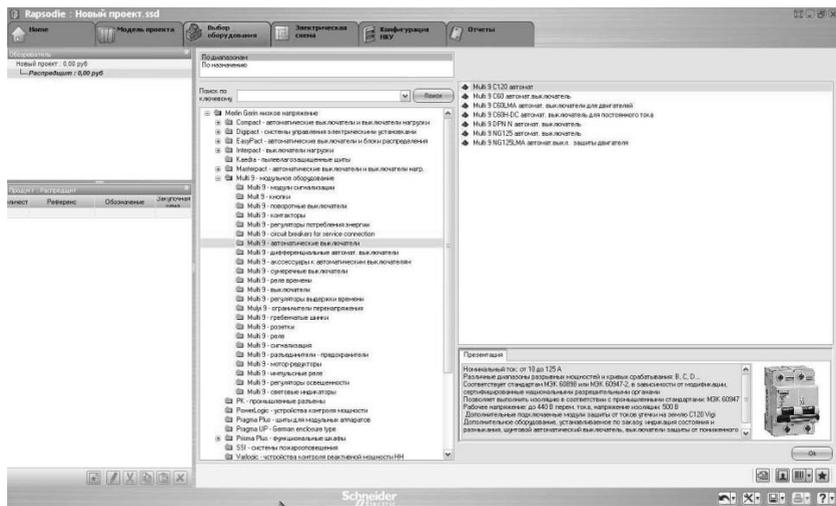


Рис.2.4. Закладка «Выбор оборудования»

3. Щелкнуть дважды левой кнопкой мышки на строку **Multi9 C120 автомат**, на экране появится окно конфигурации устройства. В открывшемся окне (см. рисунок 2.5) выбрать необходимые характеристики выключателя и нажать кнопку «Да».

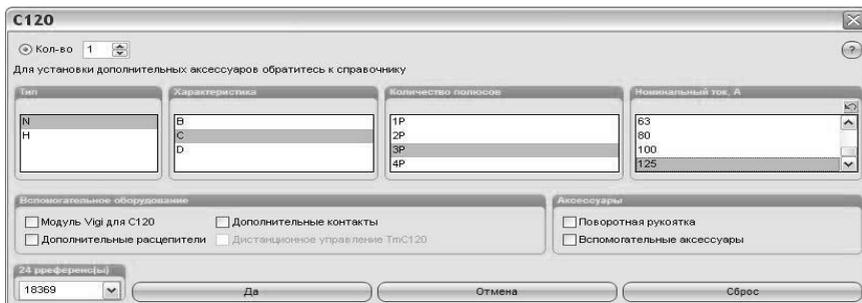


Рис.2.5. Выбор конфигурации вводного автоматического выключателя

4. Щелкнуть дважды левой кнопкой мышки на строку **Multi9 C60 автоматический выключатель**, на экране появится окно конфигурации устройства. В открывшемся окне (см. рисунок 2.6) выбрать необходимые параметры выключателя и нажать кнопку «Да».

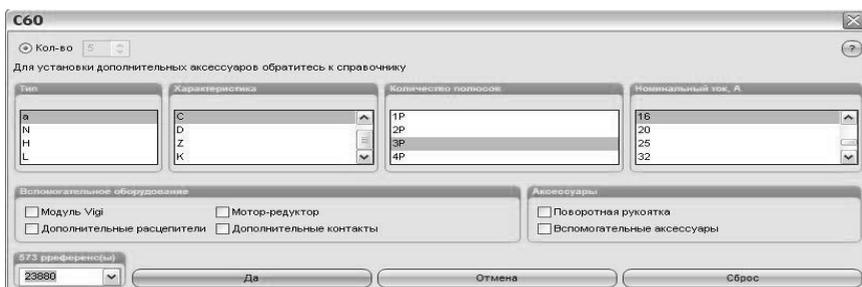


Рис.2.6. Выбор конфигурации отходящих автоматов

5. Проверить список оборудования (см. рисунок 2.7).

Продукт : Распределит				
Количество	Референс	Обозначение	Закупочная цена	
1	18369	C120N 3P 125A C	8398,98	
5	23880	C60A 3P 16A, C	3073,25	

Рис.2.7. Список выбранного оборудования

6. После выбора необходимого оборудования перейти в закладку «**Электрическая схема**». Схема (см. рисунок 2.8) должна соответствовать заданной однолинейной схеме (см. рисунок 2.11). Далее в этой закладке можно при необходимости выбрать распределительный блок, рассчитать клеммники.



Рис.2.8. Закладка «Электрическая схема»

7. Перейти в закладку «**Конфигурация НКУ**» (см. рисунок 2.9), т.к. данный пример не сложен, выполним проект в полуавтоматическом режиме. Для этого в поле «**Режим проектирования**» нажать «**Полуавтоматический**» и обязательно кнопку «**Подтвердить режим**». Далее нажать кнопку «**Сгенерировать предложения**».

8. Программа может предложить несколько вариантов компоновочного решения (см. рисунок 2.9). Необходимо выбрать одну из предложенных компоновок и нажать кнопку «**Автомат. проектирование щита**» для перехода к виду спереди. Вид спереди при полуавтоматическом режиме проектирования компоуется самой программой, Пользователь далее ничего не выбирает, единственно – может поменять расположение оборудования внутри РЩ.

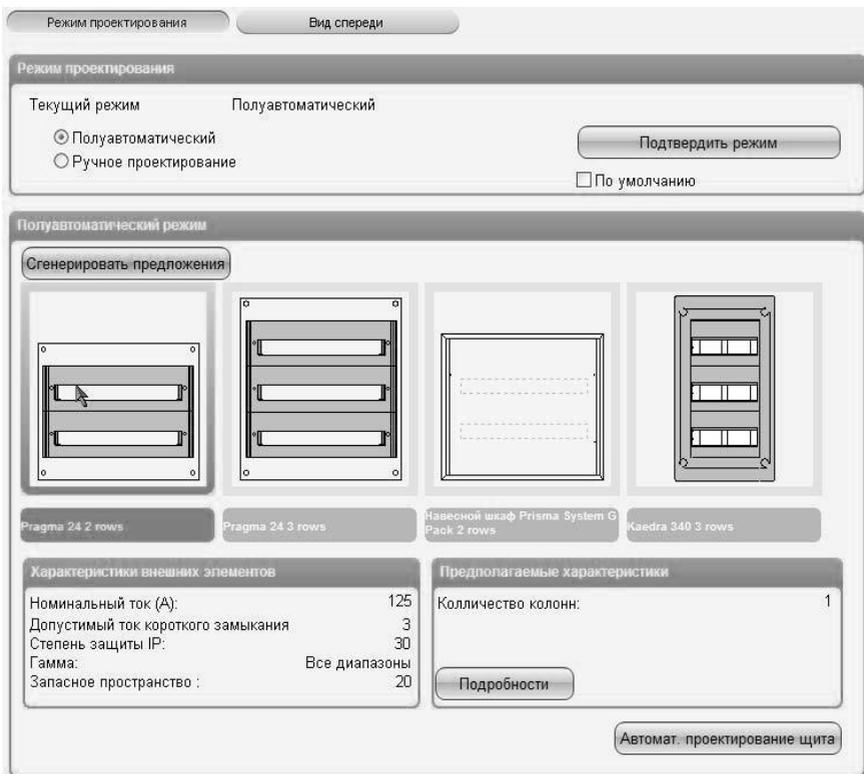


Рис.2.9. Закладка «Конфигурация НКУ»

9. Используя закладку «Отчеты», а в ней вкладку «Экспорт и печать» (см. рисунок 2.10 и таблицу 2.3) осуществить печать следующих документов:

- список оборудования (продуктов);
- однолинейная схема щитка;
- вид спереди (устройства).

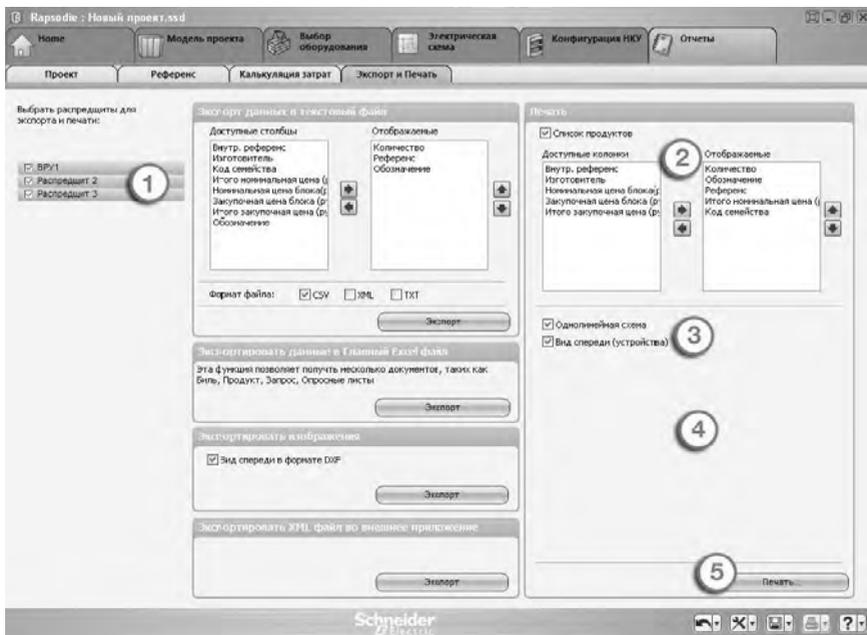


Рис.2.10. Закладка «Отчеты»

Таблица 2.3

### Описание действий при печати файлов

Номер позиции на рис.2.10	Описание
1	Выберите РЩ, информацию о котором требуется экспортировать или распечатать.
2	Для печати списка оборудования поставьте галочку «Список <b>продуктов</b> ». Пользователь может сам выбирать, какую информацию из списка продуктов следует распечатать.
3	Для печати электрической схемы и вида спереди РЩ, следует поставить соответствующие галочки.
4	Для печати вида спереди следует выбрать слой.
5	Для запуска печати нажмите кнопку « <b>Печать</b> ».



Рис.2.11. Исходные данные – однолинейная схема РЩ

Таблица 2.4

**Исходные данные**

	Номер варианта													
Параметр	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
<b>Вводной автоматический выключатель: QF1</b>														
Серия	Acti9 iC120													
Характеристика	B	C	D	B	C	D	B	C	D	B	C	D	B	C
Количество полюсов	3		4		3		4		3		3		4	
Номинальный ток (А)	80		100		125		80		100		125		80	
<b>Отходящие автоматические выключатели: QF2–QF6</b>														
Характеристика	B	C	D	B	C	D	B							
Количество полюсов	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	
Номинальный ток (А)	16	20	25	16	20	25	16	20	25	16	20	25	16	

## Содержание отчета

Отчет по работе должен быть выполненным в печатном виде и содержать титульный лист и описательную часть. В описательной части должны быть приведены:

1. Цель работы.
2. Краткие сведения о ПО *Rapsodie*.
3. Исходные данные.
4. Сгенерированный отчет в ПО *Rapsodie*:
  - список оборудования;
  - однолинейная схема;
  - вид щитка спереди.
5. Вывод о проделанной работе.

## Контрольные вопросы

1. Какие требования предъявляются к корпусу электрического щита?
2. Наиболее безопасный способ (место) размещения фазных шин в электрическом щите?
3. Что изображается на однолинейной электрической схеме?
4. Что включает в себя спецификация электрического щита?
5. Показать на схеме подключение автоматического выключателя, рубильника (выключателя-нагрузки), устройства защитного отключения (УЗО).

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ФИЛЬТРОВ СТАТИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ MATLAB SIMULINK

## Цель работы

Получение навыков работы с программным обеспечением *MATLAB Simulink*. Произвести исследование эффективности действия индуктивного  $L$ -фильтра и  $\Gamma$ -образного  $L$ - $C$ -фильтра, входящих в состав статических преобразователей постоянного тока.

## Общие сведения

В современных регулируемых электроприводах постоянного тока широкое применение нашли полупроводниковые устройства, предназначенные для преобразования трехфазного переменного напряжения промышленной сети в постоянное напряжение. Такие устройства получили название выпрямители. Условно выпрямители можно разделить на две группы:

- неуправляемые выпрямители;
- управляемые выпрямители.

К неуправляемым относятся выпрямители, у которых среднее значение постоянного напряжения на выходе является величиной нерегулируемой. К управляемым, в свою очередь, относятся выпрямители, у которых среднее значение постоянного напряжения на выходе является величиной регулируемой, то есть изменяющейся в соответствии с сигналом управления.

И те и другие выпрямители обладают одним общим недостатком, заключающимся в том, что постоянное напряжение на их выходе носит пульсирующий характер. Пульсации постоянного напряжения приводят к тому, что у исполнительных двигателей, получающих питание от выпрямителей:

- снижается срок службы изоляции обмоток;
- появляются дополнительные потери мощности и снижается коэффициент полезного действия;
- ухудшаются виброакустические характеристики.

В целях устранения указанного недостатка, то есть, в целях уменьшения пульсаций напряжения, поступающего на обмотки исполнительных двигателей, в состав выпрямителей вводят электромагнитные фильтры, которые подключают к выходным клеммам выпрямителя.

Существует большое разнообразие таких фильтров, однако, в выпрямителях, используемых в электроприводах постоянного тока, широкое применение нашли фильтры двух типов:

- индуктивный  $L$ -фильтр;
- $\Gamma$ -образный  $L$ - $C$ -фильтр.

Принципиальные схемы этих фильтров приведены на рисунках 3.1 и 3.2.

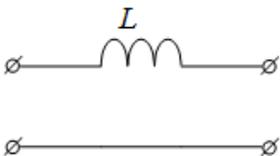


Рис.3.1. Схема индуктивного  $L$ -фильтра

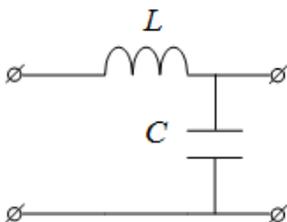


Рис.3.2. Схема  $\Gamma$ -образного  $L$ - $C$ -фильтра

Основные требования, предъявляемые к электромагнитным фильтрам, можно сформулировать следующим образом:

- фильтры не должны изменять режима работы самого выпрямителя;
- фильтры должны обеспечивать заданную степень сглаживания во всех оговоренных режимах работы выпрямителя.

К фильтрам предъявляется еще ряд требований и ограничений, носящих в основном конструктивный и эксплуатационный характер (вес, габариты, стоимость, КПД, и др.).

Для оценки величины пульсаций напряжения, в теории преобразовательной техники вводится показатель, который называется коэффициентом пульсации. Под коэффициентом пульсации ( $\beta$ ) понимают отношение полуразности максимального и минимального мгновенных значений выпрямленного напряжения к его среднему значению (см. рисунок 3.3).

$$\beta = (U_{d \max} - U_{d \min}) / 2U_d. \quad (3.1)$$

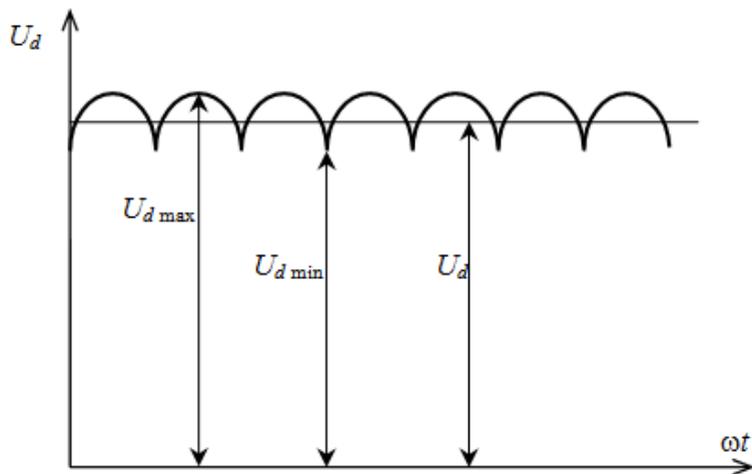


Рис.3.3. Форма выпрямленного напряжения

Эффективность действия фильтра оценивается параметром, который получил название коэффициент сглаживания ( $S$ ), под которым понимают отношение коэффициента пульсации напряжения на входных клеммах фильтра ( $\beta_1$ ) к коэффициенту пульсации напряжения на его выходных клеммах ( $\beta_2$ ):

$$S = \beta_1 / \beta_2. \quad (3.2)$$

Чем больше величина коэффициента сглаживания фильтра, тем эффективней его действие.

Для индуктивного  $L$ -фильтра величина коэффициента сглаживания определяется выражением:

$$S_L = \sqrt{1 + \left(\frac{\omega_m L}{R_d}\right)^2}, \quad (3.3)$$

где  $L$  – величина индуктивности фильтра, Гн;  $R_d$  – величина сопротивления нагрузки, Ом;  $\omega_m$  – частота основной гармоники выпрямленного напряжения.

Анализ формулы (3.3) показывает, что эффективность индуктивного  $L$ -фильтра уменьшается при увеличении сопротивления нагрузки. Действительно, если подобрать величину индуктивности фильтра таким образом, что величина коэффициента сглаживания будет в номинальном режиме работы иметь максимальное значение, то по мере увеличения сопротивления нагрузки величина коэффициента сглаживания начнет уменьшаться. В режиме холостого хода величина коэффициента сглаживания станет равной 1. То есть в режиме холостого хода коэффициенты пульсации напряжения на входе и выходе фильтра равны, а это значит, что в режиме холостого хода и близких к нему режимах индуктивный  $L$ -фильтр практически перестает выполнять свои функции. Это обстоятельство является серьезным недостатком фильтра

Величина коэффициента сглаживания  $\Gamma$ -образного  $L$ - $C$ -фильтра определяется выражением:

$$S_{LC} = \sqrt{\left(\frac{\omega_m L}{R_d}\right)^2 + (\omega_m^2 LC - 1)^2}. \quad (3.4)$$

Анализ этого выражения, показывает, что в  $L$ - $C$ -фильтре недостаток, свойственный индуктивному  $L$ -фильтру в значительной степени ослаблен. Действительно, в режимах близких к холостому ходу, когда величина сопротивления нагрузки стремится к бесконечности, величину коэффициента сглаживания  $L$ - $C$ -фильтра можно вычислить из выражения:

$$S_{LC} = \omega_m^2 LC - 1. \quad (3.5)$$

Исходя из этого выражения, и выбираются величины индуктивности  $L$  и емкости  $C$  фильтра, обеспечивающие требуемое значение коэффициента сглаживания. В этом случае по мере уменьшения сопротивления нагрузки величина коэффициента сглаживания будет увеличиваться, т.е. эффективность фильтра будет расти. Таким образом, при правильном выборе параметров  $\Gamma$ -образный  $L$ - $C$ -фильтр обеспечивает необходимое сглаживание пульсаций выпрямленного напряжения во всех режимах работы, начиная от номинального и заканчивая режимом работы холостого хода.

### Порядок выполнения работы

1. В процессе проведения лабораторной работы производят исследования эффективности действия индуктивного  $L$ -фильтра и  $\Gamma$ -образного  $L$ - $C$ -фильтра. При проведении исследований используют электрическую схему, приведенную на рисунке 3.4 и содержащую: источник однофазного переменного напряжения ( $U$ ), неуправляемый выпрямитель (НВ), обратный диод ( $VD$ ), фильтр ( $\Phi$ ) и нагрузочный резистор ( $R_d$ ).

Номинальные параметры элементов, входящих в исследуемую схему, приведены в таблице 3.1.

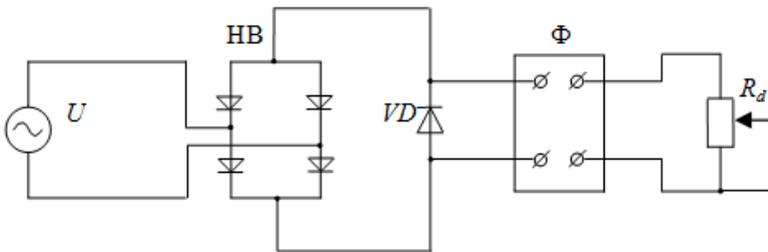


Рис.3.4. Исследуемая электрическая схема

2. В лабораторной работе используется компьютерная модель исследуемой электрической схемы, выполненной с

использованием программного обеспечения (ПО) MATLAB, пакет Simulink [3]. Схема компьютерной модели приведена на рисунке 3.5.

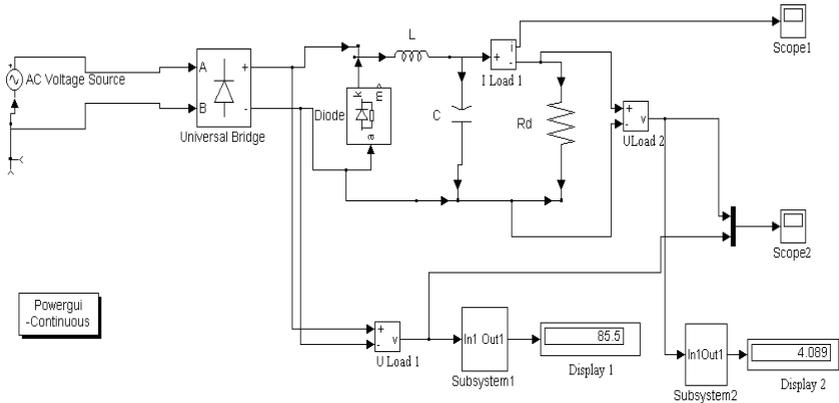


Рис.3.5. Схема компьютерной модели

Компьютерная модель содержит следующие блоки:

- *AC Voltage Source* – библиотечный блок, имитирующий источник однофазного переменного напряжения;
- *Universal Bridge* – библиотечный блок, имитирующий однофазный двухполупериодный неуправляемый выпрямитель;
- *Diode* – библиотечный блок, имитирующий обратный диод;
- *Subsystem1* – субблок, имитирующий измеритель коэффициента пульсации напряжения на входе фильтра;
- *Subsystem2* – субблок, имитирующий измеритель коэффициента пульсации напряжения на выходе фильтра;
- *L, C* – библиотечные блоки, имитирующие индуктивность и конденсатор фильтра;
- *R<sub>d</sub>* – библиотечный блок, имитирующий нагрузочный резистор;
- *U Load 1, U Load 2, I Load 1* – блоки измерения мгновенных значений напряжения на входе и выходе фильтра и блок измерения мгновенных значений тока в нагрузочном резисторе;
- *Display 1, Display 2* – блоки для наблюдения величин коэффициентов пульсации напряжения на входе и выходе фильтра;

– *Scope1*, *Scope2* – библиотечные блоки, имитирующие осциллографы.

3. После инициирования на рабочем столе компьютерной модели, исследования производят в следующей последовательности: сначала исследуется эффективность действия  $L$ -фильтра, затем эффективность  $\Gamma$ -образного  $L$ - $C$ -фильтра.

При исследованиях эффективности действия  $L$ -фильтра производят операции:

3.1) реализуют модель индуктивного  $L$ -фильтра, для чего в инициированной модели устраняют линии, связывающие обкладки конденсатора  $C$  с выходными клеммами фильтра;

3.2) в блоке *AS Voltage Source* устанавливают номинальную величину действующего значения источника электрической энергии 100 В;

3.3) в блоке  $R_d$  устанавливают номинальное значение сопротивления нагрузочного резистора, равное 1,63 Ом;

3.4) в блоке  $L$  устанавливают величину индуктивности фильтра, равной 0,001 Гн, и включают счет, нажимая на пиктограмму «Start»;

3.5) по окончании счета по показаниям блоков *Subsystem1* и *Subsystem2* определяют значения коэффициентов пульсации напряжения на входных ( $\beta_1$ ) и выходных клеммах ( $\beta_2$ )  $L$ -фильтра. Затем по формуле (3.2) рассчитывают значение коэффициента сглаживания;

3.6) если измеренное значение коэффициента пульсации напряжения на выходных клеммах фильтра ( $\beta_2$ ) окажется более 5%, то, производят операции по перечислениям (см. п.3.4 и п.3.5), изменяя величину индуктивности фильтра  $L$ , до тех пор, пока измеренное значение коэффициента пульсации не окажется равным  $\beta_2 \leq 5\%$ . Тем самым определяется необходимая величина индуктивности фильтра, обеспечивающая в номинальном режиме работы требуемое значение коэффициента пульсации напряжения на нагрузочном резисторе;

3.7) устанавливают значение сопротивления нагрузочного резистора  $R_d$  равным 5 Ом и включают счет, нажимая на пиктограмму «Start». По окончании счета по показаниям блоков

*Subsystem1* и *Subsystem2* определяют значения коэффициентов пульсации напряжения на входных ( $\beta_1$ ) и выходных клеммах ( $\beta_2$ ) *L*-фильтра. Затем по формуле (3.2) рассчитывают значение коэффициента сглаживания;

3.8) операции по перечислению (см. п.3.7) повторяют, устанавливая сопротивление нагрузочного резистора  $R_d$  на уровне 10, 20, 50 и 100 Ом;

3.9) пользуясь измеренными и вычисленными значениями, строят зависимость коэффициента пульсации ( $\beta_2$ ) на выходных клеммах фильтра и зависимость коэффициента сглаживания ( $S_L$ ) от величины сопротивления нагрузочного резистора  $R_d$ .

4. При исследованиях эффективности действия *L-C*-фильтра производят следующие операции:

4.1) реализуют модель  $\Gamma$ -образного *L-C* фильтра, для чего восстанавливают линии, связывающие обкладки конденсатора *C* с выходными клеммами фильтра;

4.2) устанавливают величину индуктивности фильтра *L*, равной 0,001 Гн, а величину емкости конденсатора *C* равной 0,0001 Ф и включают счет, нажимая на пиктограмму «*Start*»;

4.3) по окончании счета по показаниям блоков *Subsystem1* и *Subsystem2* определяют значения коэффициентов пульсации напряжения на входных ( $\beta_1$ ) и ( $\beta_2$ ) выходных клеммах фильтра. Затем по формуле (3.2) рассчитывают значение коэффициента сглаживания;

4.4) если измеренное значение коэффициента пульсации напряжения на выходных клеммах фильтра окажется более 5%, то, изменяя величины индуктивности *L* и емкости *C* конденсатора фильтра, производят операции по перечислению (см. п.4.3) до тех пор, пока измеренное значение коэффициента пульсации ( $\beta_2$ ) не окажется равным 5%. Тем самым определяются необходимые величины индуктивности и емкости фильтра, обеспечивающие в номинальном режиме работы требуемое значение коэффициента пульсации напряжения на нагрузочном резисторе;

4.5) устанавливают значение сопротивления нагрузочного резистора  $R_d$  равным 5 Ом и включают счет, нажимая на пиктограмму «*Start*». По окончании счета по показаниям блоков

*Subsystem1* и *Subsystem2* определяют значения коэффициентов пульсации напряжения на входных ( $\beta_1$ ) и выходных клеммах ( $\beta_2$ ) фильтра. Затем по формуле (3.2) рассчитывают значение коэффициента сглаживания;

4.6) операции по перечислению (см. п.4.5) повторяют, устанавливая сопротивление нагрузочного резистора  $R_d$  на уровне 10, 20, 50 и 100 Ом.

4.7) пользуясь измеренными и вычисленными значениями, строят зависимость коэффициента пульсации ( $\beta_2$ ) на выходных клеммах фильтра и зависимость коэффициента сглаживания ( $S_{LC}$ ) от величины сопротивления нагрузочного резистора  $R_d$ .

Таблица 3.1

#### Исходные данные

Параметр	Номер варианта							
	Пример	1–2	3–4	5–6	7–8	9–10	11–12	13–14
Действующее значение напряжения источника электрической энергии, В	100	110	120	130	140	150	160	170
Среднее значение напряжения на выходе выпрямителя, В	90	99	108	117	126	135	144	153
Номинальное значение тока в нагрузочном сопротивлении, А	55	60	65	70	75	80	85	90
Номинальное значение сопротивления нагрузочного резистора, Ом	1,63	1,8	2	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0

#### Содержание отчета

Отчет по работе должен быть выполненным в печатном виде и содержать титульный лист и описательную часть. В описательной части должны быть приведены:

1. Цель работы.
2. Краткая теоретическая часть, содержащая выражения, по которым рассчитываются коэффициент пульсаций и коэффициенты сглаживания индуктивного  $L$ -фильтра и  $\Gamma$ -образного  $L$ - $C$ -фильтра.
3. Исследуемая электрическая схема и ее компьютерная модель.
4. Исходные данные.
5. Графические изображения зависимостей коэффициентов пульсации и коэффициентов сглаживания от величины сопротивления нагрузочного резистора, полученные в ходе исследования.
6. Анализ полученных результатов и выводы.

### **Контрольные вопросы**

1. На какие группы можно условно разделить все выпрямители?
2. Какие выпрямители относятся к неуправляемым?
3. Какие выпрямители относятся к управляемым?
4. Влияние пульсаций постоянного напряжения на работу исполнительных двигателей?
5. Изобразите принципиальные схемы индуктивного  $L$ -фильтра и  $\Gamma$ -образный  $L$ - $C$ -фильтра.
6. Основные требования, предъявляемые к электромагнитным фильтрам?
7. Дополнительные требования, предъявляемые к электромагнитным фильтрам?
8. Как осуществляется оценка величины пульсаций выпрямленного напряжения?

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4. РАСЧЕТ ОСВЕЩЕНИЯ ТОЧЕЧНЫМ МЕТОДОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ DIALUX LIGHT

## Цель работы

Получение навыков работы с программным обеспечением *DIALux Light*. Осуществить расчет освещённости помещения.

## Общие сведения

Программное обеспечение (ПО) *DIALux Light* позволяет спланировать размещение светильников в помещении и рассчитать освещенность точечным методом [2, 4].

После запуска ПО *DIALux Light* пользователь видит диалоговое окно приветствия. Затем нажав кнопку «Далее», осуществляется переход в диалоговое окно «Проектная информация» (см. рисунок 4.1). В окне «Проектная информация» можно ввести данные о проекте, которые будут отображаться на титульном листе. Заполнение этих полей не является обязательным для работы непосредственно с ПО.

Field Name	Value
1. Partner for Contact	Mike Myers
2. Order No.	1234
3. Company	Myco Import
4. Customer No.	10-72-99
5.	

Рис.4.1. Диалоговое окно «Проектная информация»

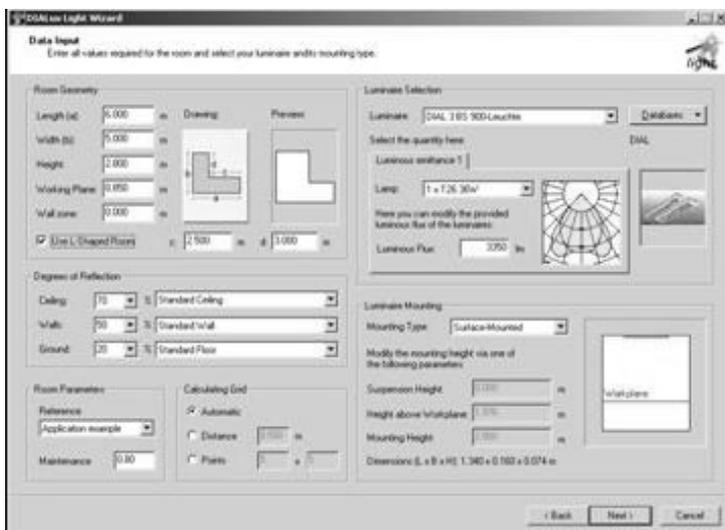


Рис.4.2. Диалоговое окно «Ввод данных»

Нажатие на кнопку «Каталог» открывает доступ к каталогам светильников (см. рисунок 4.3) и собственному банку данных – пользовательской базе данных избранных светильников (см. рисунок 4.4). В каталоге можно выбрать светильник, который будете использовать в проекте, нажав кнопку «Применить».

После этого ПО *DIALux Light* показывает выбранный светильник в соответствующем поле (по умолчанию, всегда отображается последний использованный светильник).

Для перехода к следующему окну щелкнуть на кнопку «Далее».

В диалоговом окне «Расчет и результаты» (см. рисунок 4.5) программа вычисляет необходимое число светильников согласно точечному методу, чтобы достичь требуемой освещенности. Пользователь задает требуемую освещенность в поле «Планируемая освещенность  $E_m$ ». Светильники, которые находятся вне комнаты, не участвуют в расчете освещенности в ПО *DIALux Light*.





Рис.4.5. Диалоговое окно «Расчет и результаты»

Используя поля «Горизонтальное расположение» или «Вертикальное расположение», можно определить/уточнить расстояния между светильниками. Нажатием кнопки «Рассчитать», запускается расчет, результаты которого отображены на рисунке 4.6.

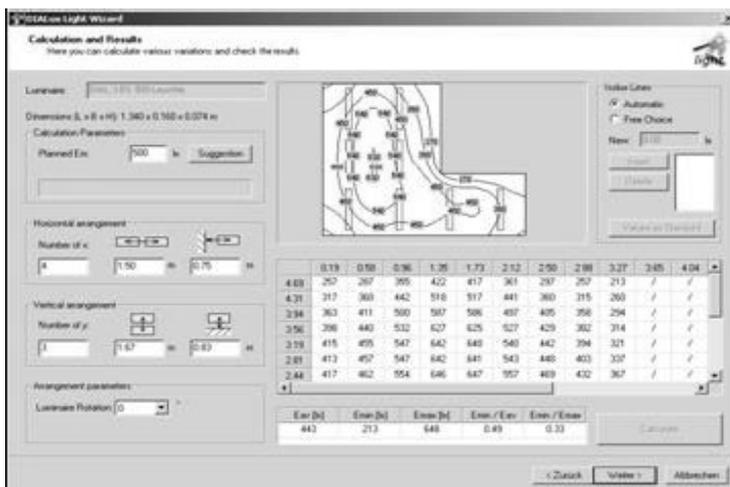


Рис.4.6. Результаты расчета для рабочей плоскости

Для перехода к следующему окну нажать кнопку «Далее».

В диалоговом окне «Вывести результаты» (см. рисунок 4.7), пользователь может выбрать – печатать результаты или сохранить их в электронной форме (PDF файл). Можно выбирать, какие результаты должны действительно распечатываться/сохраняться. По умолчанию все результаты активированы.



Рис.4.7. Диалоговое окно «Вывести результаты»

### Порядок выполнения работы

1. Задать в соответствии с исходными данными (см. таблицу 4.1 и 4.2):

- размеры прямоугольного помещения;
- коэффициенты отражения потолка, стен и пола;
- высоту рабочей плоскости.

2. Выбрать тип светильников на свое усмотрение: со светодиодными лампами для первого помещения; с люминесцентными лампами для второго помещения.

3. Задать норму освещенности («Планируемое  $E_m$ ») в соответствии с исходными данными (см. таблицу 4.1).

4. Произвести расчет в программе для заданных помещений.

5. Сформировать отчет в ПО *DIALux Light*.

Таблица 4.1

## Исходные данные для помещения 1

<b>Номер варианта</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
<b>Тип светильника</b>	Светодиодный													
<b>Длина помещения, м</b>	5	6	7	8	9	5	6	7	8	9	5	6	7	8
<b>Ширина помещения, м</b>	8		6		5		5		8		6		5	
<b>Высота помещения, м</b>	3													
<b>Коэффициент отражения потолка, %</b>	70													
<b>Коэффициент отражения стен, %</b>	50													
<b>Коэффициент отражения пола, %</b>	30													
<b>Высота рабочей плоскости, м</b>	0,8													
<b>Норма освещенности, лк</b>	300		250		300		250		300		250		300	

Таблица 4.2

## Исходные данные для помещения 2

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Тип светильника	Светодиодный													
Длина помещения, м	3		4		3		4		3		4		3	
Ширина помещения, м	5	7	5	7	4	8	4	8	6	6	6	3	2	3
Высота помещения, м	2,5													
Коэффициент отражения потолка, %	60													
Коэффициент отражения стен, %	60													
Коэффициент отражения пола, %	25													
Высота рабочей плоскости, м	0,001													
Норма освещенности, лк	150		200		150		200		150		200		150	

## Содержание отчета

Отчет по работе должен быть выполненным в печатном виде и содержать титульный лист и описательную часть. В описательной части должны быть приведены:

1. Цель работы.
2. Краткие сведения о ПО *DIALux Light*.
3. Исходные данные.
4. Сгенерированный отчет в ПО *DIALux Light* для каждого помещения:
  - паспорт светильника;
  - резюме;
  - протокол ввода;
  - перечень координат светильников.
5. Вывод о проделанной работе.

## Контрольные вопросы

1. В чем заключается цель расчета осветительной установки?
2. Что такое условная рабочая поверхность?
3. В каких случаях рекомендуется использовать точечный метод расчета?
4. Что такое относительная освещенность?
5. Что такое пространственные изолюксы и для чего они применяются?
6. Что такое коэффициенты отражения? На что они влияют и от чего зависят?
7. Учитывается ли в точечных методах расчета отраженный световой поток?

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Красник В.В.* Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. М.: ЭНАС. 2009. 512 с.
2. Программное обеспечение для решения задач электроэнергетики: учеб. пособие / *Бельский А.А., Сычев Ю.А.* СПб: Лема, 2017. 113 с.
3. *Черных И.В.* Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. М.: ДМК Пресс, СПб: Питер, 2008. 288 с.
4. Руководство по решениям в автоматизации // Практические аспекты систем управления технологическими процессами Schneider Electric, 2011. 320 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
Лабораторная работа 1. Исследование селективности защиты выключателей с использованием программного обеспечения OnLine tools .....	4
Лабораторная работа 2. Компоновка силового щитка с использованием программного обеспечения Rapsodie .....	15
Лабораторная работа 3. Исследование электромагнитных фильтров статических преобразователей постоянного тока с использованием программного обеспечения MATLAB Simulink .....	26
Лабораторная работа 4. Расчет освещения точечным методом с использованием программного обеспечения DIALux Light.....	36
Библиографический список.....	44