



ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет»
Институт энергетики, электроники и связи

**СЦЕНАРИЙ И ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ НА
РАЗРАБОТКУ ВИРТУАЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРНОЙ
РАБОТЫ «СХЕМЫ СОЕДИНЕНИЯ
ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА»**

Докладчик: канд. техн. наук,
доцент кафедры электро- и теплоэнергетики
Валиуллин Камиль Рафкатович

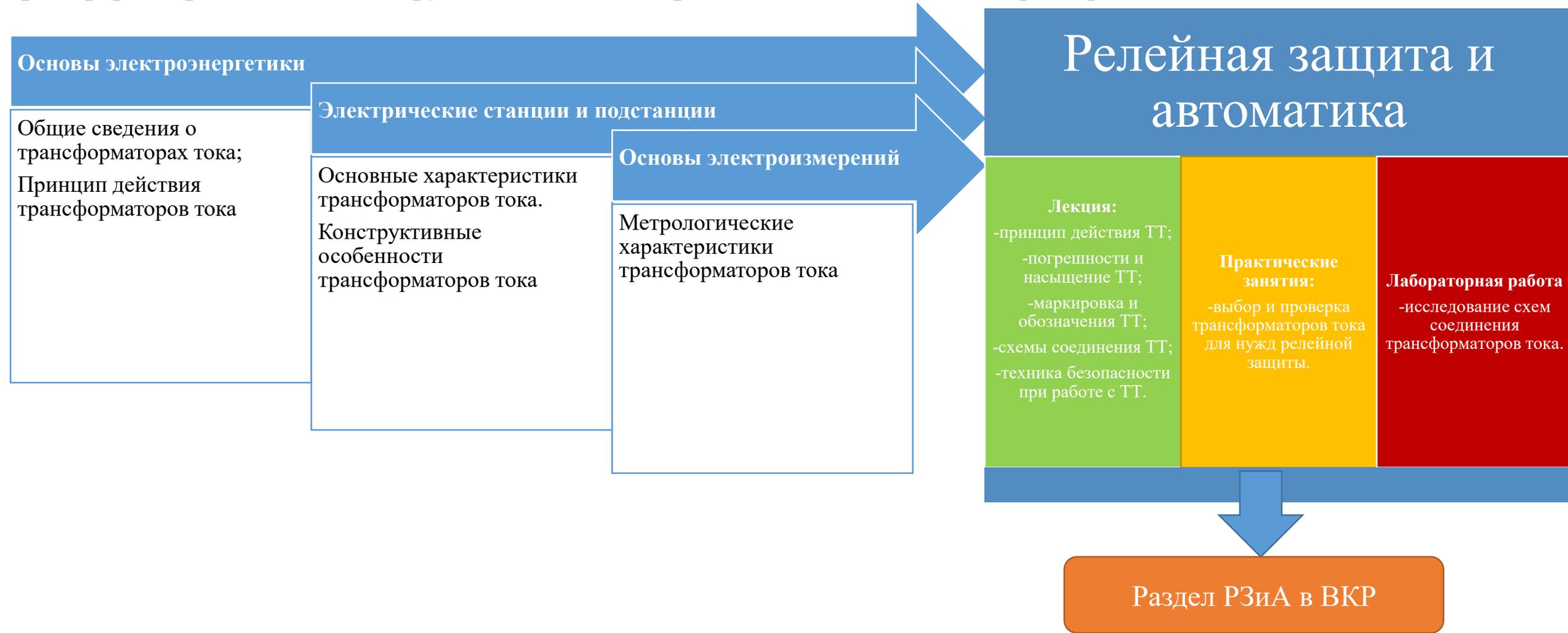
АКТУАЛЬНОСТЬ

- ✓ Возможность проведения лабораторной работы в дистанционном формате;
- ✓ Не требуется дорогостоящее оборудование
- ✓ Возможность самостоятельной работы студентов, в том числе в домашних условиях;
- ✓ Электробезопасность

МЕТОДОЛОГИЯ, ЦЕЛЬ, ЗАДАЧИ

Целью лабораторной работы является знакомство обучающихся с основными схемами соединения трансформаторов тока, используемыми в релейной защите, получение практических навыков работы с трансформаторами тока, закрепление знаний, полученных на лекциях.

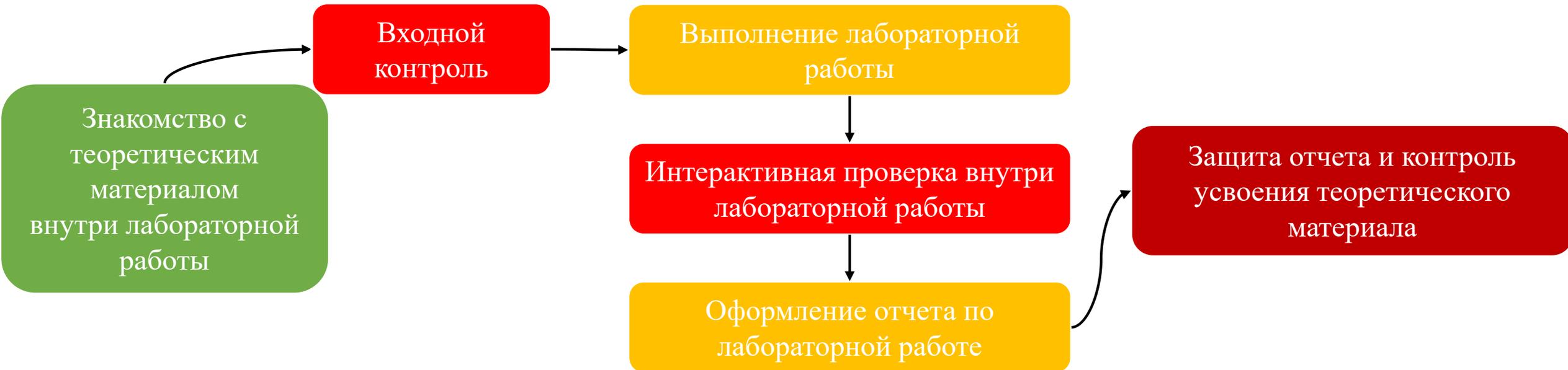
Предполагается, что к моменту проведения лабораторной работы обучающиеся знакомы с принципом действия трансформаторов тока, их конструкцией, областью применения и основными характеристиками.



СТРУКТУРА ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Создание лабораторной работы предполагается в виде отдельного программного средства со структурой интерактивной презентации, содержащей отдельные страницы с теоретическими сведениями, рисунками и пояснениями, а также интерактивные задания, направленные на закрепление полученных знаний по теме.

Лабораторная работа состоит из окон-слайдов, переход между которыми возможен после ознакомления с теорией, либо выполнения интерактивного задания. В окнах с теоретическими сведениями предусмотрены анимации, перезапуск которых возможен нажатием специальной кнопки. Возможно сделать голосовое сопровождение для окон с теоретической информацией.

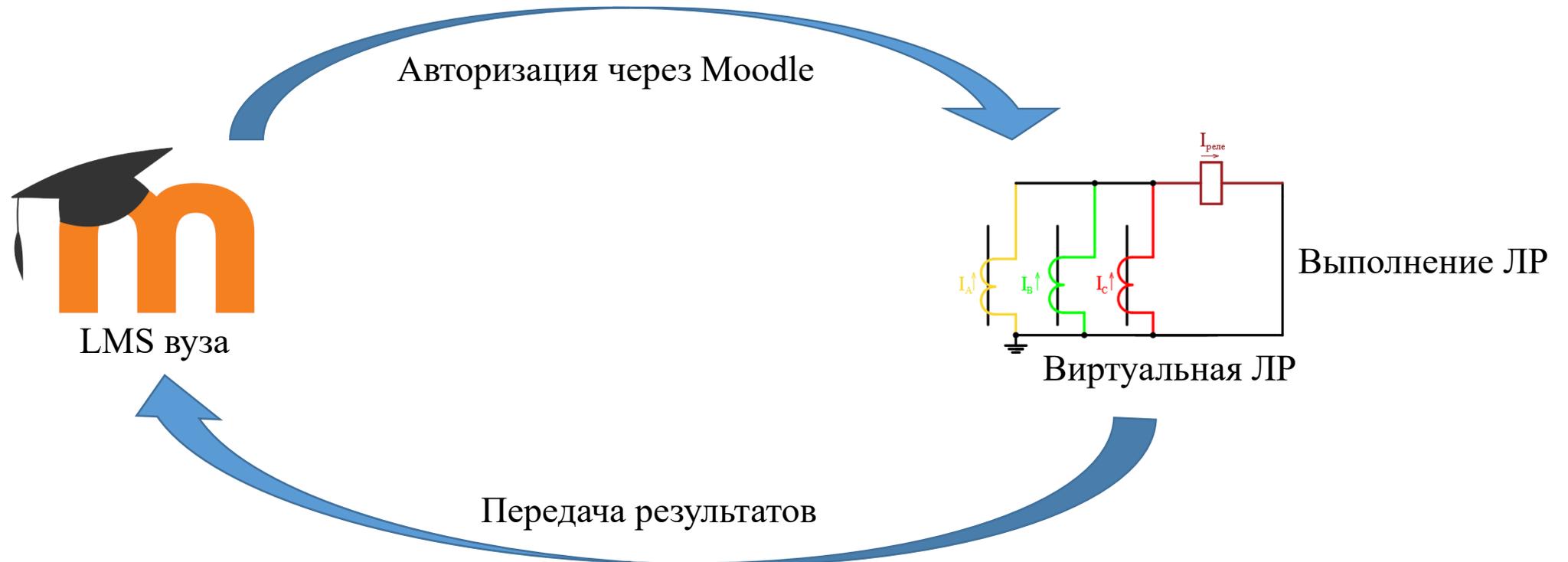


ТЕХНИЧЕСКАЯ СТОРОНА

Возможные способы реализации:

Python (Tkinter, Canvas, Matplotlib) или C# – отдельное приложение;

Javascript – страница, открываемая в браузере (интеграция в Moodle через SCORM)

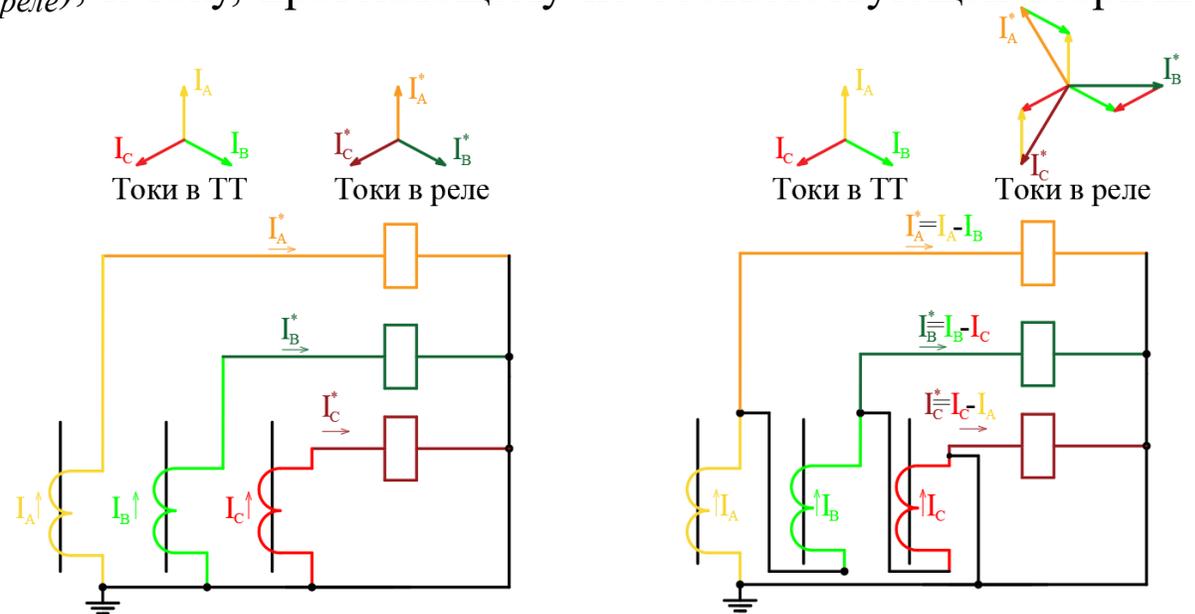


ОКНО 1. КОЭФФИЦИЕНТ СХЕМЫ

Для работы устройств релейной защиты, вторичные обмотки трансформаторов тока соединяют в типовые схемы, каждая из которых обеспечивает то или иное токораспределение в катушках реле защиты. При этом поведение защиты во многом будет определяться не только схемой соединения трансформаторов тока, но и типом повреждения.

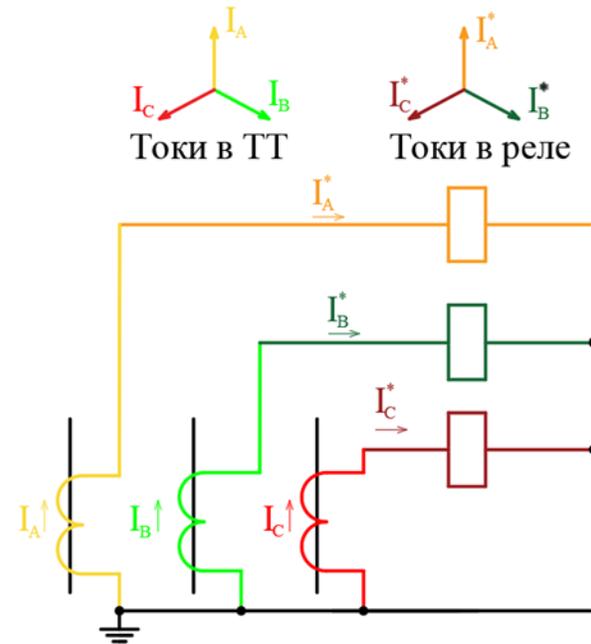
Основной численной характеристикой любой схемы соединения трансформаторов тока является коэффициент схемы k_{cx} , показывающий отношение тока, протекающего в реле ($I_{реле}$), к току, протекающему по соответствующей вторичной обмотке трансформатора тока ($I_{ТТ}$):

$$k_{cx} = \frac{I_{реле}}{I_{ТТ}}$$



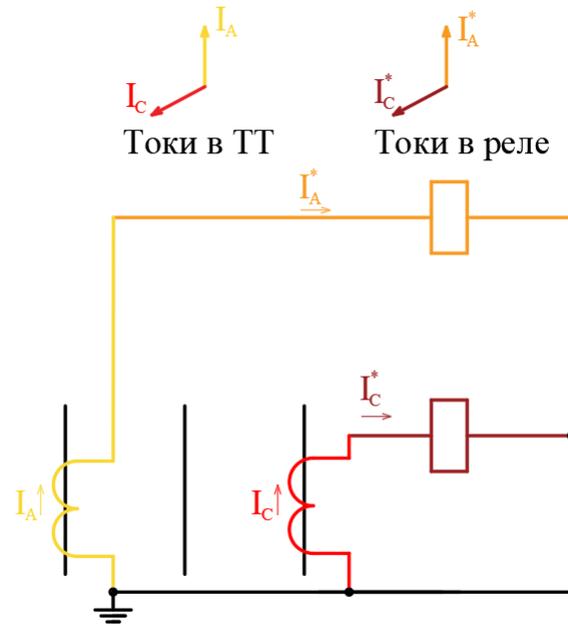
Если трансформаторы тока в звезду, проходящие по обмоткам реле и трансформаторов тока равны. Следовательно $k_{cx} = 1$	В случае соединения трансформаторов тока в треугольник, проходящие по обмоткам реле и трансформаторов тока становятся не равны. Следовательно $k_{cx} \neq 1$
---	---

ОКНО 2. ПОЛНАЯ ЗВЕЗДА



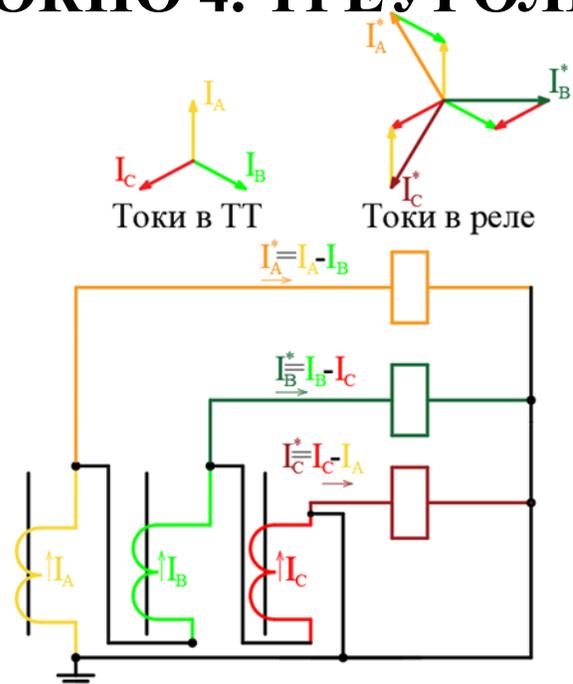
Трансформаторы тока устанавливаются в каждую фазу защищаемого объекта, концы вторичных обмоток соединяются и заземляются, а в начало каждой из обмоток подключается реле. Данная схема является наиболее универсальной и одинаково хорошо реагирует на все виды повреждений. Очевидно, что токи, протекающие в реле, будут равны токам, протекающим в ТТ соответствующих фаз и коэффициент схемы для данного соединения ТТ будет равен единице.

ОКНО 3. НЕПОЛНАЯ ЗВЕЗДА



Данная схема отличается от схемы полной звезды отсутствием трансформатора тока и реле в одной из фаз (как правило, это фаза В). Из-за меньшего количества аппаратов, данная схема является более дешевой, однако в сетях с заземленной нейтралью защита с такой схемой соединения ТТ не будет реагировать на замыкание на землю в фазе В. В связи с этим, схема неполной звезды находит широкое применение только в сетях, работающих с изолированной нейтралью.

ОКНО 4. ТРЕУГОЛЬНИК



Защита, собранная по данной схеме, реагирует на все виды коротких замыканий, однако коэффициент схемы будет отличаться от единицы и будет разным для разных видов повреждений:

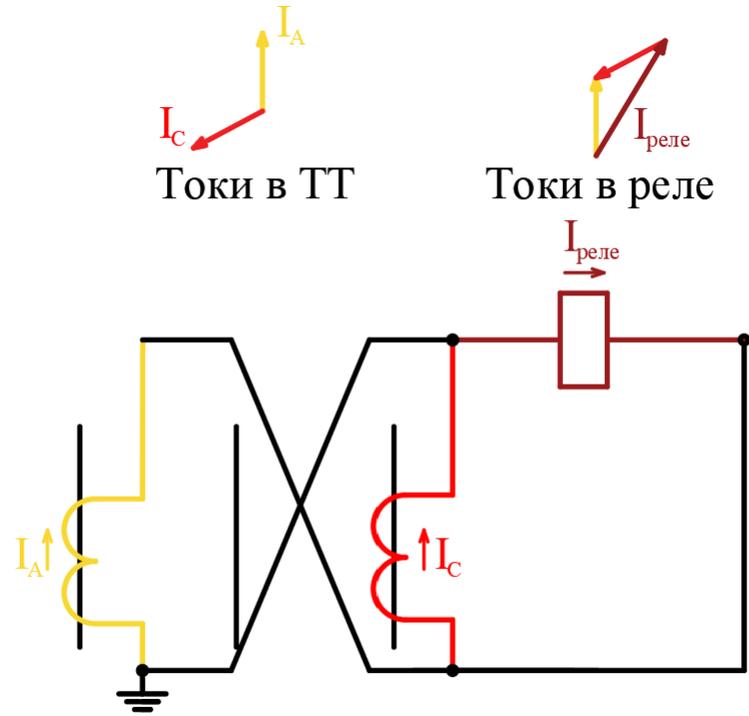
В связи со своей дороговизной и тем, что защита, подключенная к ТТ, соединенным в треугольник имеет разную чувствительность при различных видах повреждений, для простых токовых защит данная схема используется редко.

Широкое применение схема соединения в треугольник находит в дифференциальной

защите трансформаторов.

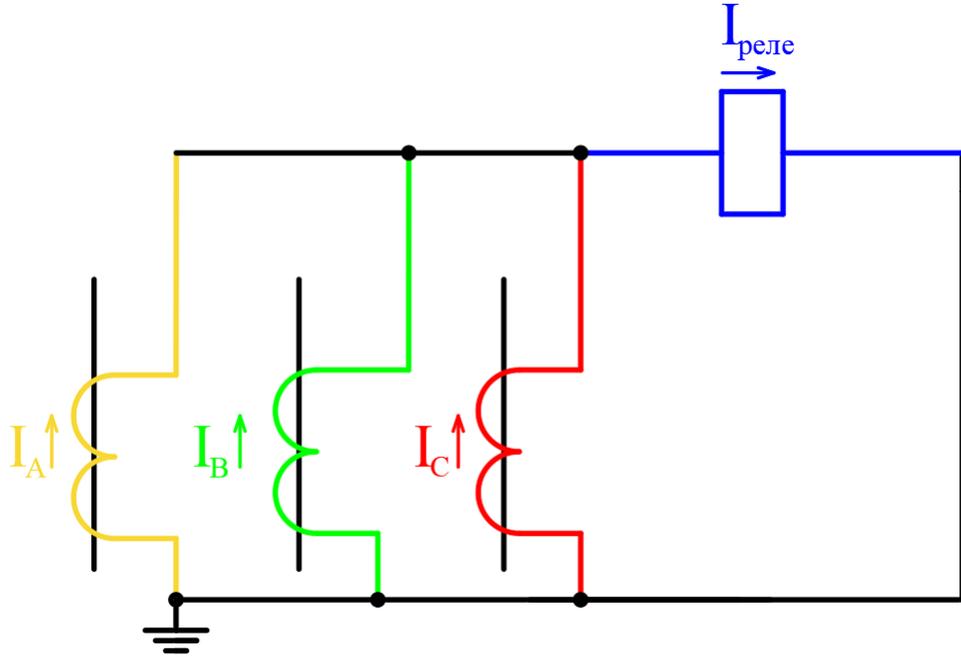
<p>При трёхфазном КЗ $k_{cx}=\sqrt{3}$.</p>	<p>При двухфазном КЗ $k_{cx}=2$.</p>	<p>При однофазном КЗ $k_{cx}=1$.</p>

ОКНО 4. РАЗНОСТЬ ТОКОВ ДВУХ ФАЗ

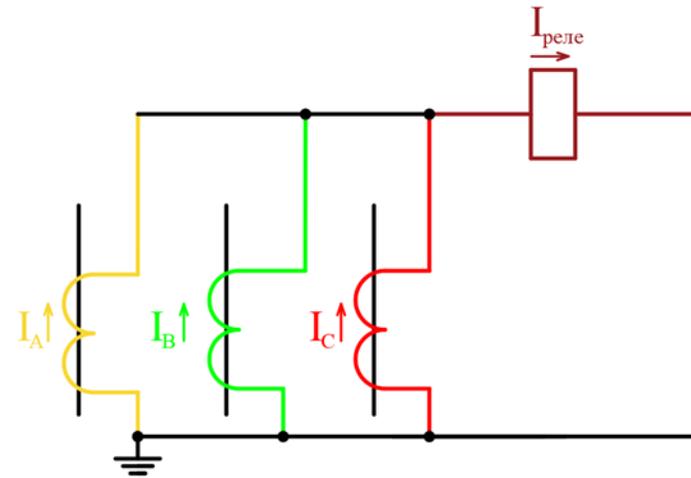


Иногда данную схему также называют «восьмеркой» из-за специфического внешнего вида. Схема является максимально упрощенной и дешевой, но ее чувствительность во многих случаях может оказаться недостаточной. Схема может быть использована только для защиты от многофазных коротких замыканий в сетях с изолированной нейтралью и, как правило, применяется только для неответственных присоединений.

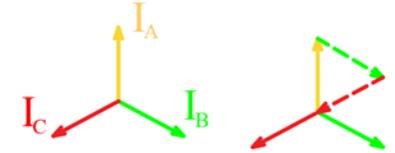
ОКНО 5. ФИЛЬТР ТОКОВ НУЛЕВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ



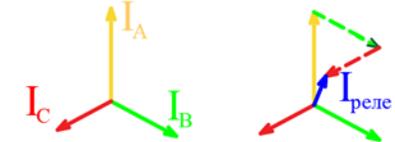
В данной схеме ток в реле появляется только в случае однофазного или двухфазного замыкания на землю. Это обуславливает применение схемы исключительно в защитах от замыканий на землю.



Симметричная нагрузка



Несимметрия нагрузки

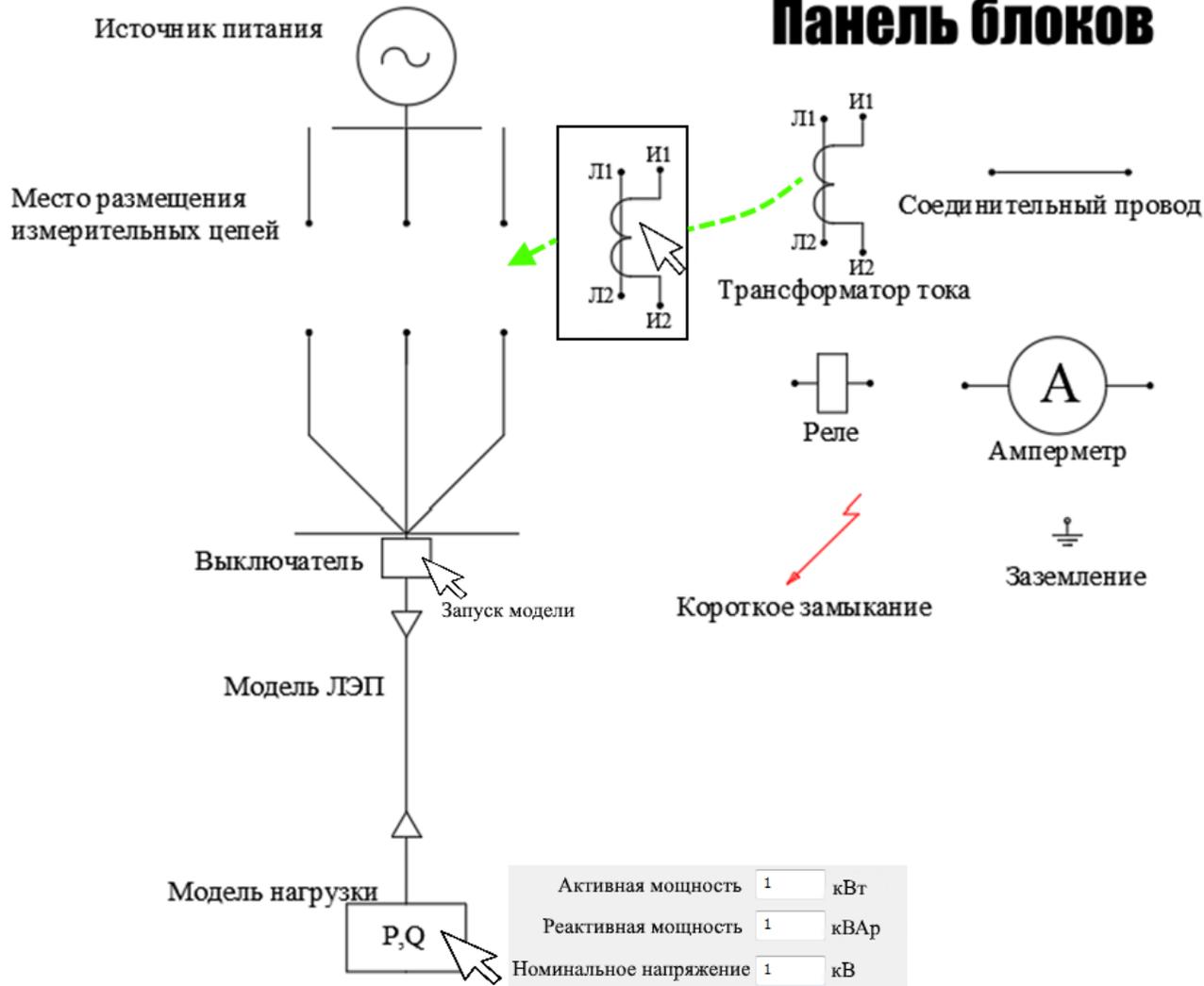


Однофазное КЗ



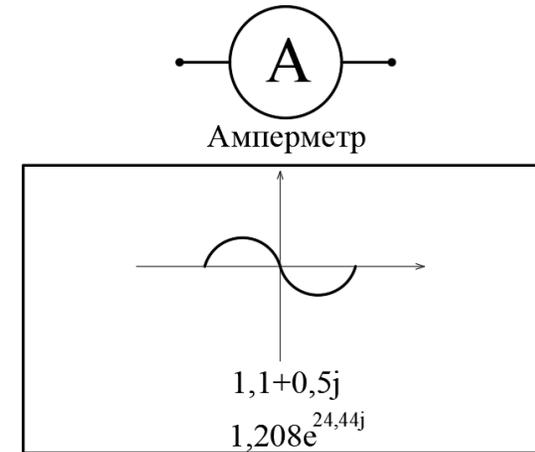
ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ РАБОТЫ

Панель модели



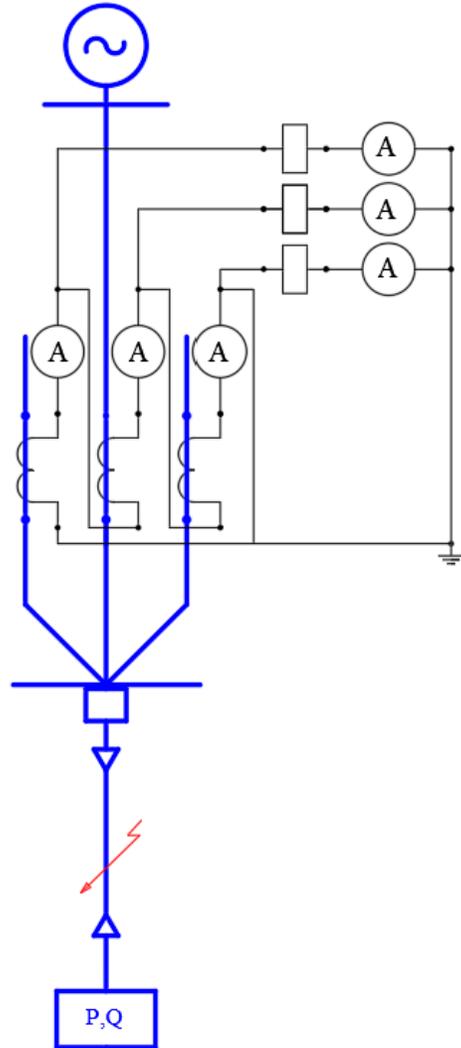
Вид окна модели

Для реализации практической части работы предполагается создание имитационной модели участка электрической сети к которой будут подключаться трансформаторы тока и в которой возможно устраивать различные типы коротких замыканий. Примерный внешний вид представлен на рисунке.



Интерфейс блока «Амперметр»

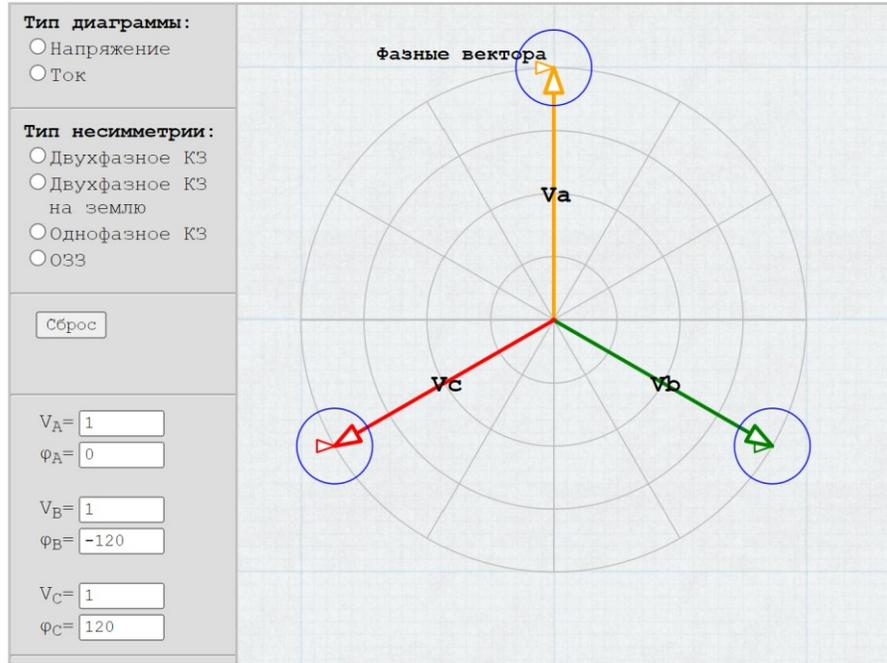
ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ РАБОТЫ



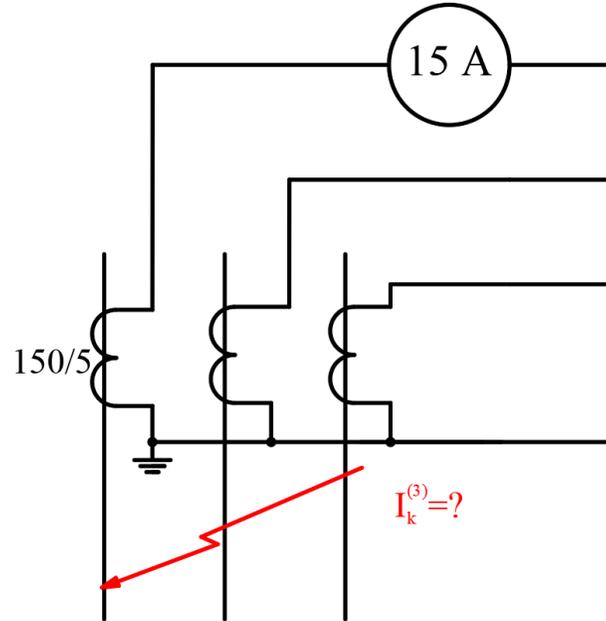
Вид собранной схемы

1. Ознакомьтесь с пунктом «Требования к содержанию отчета» для данной лабораторной работы.
2. Задайте параметры сети, согласно своему варианту задания.
3. Выберите в настройках источника питания «Заземленная нейтраль»
4. Соедините трансформаторы тока в схему звезды и подключите к ним реле и амперметры для измерения токов во вторичной цепи.
5. Включите выключатель Q1. По данным измерений постройте векторные диаграммы токов в ТТ и токов в реле.
6. Проверьте правильность построения векторных диаграмм по результатам программы.
7. Установите на линии блок трехфазного короткого замыкания. По данным измерений, доступным в блоке амперметра постройте векторные диаграммы токов в ТТ и токов в реле.
8. Проведите аналогичные измерения и построения для двух-фазного и трехфазного коротких замыканий.
9. Прodelайте пункты 4-7 для схем соединения «Неполная звезда», «Треугольник», «Разность токов двух фаз», «Фильтр токов нулевой последовательности».
10. Прodelайте пункты 4-8 для сети с изолированной нейтралью.
11. Сделайте выводы по лабораторной работе.

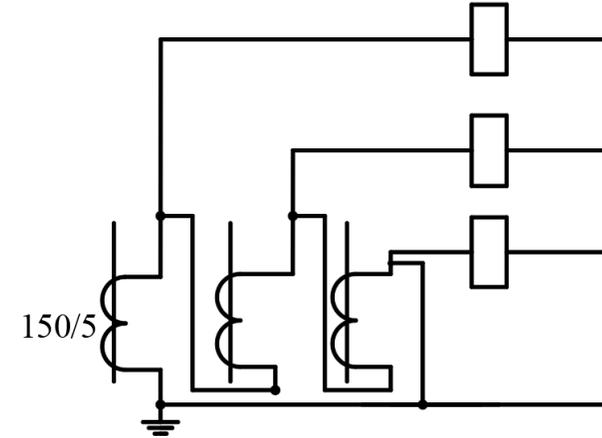
ПРОВЕРКА ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ



Возможные варианты вопросов для самопроверки



Уставка срабатывания защиты: 1200 А (первичные)
Уставка срабатывания реле: _____



Построение векторной диаграммы –
пример с сайта «Проект РЗА»
<https://pro-rza.ru/symcomp/>

Случайным образом в программе выбираются схема соединения ТТ, коэффициент трансформации, расположение амперметра, тип КЗ, уставка срабатывания, что дает большое количество вариантов вопроса. После ответа студента в программе отрисовывается векторная диаграмма с пояснением правильного ответа. Правильные ответы на вопросы допускают студента к защите лабораторной

Список использованных источников

1. Андреев В.А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения. Учебник для вузов. 4-е изд. перераб. и доп. М.: Высш. шк., 2006. — 639 с.: ил.
2. Шабад М. А. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей: Монография/ М. А. Шабад.- СПб.: ПЭИПК, 2003. – 4-е изд., перераб. и доп.– 350 с.
3. Копьев В. Н. Релейная защита: Принципы выполнения и применения: Учебное пособие. 3-е изд., испр. и доп. – Томск: Изд ЭЛТИ ТПУ, 2006. – 143 с.

Спасибо за внимание!

Докладчик: канд. техн. наук,
доцент кафедры электро- и теплоэнергетики
Валиуллин Камиль Рафкатович
ValiullinKamil91@gmail.com