Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Амурский государственный университет»

«Кадры для регионов»

ФГБОУ ВПО «Амурский государственный университет»

Учебное пособие подготовлено в рамках реализации проекта о подготовке высококвалифицированных кадров для предприятий и организаций регионов («Кадры для регионов»)

А.Г. Ротачева

# *СПЕЦИАЛЬНЫЙ КУРС ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ*

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

К ЛАБОРАТОРНОМУ ПРАКТИКУМУ

*Учебное пособие*

Благовещенск
Издательство АмГУ
2014

**ББК 31.277.1я73**

**Р91**

***Печатается по решению редакционно-издательского совета энергетического факультета Амурского государственного университета***

*Разработаны в рамках реализации гранта «Подготовка высококвалифицированных кадров в сфере электроэнергетики и горно-металлургической отрасли для предприятий Амурской области»*

*Рецензенты:*

*Александр Александрович Андро,* директор по информационно-технологическому сопровождению МЭС Востока – филиал ОАО «ФСК ЕЭС»

*Денис Алексеевич Теличенко,* канд., техн., наук кафедры АППиЭ

*Ротачева А.Г.*

Р91Специальный курс электрических станций. Методические указания к лабораторным работам / сост.: Ротачева А.Г. - Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2014.

Методические указания к лабораторным работам предназначено для подготовки бакалавров по направлению 140400.62 «Электроэнергетика и электротехника», профиль: «Электрические станции».

Методические указания к лабораторным занятиям охватывает основные разделы специального курса электрических станций. В число тем, подлежащих изучению, включены: вопросы изучения электрического оборудования электрических станций и подстанций.

Приведены методические указания к выполнению лабораторных работ для студентов.

*В авторской редакции.*

ББК 31.277.1я73

Р91

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение 4

1. Лабораторная работа №1. **ИЗУЧЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ РЕКЛОУЗЕРА** 6

**КОМПЛЕКТНЫЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА**

2. Лабораторная работа №2. **КОМПЛЕКТНЫЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА** 21
3. Лабораторная работа №3. **ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СЕТЬ** 60

## Введение

Важнейшие задачи, решаемые энергетиками и энергостроителями, состоят в непрерывном увеличении объёмов производства, в сокращении сроков строительства новых энергетических объектов и реконструкции старых, уменьшение удельных капиталовложений, повышении производительности труда. Современная энергетика характеризуется нарастающей централизацией производства и распределения электроэнергии.

Цель методических указаний развить у обучающихся способность рассчитывать схемы и элементы основного оборудования электростанций и подстанций, используя современные методы, по проектированию новых электростанций и подстанций.

В процессе освоения данной дисциплины студент формирует и демонстрирует следующие **общекультурные компетенции (ОК) и общепрофессиональные компетенции (ПК):**

В процессе освоения данной дисциплины студент формирует и демонстрирует следующие общекультурные и профессиональные компетенции:

– готовностью к самостоятельной, индивидуальной работе, принятию решений в рамках своей профессиональной компетенции (ОК-7);

– способностью и готовностью к практическому анализу логики различного рода рассуждений, к публичным выступлениям, аргументации, ведению дискуссии и полемики (ОК-12);

– способностью и готовностью анализировать научно-техническую информацию, изучать отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования (ПК-6);

– способностью формировать законченное представление о принятых решениях и полученных результатах в виде отчета с его публикацией (публичной защитой) (ПК-7);

– готовностью участвовать в работе над проектами электроэнергетических и электротехнических систем и отдельных их компонентов (ПК-8);

– способностью применять способы графического отображения геометрических образов изделий и объектов электрооборудования, схем и систем (ПК-12);

- готовностью разрабатывать технологические узлы электроэнергетического оборудования (ПК-17);

- способностью к обучению на втором уровне высшего профессионального образования, получению знаний по одному из профилей в области научных исследований и педагогической деятельности (ПК-33);

- способностью координировать деятельность членов трудового коллектива (ПК-34);

- способность к участию в разработке проектов электрической части электростанции (подстанции) (ПСК-1);

- способность использовать системы автоматизированного проектирования электроусановок (ПСК-2);

- способность оперативно включиться в работу электротехнического персонала в аварийных условиях (ПСК-6);

- готовность производить монтаж новейшего электротехнического оборудования и его регулировку (ПСК-7);

- способность производить диагностику электрооборудования и организовывать его текущие ремонты (ПСК-9);

- способность к освоению вводимого в эксплуатацию электрооборудования (ПСК-10).

Лабораторная работа №1

# ИЗУЧЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ РЕКЛОУЗЕРА

## Цель работы

Ознакомление с устройством, функциональными возможностями и порядком эксплуатации реклоузера вакуумного серии TEL.

## Задание

1. Ознакомиться с краткими теоретическими сведениями и дать ответы на контрольные вопросы.
2. Произвести подбор реклоузера в соответствии с предложенным преподавателем заданием.

## Краткие теоретические сведения

Реклоузер представляет собой коммутационный аппарат наружной установки с возможностью АПВ, объединивший в себе передовые технологии микропроцессорной релейной зашиты и автоматики (РЗА) и коммутационной техники.

.Вакуумный реклоузер РВА/TEL-10-12,5/630 У1 производства "Таврида Электрик" представляет собой комплектное распределительное устройство наружной установки для распределительных сетей (6-10 кВ).

Реклоузер вакуумный РВА/TEL-10-12,5/630 (РВА/ TEL) - автоматический пункт секционирования воздушных или комбинированных линий электропередачи трехфазного переменного тока частотой 50(60) Гц номинальным напряжением 10(6) кВ с любым режимом работы нейтрали.

Структура условного обозначения реклоузера представлена на рисунке 1.

Рис. 1. Структура условного обозначения реклоузера

### *Конструкция и технические характеристики*

Конструктивно вакуумный реклоузер PBA/TEL состоит из трех основных элементов (рис. 2):

- коммутационного модуля серии OSM/TEU, который управляется посредством шкафа управления;

- шкаф управления серии RC/TEL,

- микропроцессорная релейная зашита и автоматика.

Между собой они связаны соединительным кабелем CC/TEL

Для настройки параметров шкафа управления, ввода уставок РЗиА и просмотра накопленной реклоузером информации используется специальное программное обеспечение TELUS.

Таблица 1.

| Наименование параметра | Значение |
|---|---|
| Номинальное напряжение, кВ | 10 |
| Наибольшее рабочее напряжение , кВ | 12 |
| Номинальный ток, А | 400 |
| Номинальный ток отключения, кА | 12,5 |
| Время включения собственное, мс, не более | 60 |
| Время отключения полное, мс, не более | 40 |
| Время отключения собственное, мс, не более | 30 |
| Ресурс по коммутационной стойкости, операций В-О:<br>при номинальном токе<br>при номинальном токе отключения | <br>50 000<br>50 |
| Минимальная рабочая температура | -45°С |
| Максимальная рабочая температура | +55°С |
| Максимальная влажность, % | 100 |
| Климатическое исполнение по ГОСТ 15150-69 | У1 |

| Наименование параметра | Значение |
|---|---|
| Максимальная высота над уровнем моря, м не более | 1000 |
| Номинальное напряжение цепей управления, В | 220, 127 |
| При отключении питания в главной цепи (цепи ТН для конструкт. исп. 2, 3) реклоузер выполняет стандартные операции в течение, часы, не менее<br>при температуре окр. воздуха 20°С<br>при температуре окр. воздуха -45°С | <br><br>48<br>12 |

1. Конструкция коммутационного модуля

Коммутационный модуль PBA/TEL сочетает в себе комбинацию твердой и воздушной изоляции токоведуших частей. Вакуумный выключатель BB/TEL в твердой изоляции размешен внутри герметичного металлического защитного корпуса. Такая конструкция позволяет значительно сократить массогабаритные показатели модуля, исключить возможность возникновения внутреннего перекрытия изоляции токоведуших частей, а также разместить в составе модуля встроенную систему измерения токов и напряжения.

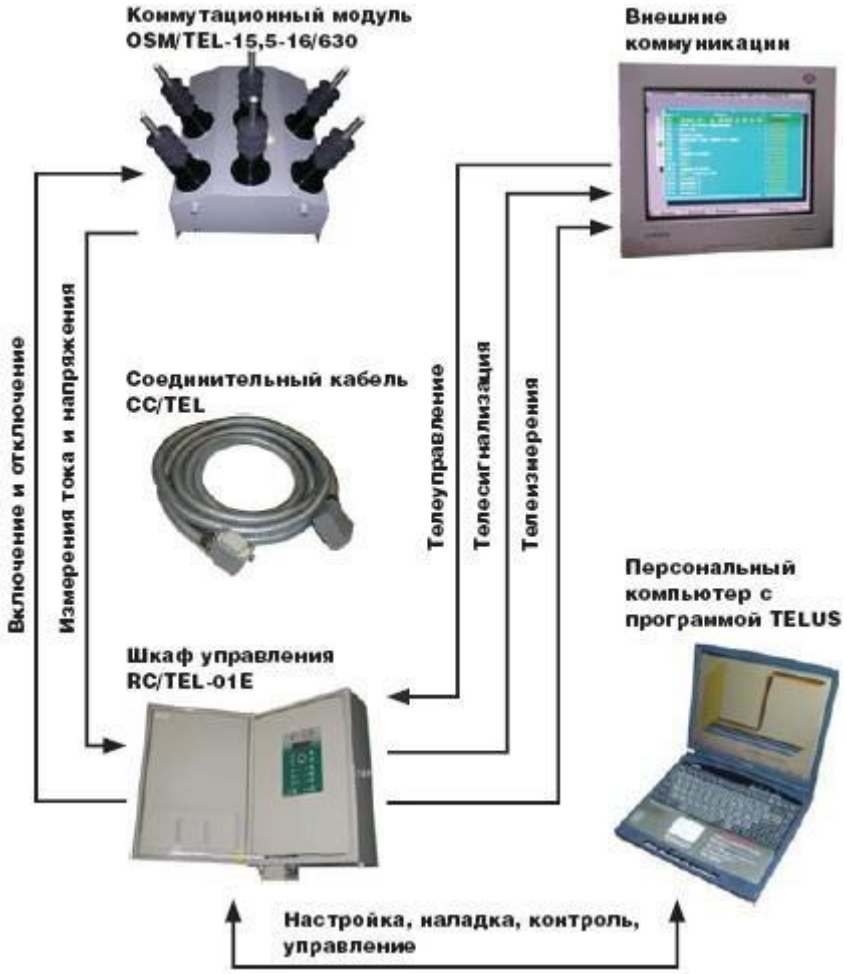



Рис. 2. Принципиальная схема вакуумного реклоузера PBA/TEL

Корпус коммутационного модуля изготовлен из прочного коррозионностойкого алюминиевого сплава, покрытого слоем порошковой краски (рис. 3).

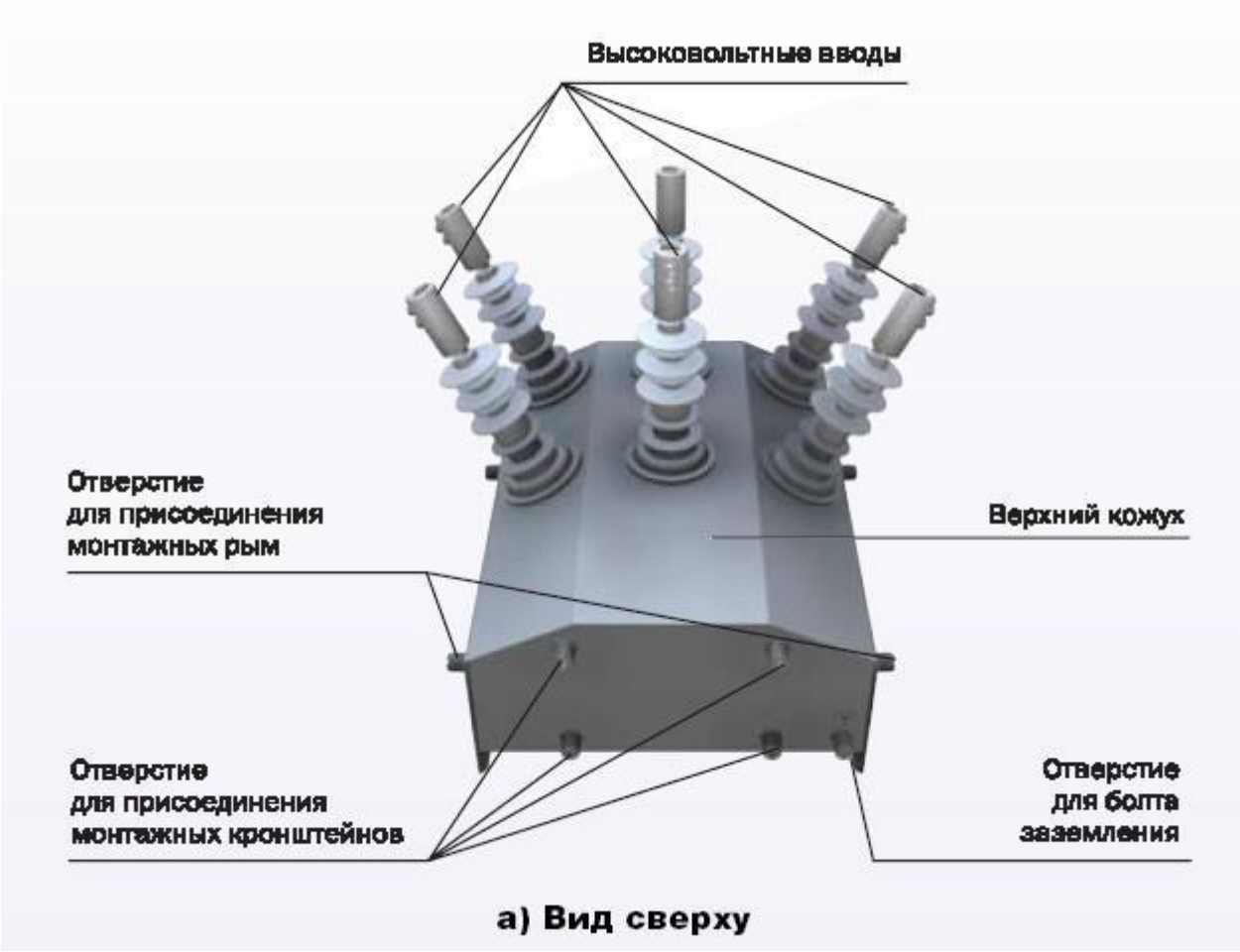



Рис. 3. Корпус коммутационного модуля

В конструкции коммутационного модуля предусмотрено кольцо ручного отключения, предназначенное для выполнения операции ручного механического отключения реклоузера.

2.Конструкция шкафа управления

Шкаф управления (рис. 4, 5) RC/TEL выполнен в виде модульной конструкции, основными элементами которой являются:

- панель управления,
- модуль микропроцессора,
- модуль управления,
- модуль бесперебойного питания, размешенные в защитном

металлическом корпусе.

Рис. 4. Шкаф управления – внешний вид

Рис. 5. Шкаф управления – внутренние модули

### *Функциональные возможности*

PBA/TEL предназначен для выполнения следующих функций:

- токовая защита от междуфазных коротких замыканий (КЗ);
- защита от однофазных замыканий на землю;
- защита минимального напряжения;
- автоматическое повторное включение;
- автоматический ввод резервного питания;
- автоматическая частотная разгрузка.

Дополнительно функциональность реклоузера позволяет осуществлять:

- отстройку от бросков тока намагничивания силовых трансформаторов;
- отстройку от пусковых токов двигателей и увеличения тока при включении на «холодную нагрузку»;
- реализацию режима «работа на линии»;
- координацию последовательности зон в циклах АПВ.

Настройка РЗА производится с панели управления или персонального компьютера посредством программы TELUS.

Широкие функции в сочетании со встроенной системой измерения токов и напряжения позволяют обеспечить быструю автоматическую работу PBA/TEL при повреждениях в сетях любой конфигурации. При этом обеспечивается автоматическая локализация поврежденного участка линии и восстановление питания неповрежденных потребителей за считанные секунды.

1. Токовая защита от междуфазных КЗ

Представляет из себя направленную или ненаправленную трехступенчатую токовую защиту (МТЗ1, МТЗ2, МТЗ3). Одна из ступеней (ОС3) имеет независимую характеристику выдержки времени (времятоковую характеристику ВТХ). Две другие ступени на выбор пользователя могут иметь или зависимую, или независимую ВТХ.

Отличием токовой защиты реклоузера является возможность ее работы с независимыми уставками для прямого и обратного направления потока

мощности (МТЗ1+, МТЗ2+, МТЗ3+, МТЗ1-, МТЗ2-, МТЗ3-). Каждая ступень может быть выбрана как направленной, так и ненаправленной.

Важной отличительной особенностью токовой защиты PBA/TEL является исключительно малая ступень селективности – 0,1-0,2 с.

Основная направленная токовая защита содержит десять время токовых кривых (ВТК) по пять для каждого направления мощности. Каждая ВТК состоит из 4 ступеней, одна из этих ступеней может быть с зависимой характеристикой выдержки времени (рис. 6).

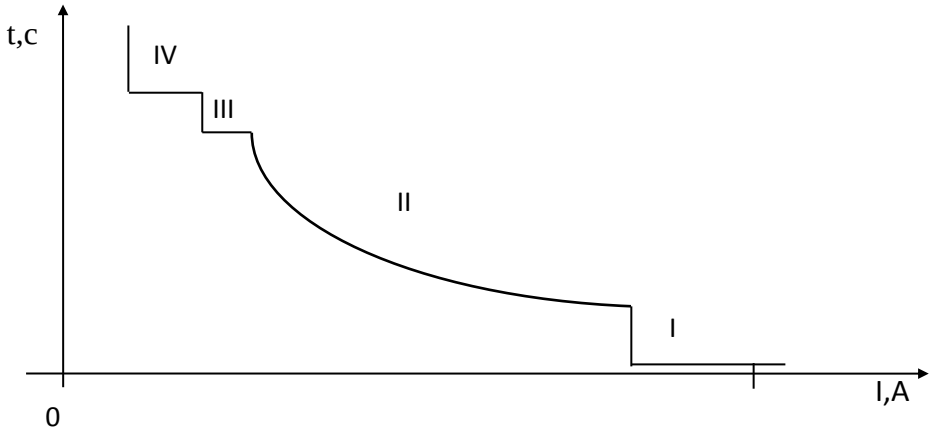



Рис. 6. Времятоковая характеристика направленной токовой защиты

Каждая ВТК соответствует своему режиму работы.

ВТК1 вводится на время ускорения после первого оперативного включения.

ВТК2 введена в нормальном режиме работы

ВТК3, ВТК4, ВТК5 вводятся соответственно на время 1,2,3 циклов АПВ

Имеется возможность ускорения IV ступень токовой защиты при любом включении.

Осуществляется координация зон.

Пределы уставок:

Для I ступени $I_{уст.}$= 100÷6000 А, $t_{уст}$ = 0÷2 с.

Для остальных ступеней $I_{уст.}$ = 40÷1280 А, $t_{уст}$ = 0÷20 с.

2. Защита от однофазных замыканий на землю

Выполнена токовой с контролем посредством датчика тока нулевой последовательности. Защита может быть направленной и ненаправленной. Защита имеет независимую времятоковую характеристику с возможностью независимой настройки в прямом и обратном направлении потока мощности. Возможно действие на сигнал или отключение.

Преимущественно находит применение в сетях с резистивно-заземленной нейтралью, а также в сетях с изолированной нейтралью и токами замыкания на землю более 4 А.

3. Защита минимального напряжения

Использование встроенных с обеих сторон реклоузера датчиков напряжения позволяет реализовать эффективную защиту минимального напряжения (ЗМН). Защита может быть выполнена по фазным и линейным напряжениям. Может быть использована в качестве делительной автоматики в послеаварийных режимах работы сети или для защиты потребителей, чувствительных к асимметрии напряжения.

— ЗМН по фазным напряжениям - реагирует на симметричное снижение напряжений ниже уставки;

— ЗМН по линейным напряжениям - используется для защиты потребителей, чувствительных к асимметрии напряжения.

4. Автоматический ввод резервного питания

Реклоузер PBA/TEL позволяет без установки дополнительных измерительных трансформаторов напряжения выполнять функцию автоматического ввода сетевого резерва на линии. При этом АВР может выполняться односторонним или двухсторонним.

5. Автоматическое повторное включение

В реклоузере выполнено трехкратное АПВ (О-0,1с-ВО-1с-ВО-1с-ВО) с независимым пуском от токовых защит, защиты от однофазных замыканий на землю, а также автоматическое включение при возврате защит минимального напряжения.

Автоматика повторного включения в PBA/TEL характеризуется

отключениями в циклах АПВ. Всего возможно четыре отключения: 1-е (до 1 АПВ), 2-е (после 1 АПВ), 3-е (после 2 АПВ) и 4-е (после 3 АПВ).

6. Отстройка от пусковых токов

Практически всегда при первом включении линии возникает переходной процесс, характеризующийся кратковременными бросками тока. Эти броски тока связаны с токами намагничивания ненагруженных трансформаторов, пусковыми токами двигателей или включением «холодной нагрузки». Первые два режима характеризуются значительными, но кратковременными бросками тока. Включение «холодной нагрузки» происходит при включении группы электроприемников, которые после потери питания в течение некоторого времени выходят на номинальный режим, а, следовательно, на это время происходит менее значительный бросок тока, но более длительный по времени.

7. Режим «работа на линии»

В случае выполнения оперативных или ремонтных работ на линии без снятия напряжения необходимо обеспечить надежную защиту оперативного персонала от последствий возможных повреждений в сети. Для этого в реклоузере предусмотрена возможность местного или дистанционного ввода режима «работа на линии». При этом вводится дополнительная ускоренная ступень токовой защиты с независимой времятоковой характеристикой, действующая с запретом любого автоматического повторного включения.

8. Координация последовательности зон

Очень часто выдержка времени защит в центрах питания ограничена на уровне 0,4—0,6 с. В проектах комплексной автоматизации сети, когда необходимо согласовать большое число последовательно установленных аппаратов, этого значения оказывается недостаточно. В этом случае традиционные терминалы РЗА на ситуацию повлиять не могут и, как следствие, используются в ручных режимах работы. Реклоузер PBA/TEL позволяет решать данную задачу за счет наличия функции координации последовательности зон в циклах АПВ.

9. Измерение электрических величин

Использование в качестве измерительных органов реклоузера PBA/TEL встроенных в коммутационный модуль комбинированных датчиков тока и напряжения позволяет обеспечить широкие возможности по измерению параметров режима работы распределительной сети.

10. Диагностика состояний

В реклоузере предусмотрена система фиксирования событий и диагностики состояний, которая осуществляет регистрацию всех событий, происходящих в реклоузере PBA/TEL (например, состояния РЗА, пуски и срабатывания защит и автоматики, операции включения и отключения и т.д.), для последующего отображения этой информации, формирования журналов оперативных и аварийных событий и передачи по системе телемеханики.

10. Журналы и счетчики оперативных и аварийных событий

В процессе эксплуатации распределительной сети возникает потребность в оперативной информации о ее состоянии, режимах ее функционирования, различных повреждениях на линии.

Эта информация необходима для анализа существующего состояния сети, принятия решения об управлении режимами ее работы, планирования перспективного развития.

Для этих целей в вакуумном реклоузере PBA/TEL предусмотрена возможность ведения журналов и счетчиков оперативных и аварийных событий:

- журнал включений и отключений;
- журнал данных об аварии;
- журнал событий;
- журнал изменения данных;
- журнал изменения нагрузки;
- счетчик операций «ВО»;
- счетчик аварийных отключений;
- счетчик SCADA-системы.

11. Внешние коммуникации

PBA/TEL может работать в двух режимах управления: местном и дистанционном.

В местном режиме управление и обмен данными осуществляется посредством:

- панели управления на внутренней дверце шкафа управления;

- персонального компьютера с программным обеспечением TELUS, подключенного к разъему RS232 на панели управления.

Дистанционные коммуникации осуществляются посредством:

- релейно-контактных систем управления с использованием модулей дискретных входов/выходов;

- систем телемеханики с использованием различных каналов связи;

- персонального компьютера с программным обеспечением TELUS, подключенного к внутренним коммуникационным интерфейсам шкафа управления.

## ***Монтаж и подключение реклоузеров***

*Установка на опоры воздушных линий*

Для удобства выпускаются монтажные комплекты для установки PBA/TEL на опоры воздушных линий электропередачи. Возможна установка реклоузера на одну или две железобетонные стойки опоры типа СВ.

Монтажные комплекты выполнены из прочных материалов, покрытых слоем порошковой краски. В состав комплектов входит все необходимое для установки вакуумного реклоузера PBA/TEL на опоры линии.

Для установки PBA/TEL с применением двухопорного комплекта (рис. 7) необходимо установить две железобетонные стойки опоры с траверсами и подвесными изоляторами, а также обеспечить спуск заземления.

При использовании одноопорного необходимо обеспечить стойку опоры и внешний спуск заземления. Траверса без подвесных изоляторов входит в комплект. Соединительные зажимы и провода для подключения реклоузера и дополнительного оборудования входят в состав каждого комплекта.

При использовании комплектов собственного производства, отличных от стандартных, необходимо исключать консольное крепление коммутационного модуля к опоре линии.

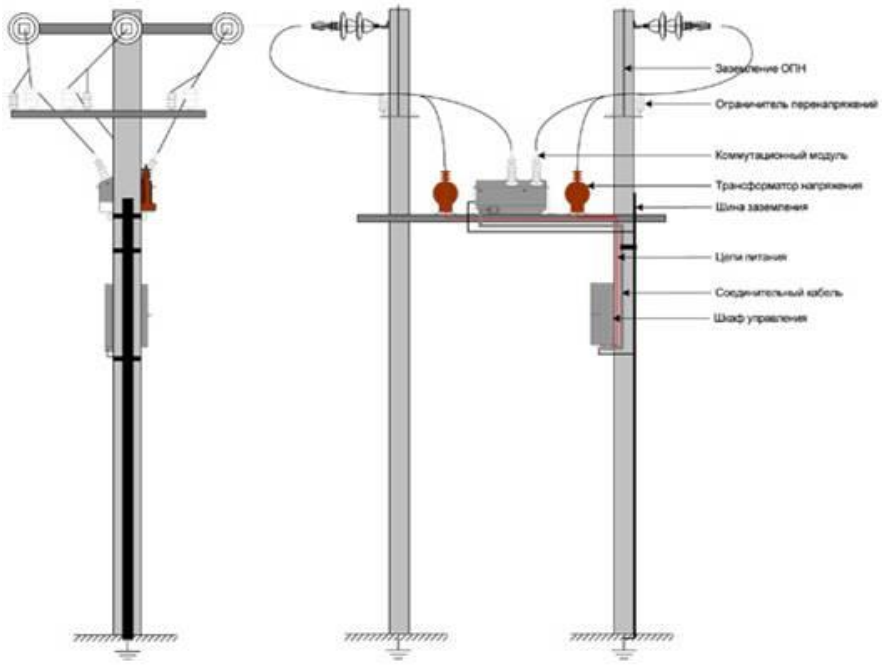



Рис. 7. Установка реклоузера на опорах ВЛ

Коммутационный модуль устанавливается на поддерживающую конструкцию с использованием монтажных отверстий на корпусе модуля. Установка модуля допускается только в горизонтальном положении (вводами вверх). При этом необходимо обеспечить доступ к кольцу ручного отключения и видимость указателя положения главных контактов. При подъеме коммутационного модуля на опоры ВЛ использование высоковольтных выводов не допускается.

Шкаф управления устанавливается на теле опоры. Высота установки шкафа управления определяется проектом.

Для повышения вандалозащищенности шкафа управления целесообразна его установка в зону напряжения (непосредственно вблизи коммутационного модуля).

***Принципиальная схема включения в линию***

Для организации оперативного питания реклоузера предусматривается установка одного или двух трансформаторов собственных нужд мощностью не менее 200 ВА. Для этой цели допускается также использование существующих электрических сетей номинальным напряжением переменного тока 100, 127 или 220 В. Трансформаторы по желанию пользователя могут включаться в комплект поставки реклоузера.

Для защиты PBA/TEL от перенапряжений используются ограничители перенапряжений наружной установки. Рекомендуется установка одного комплекта (в комплекте 3 ОПН) ограничителей перенапряжений при использовании PBA/TEL в качестве фидера на питающей подстанции, при наличии ОПН на сборных шинах. В остальных случаях применения PBA/TEL необходима установка двух комплектов ограничителей перенапряжения.

По требованиям безопасности для организации видимого разрыва в линии допускается с одной или двух сторон установка линейных разъединителей.

***Заземление реклоузера***

Для заземления корпусов коммутационного модуля и шкафа управления используются имеющиеся болты заземления. Заземление выполняется медным проводником на общий спуск заземления, выполненный из листовой стали или катанки. Заземление коммутационного модуля выполняется проводником сечением 20 мм2, шкафа управления – 3,5 мм2.

Заземляющие проводники входят в состав стандартных монтажных комплектов.

Заземление трансформаторов собственных нужд допускается выполнять через общий спуск заземления PBA/TEL.

Заземление ОПН рекомендуется производить отдельным спуском. Установка ОПН на корпус коммутационного модуля не допускается. Сопротивление заземляющего контура опоры ВЛ должно соответствовать требованиям ПУЭ и находиться в пределах от 4 до 10 Ом в зависимости от условий заземления дополнительно устанавливаемого оборудования (устройства связи и т.д.).

### *Техническое обслуживание*

В процессе эксплуатации реклоузер PBA/TEL не требует проведения периодических (плановых) текущих, средних и капитальных ремонтов в течение всего срока службы.

Измерительные датчики тока и напряжения не требуют обслуживания и проведения поверочных работ в течение всего срока службы реклоузера.

Перед отгрузкой потребителям реклоузеры PBA/TEL проходят комплекс приемосдаточных испытаний, о чем имеется соответствующая отметка в паспорте.

Перед вводом в эксплуатацию рекомендуется выполнить проверку работоспособности реклоузера путем выполнения нескольких операций включения и отключения, а также проверить работоспособность механизма ручного отключения.

Профилактический контроль технического состояния реклоузера допускается проводить в следующие сроки: при вводе в эксплуатацию первую проверку – через 2 года эксплуатации, повторные – через 5 лет.

В объем профилактического контроля входят: проверка общего состояния реклоузера (внешний осмотр), проверка работоспособности коммутационного модуля и шкафа управления, проверка израсходованного коммутационного ресурса по счетчику операций «ВО».

Исключением является необходимость контроля состояния аккумуляторной батареи и ее замены после истечения срока службы, который при нормальных условиях эксплуатации составляет 10 лет.

В целях сохранения целостности архива данных рекомендуется периодический съем показаний журналов оперативных и аварийных событий.

### План проведения занятия

1. Ознакомиться с теоретической частью занятия.

2. Разработать план проведения монтажа и обслуживания реклоузера для условий в соответствии с вариантом.

3. Составить отчет.

## Вопросы для контроля

1. Правила заземления реклоузера.
2. Составные элементы реклоузера и функциональное назначение.
3. Какие защиты осуществляет реклоузер?
4. Каким образом осуществляется питание реклоузера?
5. Способы установки реклоузера.
6. Дать разъяснения времятоковой характеристики направленной токовой защиты.

## Рекомендуемая литература


1. Кудрин, Б.И. Системы электроснабжения [Текст] : учеб. пособие.: рек. УМО / Б. И. Кудрин. – М.: Издат. центр Академия, 2011. - 352 с.
2. Основы современной энергетики. Часть 2. Современная электроэнергетика: Учеб.: рек. Мин. обр. РФ/ под ред. Е.В. Аметистова. – М.: Издат. дом МЭИ, 2010. – 632 с.
3. Фортов, В. Е. Энергетика в современном мире [Текст] / В. Е. Фортов, О. С. Попель. - Долгопрудный: Интеллект, 2011. - 168 с.

Лабораторная работа №2

# КОМПЛЕКТНЫЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

**Цель работы**

Изучить конструкцию и область применения комплектных распределительных устройств (КРУ).

**Порядок выполнения работы**

1. Изучить конструкцию, указанной преподавателем серии КРУ.

2. Ознакомится с сеткой схем главных и вторичных соединений яче-ек, входящих в состав серии.

3. Ознакомиться со способами монтажа оборудования в нутрии ячеек, его назначением и электрическими соединениями между ними.

4. Изучить назначение и виды применяемых в КРУ блокировок.

5. Приобрести навыки выбора ячеек по функциональному назначению, климатическому исполнению и категории размещения различных видов КРУ.

6. Составить однолинейную схему электрических соединений указанной ячейки.

**Основные положения**

КРУ — это распределительное устройство, состоящее из закрытых шкафов со встроенными в них аппаратами, измерительными и защитными приборами и вспомогательными устройствами. Шкафы КРУ изготовляются на заводах и поставляются на место монтажа в полностью собранном виде. Шкафы КРУ выполняются по определенной сетке схем главных и вспомогательных соединений.

В зависимости от способа установки аппаратов высокого напряжения комплектные распределительные устройства бывают выкатные - типа КРУ и стационарные типа КСО. В КРУ основной коммутационный аппарат с приводом расположен на выкатной тележке, а в КСО он расположен стационарно в нутрии ячейки.

В зависимости от способа обслуживания КРУ могут быть одностороннего и двухстороннего обслуживания. Одностороннего обслуживания

устанавливаются прислонено к стене и обслуживаются с фасадной стороны. КРУ двух-стороннего обслуживания устанавливаются свободно и имеют проходы как с фасадной, так и задней сторон. Ширина коридоров регламентируется ПУЭ. Они выпускаются для внутренней и наружной установки – КРУН.

Как правило, КРУ напряжением 6-10 кВ имеют четыре отсека:

- отсек измерительных трансформаторов тока и кабельных заделок;
- отсек сборных шин;
- отсек релейной защиты и автоматики;
- отсек силового выключателя.

КРУ выполняются с одной системой сборных шин.

Все схемы вспомогательных цепей КРУ могут быть выполнены применительно к любым видам оперативного тока: постоянного, переменного и выпрямленного.

В качестве изоляции между токоведущими частями в КРУ могут быть использованы воздух, масло, твердая изоляция, инертные газы. КРУ с масляной и газовой изоляцией могут изготовляться на высокие напряжения (в мировой практике есть конструкции на 220, 400 и 500 кВ). В КРУ могут применяться обычные аппараты или специально предназначенные для КРУ, могут сочетаться и те и другие. Например, для КРУ 6—10 кВ применяются выключатели обычной конструкции, а вместо разъединителей — втычные контакты.

Как правило, предприятиями изготавливаются КРУ с техническими данными, соответствующими номинальным параметрам встраиваемого выключателя. Большая часть таких конструкций КРУ - на наиболее распространенные для всех отраслей параметры (напряжение 10 кВ, номинальные токи до 1600 А, токи отключения 12,5 - 20 кА) - изготовляются с применением маломасляных (ВК-10, ВКЭ-10, ВПМ-10 и др.) и электромагнитных (ВЭ-10, ВЭМ-10) выключателей.

КРУ с маломасляными выключателями

Преимущества: самая низкая стоимость; простота конструкции; небольшое количество масла; относительно малая масса; возможность применения для внутренней и наружной установки.

Недостатки: взрыво- и пожароопасность; трудность осуществления подогрева, контроля, доливки и замены масла; непригодность для работы с частыми коммутациями; большой износ дугогасительных контактов; сложность при реализации.

КРУ с электромагнитными выключателями ВЭ-10, ВЭМ-10

Преимущества: взрыво- и пожаробезопасность; малый износ дугогасительных контактов и рабочих элементов дугогасителя; возможность работы с частыми коммутациями; высокая отключающая способность.

Недостатки: сложная конструкция дугогасительного устройства с системой магнитного дутья; ограниченный верхний предел номинального напряжения; ограниченная пригодность для наружной установки.

Эти КРУ разработаны преимущественно в 70-х годах прошлого века. Схемные решения, встраиваемые аппараты и конструктивное исполнение этих КРУ морально устарели, не отвечают современным требованиям надежности, эксплуатационной безопасности и имеют неудовлетворительные массогабаритные показатели. Кроме того камеры оснащались различными вариантами релейной защиты на электромеханических реле.

С появлением малогабаритных высоконадежных вакуумных выключателей была проведена частичная модернизация камер путем замены масляных выключателей вакуумными. Однако, при этом осталось без изменения конструктивное выполнение самих камер. Несмотря на оммитационных характеристик, применение вакуумных выключателей не решило задачу уменьшения массогабаритных показателей этих КРУ в целом. Кроме того, учитывая наивысший механический и коммутационный ресурс вакуумных выключателей в последние годы на промышленных и сетевых

установках (особенно с частыми коммутационными операциями) они практически полностью вытесняют электромагнитные и маломасляные выключателей. Применение маломасляных выключателей (из-за их простоты и относительной дешевизны) сохраняется в тех электроустановках, к которым не предъявляются указанные требования.

КРУ с вакуумными выключателями (ВВЭ-10, ВВТ-10, ВБЭС-10, ВВ/TEL и др.) **имеют следующие** преимущества : полная взрыво- и пожаробезопасность; возможность сверхбыстрого действия и применения в любых циклах АПВ; малая масса и габариты; возможность применения для внутренней и наружной установки; легкость замены дугогасительной камеры; простота эксплуатации.

Недостатки: относительно высокая стоимость; возможные коммутационные перенапряжения при отключении малых индуктивных токов; ограниченный предел отключаемых емкостных токов батарей конденсаторов.

**КРУ с элегазовой изоляцией**

Применение элегаза $SF_6$ в качестве изоляции позволяет создать КРУ на высокие напряжения (в мировой практике до 800 кВ). Выключатели, разъединители, трансформаторы тока с элегазовой изоляцией имеют значительно меньшие габариты, чем такие же аппараты с масляной и фарфоровой изоляцией. Каждый элемент в КРУ с элегазовой изоляцией (КРУЭ) заключают в металлический герметичный заземленный кожух, заполненный элегазом под избыточным давлением. Отдельные элементы (блоки) соединяют с помощью газо-плотных фланцев, а электрические соединения выполняют стержневыми шинами, размещенными в металлических корпусах с элегазом, и стычными контактами розеточного типа. Деление КРУЭ на блоки позволяет при замене одного из них сохранить газовое заполнение в остальной части. Отечественная промышленность выпускает элегазовые трехполюсные ячейки серии ЯЭ-110 рас-считаны на номинальное напряжение 110 кВ, номинальный ток сборных шин 1600 А, ток ответвлений от шин 1250 А, ток отключения выключателя 40 кА. Для схемы с

одной и двумя системами сборных шин серия включает ячейки: линейные ЯЭ-110Л, секционные ЯЭ-110С; шиносоединительные ЯЭ-110Ш и трансформаторов напряжения ЯЭ-110ТН..

В КРУЭ на 220 кВ в отличие от КРУЭ на 110 кВ принято однофазное исполнение сборных шин. Каждая фаза расположена внутри заземленных металлических корпусов и крепится литыми эпоксидными изоляторами. Блок сборных шин в ячейках ЯЭ-220 расположен в нижней части, а выключатель - в верхней части ячейки. Кабельные выводы присоединяются в подвальном помещении.

КРУ с элегазовой изоляцией имеют следующие достоинства: уменьшение требуемой площади в 10-15 раз, увеличение межремонтных периодов, полная автоматизация обслуживания, полная пожаро- и взрывобезопасность, биологическая безопасность для окружающей среды (отсутствие электрических и магнитных полей, низкий уровень шума, отсутствие радиопомех).

Недостатками являются относительно высокая стоимость элегаза, ограничение нижних рабочих температур окружающего воздуха, что приводит к необходимости установки КРУЭ в закрытых помещениях.

Применение КРУЭ позволяет выполнить компактные понижающие подстанции 220/110/10 кВ в центре нагрузок, что очень важно в застройках большой плотности. Строительство подстанций с КРУЭ дает значительную экономию строительно-монтажных работ, в 7-8 раз сокращает расход металлоконструкций.

Концерн ABB серийно выпускает **ячейки PASS.** Она представляет собой практически законченное распределительное устройство (рисунок 1), в которое входит один, два или три (в зависимости от реализуемой схемы) разъединителя (1), заземлители (2), выключатель (3), датчики тока и напряжения (4). **Внутренняя электрическая изоляция** ячейки образована смесью двух газов - элегаза и азота. В отличии от традиционных эле-газовых

КРУЭ, ячейки PASS предназначены для наружной установки, имеют значительно меньшие габариты и вес, монтируются всего на двух облегченных фундаментных опорах, легко включаются в систему автоматизированного управления и практически не требуют обслуживания при эксплуатации. **Конфигурации ячеек PASS** очень разнообразны и могут содержать как одну систему шин, так и две системы шин. Все элементы ячейки, находящиеся под напряжением, заключены в заземленный алюминиевый корпус. Элементы каждой фазы находятся в отдельном корпусе. **Комплектуется ячейка PASS** комбинированным разъединителем-заземлителем, принцип работы которого основан на круговом движении контакта. Такая конструкция включает в себя и функцию автоматической блокировки, т.к. невозможно заземлить разъединитель, не отключив его от системы сборных шин.

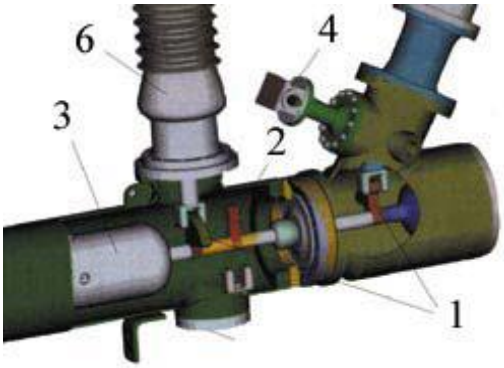



Рисунок 1

При всех вариантах исполнения положение разъединителей однозначно определяется по внешним указателям, механически связанных с валами разъединителя. Кроме того, в корпусе ячейки имеются специальные смотровые окошки (5), позволяющие визуально наблюдать положение контактов разъединителя. **Еще одна особенность ячеек PASS** - это комбинированный датчик тока и напряжения, который позволяет реализовать функции измерительных трансформаторов тока и напряжения. Для измерения тока используется пояс Роговского, а для измерения напряжения - кольцевой емкостной делитель напряжения. Это позволяет добиться не только

компактных размеров, но и избавиться от таких явлений как старение изоляции (масла, твердых диэлектриков в традиционных измерительных трансформаторах), насыщение сердечников и явления феррорезонанса. Возможно так же исполнение ячеек PASS с традиционными трансформаторами тока с кольцевыми сердечниками, устанавливаемыми на вводах, при этом на каждом вводе может быть размещено до пяти сердечников. **Одно из основных достоинств ячейки PASS** - ее компактность: площадь, занимаемая подстанцией, построенной с использованием таких ячеек, уменьшается примерно на 60% по сравнению с подстанцией, построенной на основе традиционного отдельно стоящего оборудования (рисунок 2).

Основным направлением дальнейшего развития и совершенствования КРУ является создание новых и совершенствование выпускаемых конструкций, обеспечивающих:

- высокую степень надежности и безопасности эксплуатации;

Рисунок 2

- повышение уровня заводской готовности и укрупнение блочности поставки;
- максимальное уменьшение массогабаритных показателей;
- сокращение эксплуатационных расходов и обеспечение удобства выполнения технического обслуживания и ремонтов;
- возможность объединения в единую информационную сеть;
- сейсмостойкость и др.

Наиболее полно этим требованиям отвечают современные КРУ, описание которых приведено ниже.

**Ячейки КСО «Аврора» типа КСО-6(10)-Э1**

«АВРОРА» – серия модульных ячеек в металлических корпусах с воздушной изоляцией. В ячейках КСО «Аврора» (рисунок 3) устанавливаются стационарные, но технологически выдвижные или выкатные силовые выключатели, воздушные разъединители и выключатели нагрузки, измерительные трансформаторы тока и напряжения и трансформаторы собственных нужд.

При разработке данной серии учитывались все современные требования надежности и безопасности. Применение оригинальной конструкции, современных коммутационных аппаратов и микропроцессорной релейной защиты позволили достичь следующих преимуществ:

Универсальность применения:

применение в данной серии как выключателей нагрузки с защитой предохранителями, так и вакуум-ных выключателей позволяет применять ячейки как в простых трансформаторных подстанциях, так и в распределительных подстанциях со сложными схемами питания.

Надежность энергоснабжения:

Высоконадежные вакуумные выключатели, воздушные выключатели нагрузки и разъединители с поперечным расположением полюсов по отношению к сборным шинам, широта функциональных возможностей цифровой релейной защиты сводят к минимуму вероятность отказа.

Эксплуатационная безопасность:

Обеспечивается многоуровневой системой блокировок, трехпозиционной конструкцией коммутационных аппаратов и комплексом конструктивных особенностей, позволяющих управлять и контролировать состояние ячейки, не открывая ее дверей.

Простота обслуживания:

Аппараты в ячейке технологически выдвижные или выкатные, все органы управления расположены на передней панели, состояние аппаратов отображается на механических и световых мнемосхемах, ячейки требуют минимального обслуживания во время эксплуатации, цифровые блоки релейной защиты снабжены системой самодиагностики.

Возможность дистанционного управления и сбора данных:

Микропроцессорные блоки релейной защиты могут подключаться в SCADA систему. Управление и мониторинг осуществляются по локальной сети через последовательный интерфейс RS 485 по протоколу MODBUS RTU.

Ячейки КСО-6(10)-Э1 предназначены для комплектования распределительных устройств напряжением 6 и 10 кВ трехфазного переменного тока частотой 50 Гц в сетях с изолированной или заземленной нейтралью.

Ячейки предназначены для работы внутри помещений при следующих условиях:

- высота над уровнем моря до 1000 м;
- температура окружающего воздуха от минус 25°С до плюс 40°С;
- окружающая среда невзрывоопасная, не содержащая токопроводящей пыли и агрессивных газов или паров в концентрациях, разрушающих металлы и изоляцию.

**Структура условного обозначения ячейки АВРОРА**

Таблица 1 - Основные технические характеристики ячейки «АВРОРА»

| Наименование параметра | Значение |
|---|---|
| 1 | 2 |
| Номинальное напряжение, кВ | 6,0; 10,0 |
| Наибольшее рабочее напряжение, кВ | 7,2; 12,0 |
| Номинальный ток главных цепей, А | 400; 630; 1000 |
| Номинальный ток сборных шин, А | 630; 1000 |
| Ток электродинамической стойкости, кА | 51 |
| Ток термической стойкости, в течение 2 с, кА | 20 |
| Номинальный ток отключения вакуумных выключателей, кА | 12,5; 20 |
| Номинальное напряжение, кВ | 6,0; 10,0 |
| | |
| Номинальный ток плавкой вставки предохранителей, А | 4; 6,3; 10; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 160; 200 |
| Номинальный ток отключения предохранителей, кА: 4 – 80 А100 – 200 А | 50<br>31,5 |
| Номинальный ток трансформаторов тока, А | 75; 1500 |
| Номинальное напряжение вспомогательных цепей, В - постоянного тока- переменного тока- освещения (ток переменный) | 110; 220<br>110; 220<br>36 |
| Степень защиты оболочкой по ГОСТ – 14254-96 | IP31 |
| Габаритные размеры, мм:<br>- ширина<br>- глубина<br>- высота<br>без цоколя (Габарит 1)<br>с цоколем (Габарит 2) без цоколя с уменьшенным отсеком РЗА (Габарит 3) | 300; 500; 750<br>800<br>2160<br>2360<br>1950 |
| Срок службы ячеек «АВРОРА», лет | не менее 30 |
| Номинальное напряжение вспомогательных цепей, В - постоянного тока- переменного тока- освещения (ток переменный) | 110; 220<br>110; 220<br>36 |
| | |

Механический и коммутационный ресурсы устройств ячейки представлены в таблице 2:

Таблица 2

| Устройство | Механический ресурс | Коммутационный ресурс |
|---|---|---|
| Вакуумный выключатель BB/TEL | 50 000 циклов включений – отключений | 50 000 циклов включений – отключений номинального тока<br>100 отключений тока (60-100)% от номинального тока отключения |
| Выключатель нагрузки IML | 2000 циклов включений – отключений | 100 циклов включений – отключений номинального тока<br>Cos φ = 0.7 |
| Разъединитель PT, SVR/ti | 2000 циклов включений – отключений | - |
| Заземляющий разъединитель ЗР | 2000 циклов включений – отключений | - |

Выбор плавких вставок предохранителей для защиты трансформаторов производится по следующим параметрам:

- рабочее напряжение

- номинальная мощность трансформатора

В таблице 3 представлены номинальные токи предохранителей в А, при

$5^{o}C < t^{o} < 40^{o}C$:

Таблица 3

| Рабочее напряже-ние, кВ | Номинальная мощность трансформатора, кВА | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 5 5 | 0 0 | 3 3 | 00 | 660 | 550 | 00 | 330 |
| 6 | 0,3 | 0,3 | 0 | 5 | 1,5 | 0 | 3 | 0 |
| 10 | - | - | 0,3 | 6 | 5 | 1,5 | 0 | 3 |

Конструкция и основное оборудование ячейки

Корпус

Ячейка КСО-6(10)-Э1 представляет собой металлоконструкцию, изготовленную из оцинкованной стали толщиной 2 мм. Все несущие соединения выполнены на усиленных стальных вытяжных заклепках. Наружные элементы конструкции (двери, боковые панели и т.д.) окрашены порошковой эмалью RAL

Три отсека ячейки

С целью обеспечения безопасности ячейка разделена на три отсека:

1 Отсек сборных шин.

2 Отсек аппаратов и присоединений кабелей.

3 Отсек релейной защиты и вторичной коммутации.

Ячейка имеет отдельные двери:

- в отсек аппаратов и присоединений кабелей;

- в отсек релейной защиты и вторичной коммутации.

Приводы выключателей нагрузки, разъединителей, заземляющих разъединителей и аппаратов управления расположены с фасадной стороны ячейки.

Отсек сборных шин

Сборные шины изготовлены из электротехнической меди и установлены внутри отсека сборных шин. Шины расположены в одной горизонтальной плоскости и позволяют производить дальнейшее расширение распределительного устройства подстанции. Конструктивно сборные шины опираются на верхние контакты выключателей нагрузки (разъединителей).

При двухрядном расположении ячеек в помещении распределительного устройства между рядами ячеек устанавливается шинный мост. Шинный мост представляет собой металлоконструкцию, собранную из закрытых коробов, с установленными в них изоляторами и шинами, а также коробом для межкамерных соединений.

Отсек аппаратов и присоединений кабелей

В отсеке располагается аппаратура главных цепей: вакуумный выключатель, трансформаторы тока, трансформаторы напряжения, предохранители.

Для защиты потребителя и оборудования от коммутационных и грозовых перенапряжений в цепи силовых выключателей устанавливаются нелинейные ограничители перенапряжений.

Отсек релейной защиты и вторичной коммутации

В отсеке релейной защиты и вторичной коммутации установлены: микропроцессорный блок релейной защиты, приборы контроля и учета электроэнергии, клеммный ряд, вспомогательные цепи, обеспечивающие обогрев, освещение и т.п.

Каналом для цепей релейной защиты, управления, сигнализации и освещения служит короб для межкамерных соединений, расположенный на верх-ней панели отсека релейной защиты и вторичной коммутации.

Кроме того, в ячейках может устанавливаться следующее оборудование:

- 3-х позиционные выключатели нагрузки ВНТ и заземляющие разъединители РТ или двухпозиционный разъединитель SVR/ti (In=1000 A) («Sarel», Италия);

- предохранители («siba», Германия);

- конденсаторы компенсации реактивной мощности CPAKS («ZEZ SILKO», Чехия);

- трансформаторы собственных нужд ТСКС и трансформаторы напряжения НОЛ и НАМИТ;

- трансформаторы тока ТЗЛМ.

**Безопасность эксплуатации**

Блокировочные устройства соответствуют требованиям ГОСТ 12.2.007.4-75 со всеми последними изменениями:

- блокировка включения и отключения разъединителей под нагрузкой;

- блокировка, не допускающая включения выключателя нагрузки (разъединителя) при включенных ножах заземления. Данная блокировка является особенностью трехпозиционной конструкции выключателя нагрузки (разъединителя);

- блокировка, не допускающая включения заземляющего устройства при включенном выключателе нагрузки (разъединителе);

- блокировка, не допускающая открывания дверей высоковольтного отсека при включенных выключателях нагрузки (разъединителях);

- межъячеечные блокировки аппаратов, реализованные с помощью электромагнитных замков;

- в ячейках с заземляющими разъединителями предусмотрена возможность запирания привода заземляющего разъединителя при включенных ножах при помощи замка.

Эксплуатационная безопасность

Эксплуатационную надежность ячеек и безопасность оперативного персонала обеспечивают:

- изолированные в отдельном отсеке сборные шины;

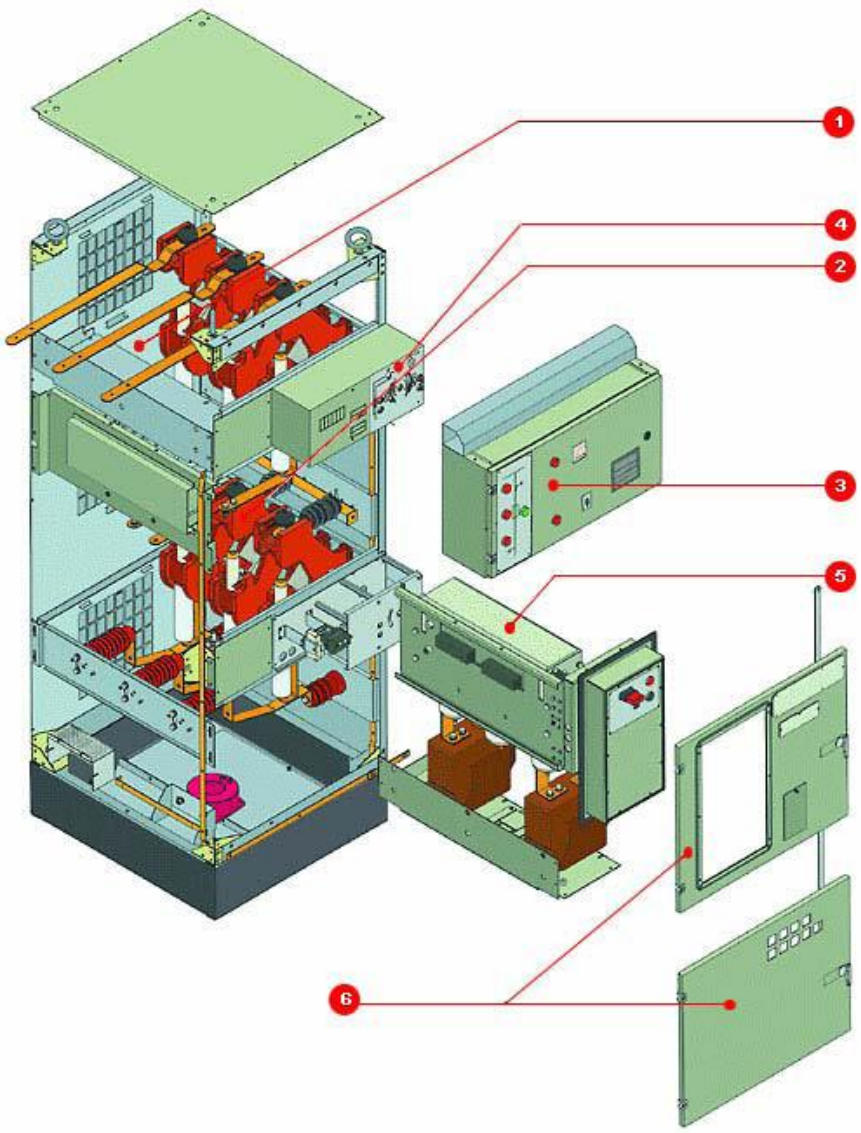
- наличие механической и световой мнемосхемы с индикацией положения аппаратов;

- механический указатель положения контактов, жестко связанный с валом, и видимый разрыв контактов воздушных аппаратов;

- защитные перегородки из прозрачного пластика между отсеками;

- система механических блокировок, не допускающая ошибочных переключений при обслуживании и ремонте.

Конструкция и основное оборудование ячейки показана на рисунке 4.




1-отсек сборных шин;
2-отсек аппаратов и присоединений кабелей;
3-отсек релейной защиты и вторичной коммутации;
4-привод разъединителя;
5-блок вакуумного выключателя;
6-двери.

Рисунок 4

- наличие на задней стенке ячейки разгрузочных клапанов, предназначенных для предотвращения сброса давления в рабочий коридор при возникновении дуги;

- смотровые окна на дверях отсеков и внутреннее освещение с возможностью замены ламп без открывания дверей;

- возможность индикации наличия напряжения 6(10) кВ и фазировки кабеля на низком напряжении без открывания дверей в ячейках со схемами первичных цепей № 1, 2, 6, 7, 10, 11, 16, 17, 19, 21, 24, 30.

Коммутационные аппараты

В ячейках «АВРОРА» устанавливаются стационарные вакуумные выключатели BB/TEL (рисунок 5) производства фирмы «Таврида-Электрик». Вакуумные выключатели серии BB/TEL – это выключатели, в основе принципа действия которых лежит гашение дуги в глубоком вакууме. Фиксация контактов вакуумных дугогасительных камер в замкнутом положении осуществляется за счет остаточной индукции приводных электромагнитов («магнитная защелка»).

В данных выключателях используется принцип соосности электромагнита привода и вакуумной дугогасительной камеры в каждом полюсе выключателя, которые механически соединены между собой общим валом.

Рисунок 5

Выключатели BB/TEL обладают следующими преимуществами:

- малоэнергоемкий привод с магнитной защелкой, высоко надежный в работе;

- высокий механический и коммутационный ресурс (выключатель позволяет производить до 50 000 циклов включения – отключения на номинальном токе и до 100 циклов на номинальном токе отключения);

- малые габариты и вес снижают габариты и вес ячейки;

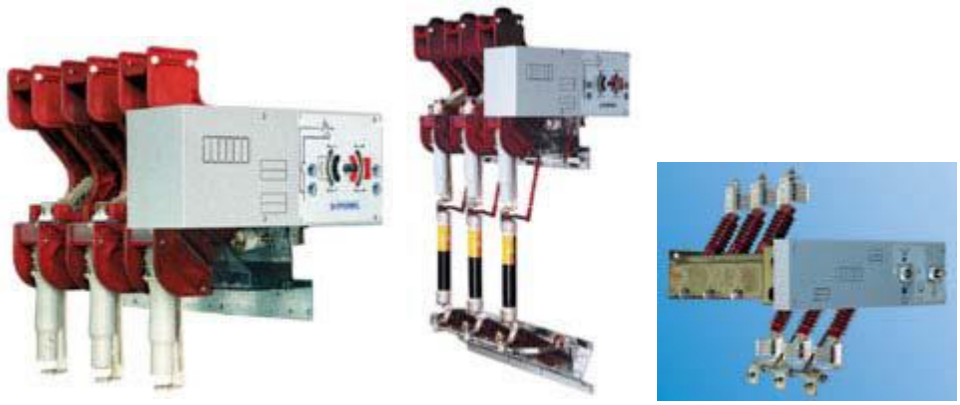
- возможность управления по цепям постоянного и переменного оперативного тока;

- возможность работы при любой ориентации в пространстве;

- не требует ухода и ремонта в течение срока эксплуатации.

В комплекте с выключателем BB/TEL поставляется блок управления BU/TEL 220-05 и блок питания BP/TEL-220-02-У2. В комплекте ячейки может также поставляться блок автономного включения BAV/TEL-220-02.

Выключатель ВНТ (разъединитель РТ) состоит из трех полюсов, установленных на одном валу (рисунок 6). На металлическом основании установлены несущие опорные держатели из высокопрочного изоляционного материала, на которых закреплены неподвижные контактные элементы. Дугогасящая система состоит из пары дугогасительных контактов, расположенных коаксиально внутри главных контактов.



а)Трехпозиционный разъединитель РТ

б)Трехпозиционный выключатель ВНТ

в)Двухпозиционный разъединитель SVR/ti (In=1000 А)

Рисунок 6

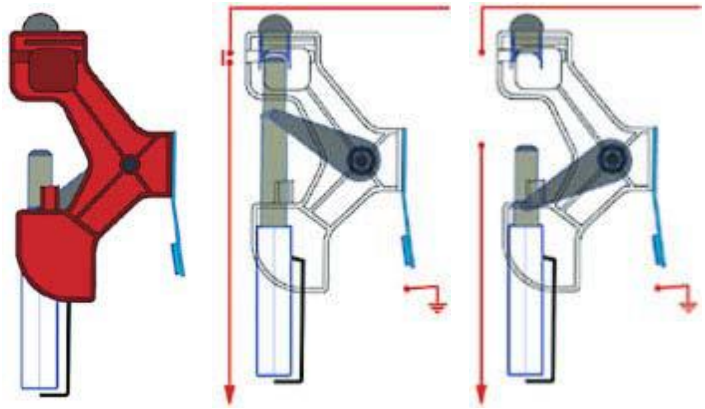
Разъединители РТ и выключатели нагрузки ВНТ имеют одинаковую конструкцию и отличаются только наличием дугогасящего устройства. В данных аппаратах реализован пружинный энергонезависимый привод с ручным либо дистанционным управлением. В ячейке могут устанавливаться двухпозиционный разъединитель ротационного типа с отдельно комплектуемым заземляющим устройством типа SVR/ti.

Принцип действия выключателя нагрузки

Выключатели нагрузки серии ВНТ – это коммутационные аппараты, в основе принципа действия которых лежит гашение электрической дуги под действием автокомпрессии в воздухе.

Ячейки могут комплектоваться выключателями нагрузки с возможностью дистанционного отключения/включения путем подачи сигнала на электромагнит. Выключатели нагрузки с предохранителями автоматически отключаются при перегорании одного из предохранителей.

Выключатель нагрузки ВНТ (разъединитель РТ) включает в себя заземляющее устройство, представляя собой конструкцию трехпозиционного аппарата. Он может находиться в одном из трех положений – «включено», «отключено» или «заземлено» (рисунок 7). Из положения «включено» выключатель (разъединитель) может быть переведен в положение «заземлено» только через положение «отключено». Таким образом, осуществляется естественная блокировка от неправильных действий оператора. Три положения аппарата:



а) включено б) отключено в) заземлено

Рисунок 7

а) Общий вид аппарата б в г

Рисунок 8

Разъединитель РТ состоит из трех полюсов, установленных на одном валу. Корпус изготовлен в виде рамы из стального профильного листа, оцинкованного гальваническим способом, с боковыми пазами для легкой установки в ячейку по направляющим. Направляющие крепятся к обеим боковым стенкам ячейки. При отключении разъединитель своим корпусом и изоляцией подвиж-ных контактов отсекает аппаратный отсек от отсека сборных шин. Токоведу-щая система находится в изоляционной оболочке, выполненной из эпоксидного компаунда. Из этого же материала сделаны опорные изоляторы неподвижных контактов.

**Достоинства коммутационных аппаратов типов ВНТ, РТ и ЗР**

**Малые габариты и вес аппаратов** достигнуты за счет применения со-временных тнологий и полимерных материал с высокимиекоизоляци-онными и механическими характеристиками.

**Высокая коммутационная способность выключателей нагрузки** обеспечивается эффективным энергонезависимым приводом с высокой скоро-стью включения/выключения и системой дугогашения автокомпрессионного типа.

**Безопасность эксплуатации и обслуживания обеспечивается:**

- конструктивным исполнением выключателей нагрузки и разъединителей в виде трехпозиционных коммутационных аппаратов, что исключает ошиб-ки оперативного персонала;

- наличием видимого разрыва в цепи главных контактов;

- наличием механического указателя положения главных контактов;

- наличием прозрачных разделительных перегородок, позволяющих отделить отсек сборных шин от отсека коммутационных аппаратов;

- конструктивными особенностями аппаратов, позволяющими организовать замковые блокировки аппарата во всех положениях, а также механические и электромеханические блокировки с другими аппаратами;

- разнообразие технических решений обеспечивается благодаря возможности комплектования аппаратов различными приводами, изоляторами с емкостными делителями, блок-контактами, блоками дистанционного управления и механизмами отключения выключателя при перегорании предохранителей.

**Минимум обслуживания** обеспечивается благодаря поперечному расположению аппарата по отношению к сборным шинам, в нем отсутствуют нуждающиеся в постоянной регулировке рычаги и узлы сочленения.

Расположение аппаратов в нутрии ячейки показано на рисунке 8, внешний вид которых, с необходимыми пояснениями показаны ниже рисунках 9(1)-9(14)

Рисунок 9

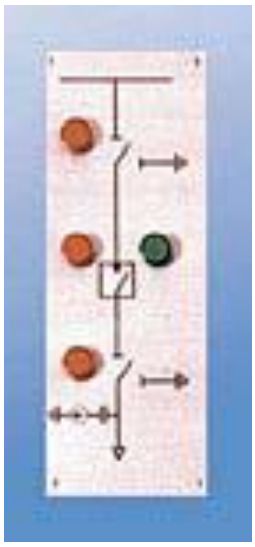


Рисунок 9(1) - Мнемосхема. Световая индикация работы ячейки.

Рисунок 9(2) - Механический указатель положения подвижных контактов. Жестко связан с валом разъединителя.

Рисунок 9(3) - Вакуумный выключатель BB/TEL с приводом. Выдвигается из ячейки на салазках.

Рисунок 9(4) -. Разгрузочные клапаны, На задней стенке ячейки имеются разгрузочные клапаны, предназначенные для предотвращения раздувания ячейки и сброса давления коридор обслуживания.

Рисунок 9(5) - Смотровые окна. Визуальное наблюдение видимого разрыва кон-тактов разъединителя.

Рисунок 9(6) - Лампы внутреннего освещения. Заменяются без открывания дверей.

Рисунок 9(7) - Блок релейной защиты IPR или SMPR (могут ус-танавливаться другие виды защит). Функции: защита, запись аварий и событий, самодиагностика, дистанционное управление коммутационным аппаратом.

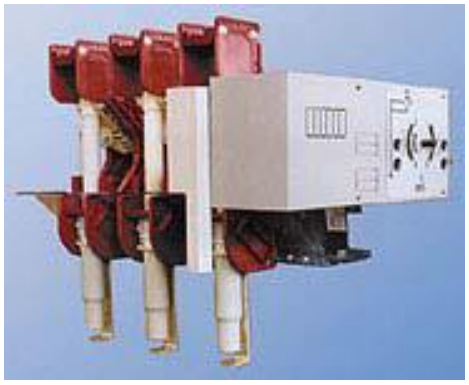


Рисунок 9(8) - Разъединитель РТ, имеющий трехполюсную конст-рукцию с общим приводом. Трехпозиционная конструкция позволяет перевести аппарат в положение «заземлено» только из положения «отключено»

Рисунок 9(9) - Сборные шины, формируются последовательно соединенными секторами изолированной полосы из электротехнической меди. Шины устанавливаются на вы-воды неподвижных контактов разъедините-лей или выключателей на-грузки в изолированном отсеке сборных шин.

Рисунок 9(10) - Нелинейные ограничители перенапряжений, для защиты оборудования от коммутационных и грозовых перенапряжений в цепи силовых выключателей ус-танавливаются нелинейные ограничители перенапряжения в зависимости от характера нагрузки может быть осуществлен подбор необходимых ОПН.

Рисунок 9(11) - Трансформаторы тока ТОЛ, предназначены для преобразования тока высокого напряжения в сигнал измерительной информации для использования в измерительных приборах и устройствах защиты и управления.

Рисунок 9(12) - Блоки индикации напряжения на шинах или на кабеле и гнезда для фазировки на низком напряжении и постоянный визуальный контроль наличия напряжения.

Рисунок 9(13) - Емкостные делители, встроенные в опорные изоляторы, предназначены для преобразования высокого напряжения в сигнал низкого напряжения для использования в блоках индикации.

Рисунок 9(14) - Антиконденсатные нагревательные элементы, Для поддержания нормальных условий работы оборудования по температуре и влажности в ячейках устанавливаются нагревательные элементы, работающие в автоматическом режиме.

Кроме указанных аппаратов в ячейке установлено следующее оборудование (рисунок 10-14).

Рисунок 10- Пульт дистанционного управления выключателем

Трансформаторы напряжения типа НОЛ и НАМИТ - 10 (рисунок 11)

Трансформаторы предназначены для измерения напряжения. В трансформаторе НАМИТ 10 используется дополнительная обмотка,

обеспечивающая защиту от феррорезонанса.

Рисунок 11

Трансформаторы тока нулевой последовательности типа ТЗЛМ, ТДЗЛК (рисунок 12)Трансформаторы тока нулевой последовательности предназначены для питания схем релейной защиты от замыкания на землю. Трансформатор устанавливается на кабель.

Рисунок 12

Гарантированное питание (рисунок 13)

Для обеспечения надежности управления и защи-ты в схему оперативного тока включен источник гарантированного питания, обеспечивающий надежную работу блоков релейной защиты и привода выключателя после пропадания напряжения. Источник гарантийного питания Powerware обеспечивает питание цепей оперативного тока не менее 5 минут при полной нагрузке UPS (1500ВА) после отключения питания 0,4 кВ от трансформатора собственных нужд.

Рисунок 13

Указатель напряжения (рисунок 14)

В комплекте с подстанцией может поставляться высоковольтный указатель напряжения типа Comet BL-A с индикацией на светоизлучающих диодах и функциональной проверкой.

Рисунок 14

**Устройства защиты, контроля и управления**

Релейная защита выполнена с применением микропроцессорных блоков (МБРЗ) СЕРИИ PR (рисунок 15 ) совместного производства ОАО «ПО Элтехника» и фирмы «ORION» (Италия). В качестве базового реле применяется МБРЗ типа IPR.

**Виды защит реле IPR:**

- токовая отсечка от междуфазных замыканий (МФО);
- трехфазная максимальная токовая защита от междуфазных замыканий (МТЗ);
- токовая отсечка от однофазных замыканий на землю (ЗТО);
- максимальная токовая защита от замыканий на землю (ЗМТЗ);
- защита от перегрузки с действием на сигнал.

Рисунок 15

**Виды защит реле SMPR:**

- все виды защиты IPR;

- защита от минимального напряжения (ЗМН);

- защита от повышения напряжения (ЗПН);

- защита от понижения/повышения частоты (также может использоваться в качестве автоматической частотной разгрузки);

- защита по снижению/повышению cos ϕ.

Управление и контроль:

Помимо функций защиты, как и любая цифровая защита, блоки IPR и SMPR оснащены следующими функциями:

- хранение накопительной информации – для диагностики состояния коммутационного аппарата;

- запись аварий и событий;

- самодиагностика, что практически исключает отказ или ложное срабатывание защиты;

-возможность дистанционного управления коммутационным аппаратом по локальным сетям.

Блок может быть включен в SCADA систему. Управление и мониторинг могут осуществляться по локальной сети через последовательный интерфейс RS 485 по протоколу MODBUS RTU.

Бесперебойное питание

Для обеспечения надежности управления и защиты в схему оперативного тока включен источник гарантированного питания, обеспечивающий

надежную работу блоков релейной защиты и привода выключателя после пропадания напряжения.

**АВР**

По требованию заказчика на подстанции может быть выполнена схема автоматического ввода резерва (АВР) по алгоритмам:

- для подстанции с простой схемой (ввод-ввод или ввод-секционный выключатель);

- для подстанции со сложной схемой (три или четыре ввод-секционных выключателей).

**Дуговая защита**

По заказу потребителя ячейки могут быть оснащены современной оптоволоконной дуговой защитой. Особенности построения дуговой защиты таковы, что обеспечивается селективная сигнализация поврежденной ячейки с точностью до отсека и отключение ввода и секционного выключателя с запретом АПВ и АВР.

**КРУ К – 104М**

Комплектные распределительные устройства внутренней установки двухстороннего обслуживания серии К-104М(С1) применяются на тепловых, атомных, газотурбинных электростанциях, трансформаторных подстанциях промпредприятий и т.д.. (рисунок 16) Климатическое исполнение и категория размещения У3, Т3.

Рисунок 16

**Технические данные: К-104М:**

**Параметры** **Значения**

Номинальное напряжение (линейное), кВ 6; 10

Максимальное рабочее напряжение, кВ 7,2; 12

Номинальный ток главных цепей, А 400; 630; 800; 1000; 1250; 1600

Номинальный ток сборных шин, А 1600; 2000; 3150

Номинальный ток отключения выключателей, кА 16; 20; 31,5; 40; 50

Ток термической стойкости (3 сек. для главных цепей; 1 сек. для заземляющих ножей), 20; 31,5; 40

Номинальный ток электродинамической стойкости главных цепей, кА 40;50;80;128

Номинальный ток плавких вставок, А 80 - при напряжении 6 кВ; 20 – при напряжении 10 кВ

Номинальная мощность встраиваемых трансформаторов собственных нужд, кВА 40 .

Ток холостого хода, отключаемый разъемными контактными соединениями, А 0,6 -при напряжении 6 кВ; 0,4 –при напряжении 10 кВ

Номинальное напряжение вспомогательных цепей, В 220; 110 - для постоянного тока; 220 - для переменного тока

Вид управления местное, дистанционное

Верхнее эффективное значение температуры окружающего воздуха для исполнения УЗ 40 °С, для исполнения ТЗ 45 °С.

Нижнее значение температуры окружающего воздуха для исполнения кА.

УЗ минус 25 °С, для исполнения ТЗ минус 10 °С.

Окружающая среда не должна содержать газов, паров и химических отложений, вредных для изоляции.

**Конструкция:**

Корпус К-104М представляет собой набор отдельных модулей, имеющих жесткую стальную конструкцию. В отсеки, с учетом современных требований надежности и безопасности, встроены коммутационная и измерительная аппаратура, заземляющие и блокировочные устройства, токоведущие части и контактные соединения (рисунок 17).

Отличительной особенностью конструкции К-104М является размещение сборных шин КРУ в нижней части шкафов, а также обеспечение их двустороннего обслуживания, что значительно улучшает эксплуатационные качества устройства.

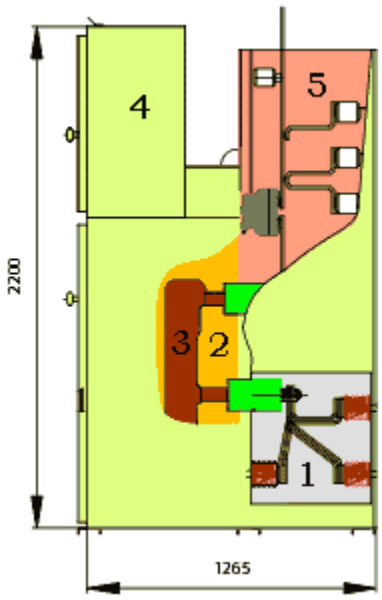
Разделение устройства на модульные отсеки с изоляционными перегородками, обеспечивает локализацию возможной аварии.

По желанию заказчика ячейки комплектуются различными типами выключателей:

- Элегазовыми: VF12 ("АББ Мосэлектрощит"); HD4GT ("АББ Италия"); LF1; LF2 (" Schneider Electric");

- Вакуумными: ВБПВ; ВВЭ-М ( АО"ЭЛКО" г. Минусинск); ВБЧЭ (АО"ЭНЕКО" г. Минусинск); ВБЭК (ГНПП "Контакт" г. Саратов); ВБКЭ ( "НТЭАЗ" г Нижняя Тура); ВВ/TEL ("Таврида электрик"); ЭВОЛИС ("Schneider electric");

- Маломаслянными- ВКЭ-М.( " НТЭАЗ");




1 - отсек сборных шин; 2 - отсек выкатного элемента; 3 - элегазовый выключатель VF12; 4 - релейный отсек; 5 – линейный отсек.

Рисунок 17

В ячейках серии К-104М применяются любые устройства РЗиА.

- с использованием электромеханической аппаратуры;

- на базе микропроцессорных устройств: серий Sepam 2000, Sepam 1000+ ( Schneider Electric); Micom (Alstom); SPACOM (ОАО “ АББ-Реле Чебоксары”); БМРЗ (НТЦ “Механотроника”); Сириус (НПФ “Радиус - Автоматика”); ТЕМП 2501 (ОАО ВНИИР).

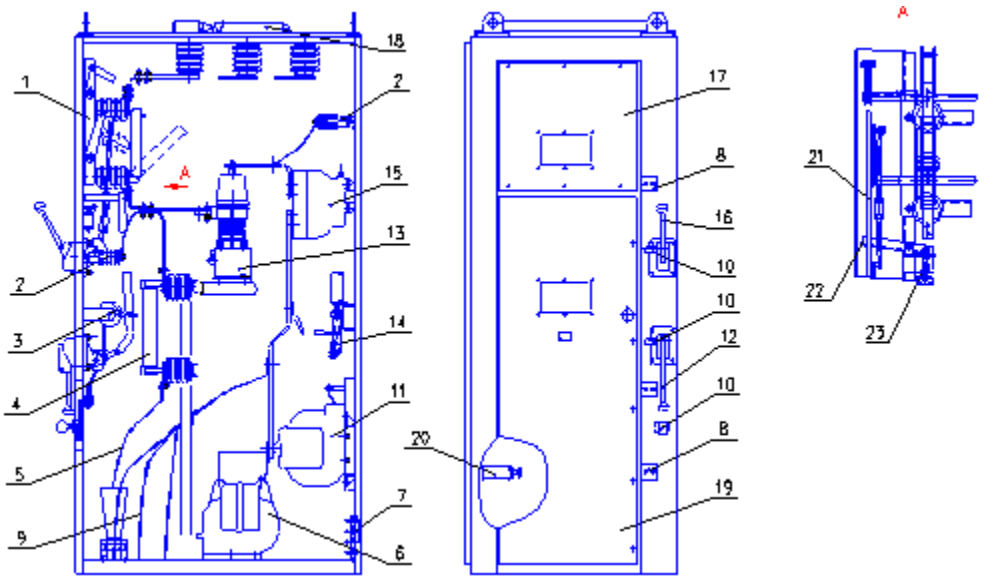
Типовые схемы главных цепей шкафов КРУ серий К-104М и К-104МС1:

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Схема главных цепей | | | | | | | | | | | |
| № схемы | 101 | 102 | 103 | 104 | 105 | 106 | 110 | 111 | 112 | 113 | 114 |
| Номинальный ток, А | 630; 1000; 1250; 1600 | | | | | | | | | | |
| Максимальное количество силовых кабелей | 4(3×240) | | | | | | – | | | | |
| Схема главных цепей | | | | | | | | | | | |
| № схемы | 115 | 122 | 123 | 124 | 125 | 126 | 127 | 128 | 129 | 144 | 146 |
| Номинальный ток, А | 630; 1000; 1250; 1600 | | | | | | | | | | 630 |
| Максимальное количество силовых кабелей | – | | | | | | | | | | 2(3×240) |

**КРУ серии К-104М-ГТЭС**

Эта серия предназначено для приема от генератора и распределения потребителю электроэнергии 3-х фазного переменного тока частотой 50 Гц напряжением 6, 10 кВ и используется для комплектования газотурбинных электростанций мощностью 2,5 – 20 МВт.

КРУ К-104М-ГТЭС состоит из 2-х монтажных элементов: блока высоковольтной аппаратуры (БВА) и блока низковольтной аппаратуры (БНА). БВА состоит из 2-х шкафов, в которых размещена аппаратура в соответствии со схемой. **Шкаф №1 БВА** (рисунок 18) представляет собой металлическую сборносварную конструкцию, в которой установлены следующие аппараты: вакуумный выключатель ВВ/TEL-10-20/1000; разъединители РВЗ-10 с приводами ПР-10; трансформаторы напряжения ЗНОЛ.06; силовые трансформаторы ОЛС-0,63/10; трансформаторы тока ТЛК-10; предохранители ПКТ101-10; ограничители перенапряжений ОПНКС; заземляющий разъединитель с приводом; опорные изоляторы ИОР-10. й главных цепей




1 – разъединитель; 2 – ограничитель перенапряжений; 3 – привод заземляющего разъединителя; 4 – предохранитель; 5,9 – кабель; 6 – силовой трансформатор; 7 – резисторы; 8 – розетка; 10 – замок ЭМБЗ; 11 – трансформатор напряжения; 12,16 – привод; 13 – выключатель вакуумный; 14 – заземляющий разъединитель; 15 – трансформатор тока; 17 – лист съемный; 18 – крышка; 19 – дверь фасадная; 20 – выключатель ВП19; 21 – толкатель; 22 – рычаг; 23 – фиксатор

Рисунок 18 - Шкаф № 1 БВА.

**Блокировочные устройства:**

- между линейным разъединителем 1 и его заземляющими ножами;

- между вакуумным выключателем 13 , заземляющим разъединителем 14 на линии к генератору и линейным разъединителем 1;

- между линейным разъединителем 1 и фасадной дверью 19;

- между вакуумным выключателем 13 и фасадной дверью 19.

**Шкаф №2 БВА** (рисунок 19) представляет собой сборносварную конструкцию, разделенную на два отсека: высоковольтный 9 и низковольтный 16,

в котором установлена аппаратура вспомогательных цепей.

В высоковольтном отсеке, который закрыт съемными стальными листами 15, установлена следующая аппаратура:

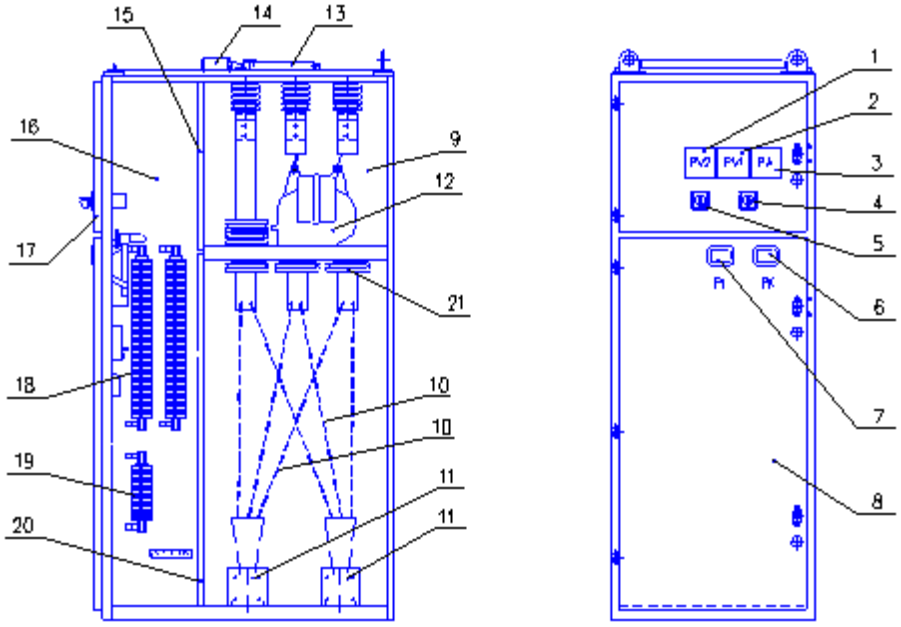
- трансформатор напряжения НОЛ.08;

- трансформаторы тока нулевой последовательности ТЗЛМ;

- опорные изоляторы ИОР-10.

Низковольтный отсек закрыт фасадными дверями 8 и 17, на которых располагаются амперметр и вольтметр линии связи, вольтметр с переключателем контроля изоляции трансформаторов напряжения TV2 со стороны генератора и счетчики активной и реактивной энергии.

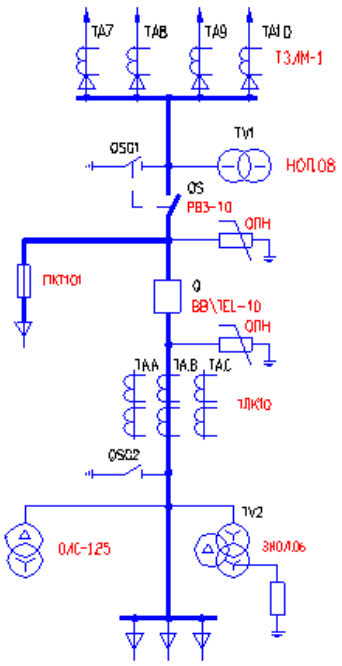
Внутри отсека на фасадной двери установлены автоматические выключатели, преобразователи мощности, тока, напряжения и частоты, блок управления высоковольтным выключателем BB/TEL и ряды зажимов, на которые вы-ведены провода от трансформаторов тока и напряжения, от блок-контактов выключателя BB/TEL, конечных выключателей дуговой защиты и блокировок безопасности от аппаратов, расположенных в высоковольтных отсеках двух шкафов БВА. Разгрузка при электродуговых коротких замыканиях осуществляется через крышку 13.




1-вольтметр контроля напряжения сети; 2,5–вольтметр и переключатель контроля изоляции; 3 – амперметр; 4 – переключатель оперативной блокировки; 6 – счетчик реактивной энергии; 7 – счетчик активной энергии; 8,17 – двери фасадные; 9 – высоковольтный отсек; 10 – кабели; 11 – трансформаторы тока; 12 – трансформатор напряжения; 13 – крышка; 14 – выключатель ВП19; 15,20 – листы съемные; 16 – низковольтный отсек; 18,19 – ряды клеммных зажимов; 21 – проходной изолятор.

Рисунок 19 - Шкаф № 2 БВА

Схема главных цепей К-104М-ГТЭС приведена на рисунке 20.




Обозначение высоковольтного оборудования на схеме главных цепей:
Q – выключатель вакуумный ВВ/TEL-10; QS – разъединитель линейный;

QSG1 – с заземляющими ножами РВЗ-10; QSG2 – разъединитель заземляющий с приводом; TV1 – трансформатор напряжения НОЛ.08-10; TV2 – трансформатор напряжения ЗНОЛ.06-10; TV3 – трансформатор силовой ОЛС; TA.A,B,C – трансформаторы тока ТЛК-10; TA.7,8,9,10 –трансформаторы тока нулевой последовательности ТЗЛМ; ОПН – ограничитель перенапряжений; ПКТ – предохранитель.

Рисунок 20

**Технические данные:**

**Параметры** **Значения**

Номинальное напряжение (линейное), кВ 6; 10

Наибольшее рабочее напряжение (линейное), кВ 7,2; 12

Номинальный ток главных цепей, А 630; 1000

Номинальный ток отключения выключателя, встроенного в КРУ, кА 12,5; 20

Ток термической стойкости (3 с), кА 12,5; 20

Ток электродинамической стойкости, кА 32; 52

Номинальное напряжение вспомогательных цепей защиты, управления и сигнализации постоянного тока, В 200

Климатическое исполнение и категория размещения – У3 по ГОСТ 15150 и ГОСТ 15543 для работы с нижним значением температуры окружающего воздуха минус 25 $^{o}$С.

**КРУ серии КУ 35**

КРУ внутренней установки серии КУ35(рисунок 21) на номинальный ток - до 1250 А; ток термической стойкости - до 25 кА, с вакуумными выключателями ВР35 с литыми из эпоксидного компаунда полюсами, предназначены для приема и распределения электроэнергии трехфазного переменного тока с частотой 50 и 60 Гц и номинальным напряжением 35 кВ. Эта серия служит основой для построения закрытых распределительных устройств 35 кВ комплектных трансформа-торных подстанций. Надежность ячейки по механическому и коммутационному ресурсу определяется характеристиками выключателя:

- механический ресурс - 30 000 циклов;

- коммутационный ресурс при номинальных токах - 30 000 циклов;

- коммутационный ресурс при номинальных токах отключения - 50 отключений.

КРУ серии КУ35 комплектуются самыми современными микропроцессорными устройствами релейной защиты, автоматики и управления.

Габаритные размеры шкафов КРУ серии КУ35: ширина - 1 500 мм; глубина - 2 715 мм; высота - 2 200 м

Разработка серии КРУ внутренней установки на номинальное напряжение 35 кВ отражает современную тенденцию строительства блочных трансформаторных подстанций, а именно - подстанций закрытого типа.

Рисунок 21

**КРУ серии КГ-6С (КГ-6)**

КРУ внутренней установки серий КГ-6(С) (рисунок 22), с вакуумными или элегазовыми выключателями, предназначены для работы в сетях трехфазного переменного тока класса напряжения 6 кВ с частотой 50 и 60 Гц.

Шкафы КРУ серии КГ-6 применяются в распределительных устройствах собственных нужд тепловых электростанций с турбоблоками до 1200 МВА. Шкафы КРУ серии КГ-6С (сейсмостойкое исполнение) применяются в распределительных устройствах собственных нужд атомных электро-станций и рассчитаны на работу при максимальном расчетном землетрясении до 9 баллов по шкале MKS-64.

КРУ серий КГ-6 и КГ-6С могут эксплуатироваться в условиях умеренного или тропического климата (климатическое исполнение и категория размещения У3 и Т3 в соответствии с ГОСТ 15150).

Шкафы КРУ серий КГ-6 и КГ-6С комплектуются вакуумными выключателями ВР6В, могут комплектоваться элегазовыми выключателями LF (производства Schneider Electric) и HD4 (производства ABB).

Рисунок 22

Надежность шкафов по механическому и коммутационному ресурсу определяется параметрами установленных выключателей, и для ячеек с выключателями серии ВР6В составляет:

- механический ресурс - 30 000 циклов;
- коммутационный ресурс при номинальном токе - 30 000 циклов;
- коммутационный ресурс при номинальном токе отключения - 50 отключений.

Шкафы с вакуумными выключателями комплектуются ограничителями перенапряжений.

По условиям обслуживания КРУ серий КГ-6 и КГ-6С выполняются как шкафы с односторонним обслуживанием и, в зависимости от назначения, могут быль с выкатным элементом или без выкатного элемента.

Основные параметры шкафов КГ-6 и КГ-6С:

- номинальное напряжение - 6; 6,3 кВ;
- наибольшее рабочее напряжение - 7,2 кВ;
- номинальный ток главных цепей - 630; 1 000; 1 600; 2 000; 3 150 А;

- номинальный ток сборных шин - 1 600; 2 000; 3 150 А;

- номинальный ток отключения выключателей - 40 кА;

- ток термической стойкости (в течение 3 с) - 40 кА;

- степень защиты по ГОСТ 14254 - IP20.

Габаритные размеры шкафов КРУ: ширина - 750; 1 125 мм; глубина - 1 850 мм; высота - 2 485; 2 645 мм.

Срок эксплуатации шкафов КРУ серий КГ-6 и КГ-6С до списания - не менее 25 лет.

Совершенствование массо- габаритных показателей КРУ возможно за счет установки в них современных выключателей (вакуумных и элегазовых). За рубежом КРУ с вакуумными выключателями (ВВ) находят все большее применение в составе РУ среднего напряжения. Номинальные токи этих КРУ достигли 4000А, а номинальные токи отключения 40 кА. Малые массо-габаритные показатели ВВ позволили ряду зарубежных фирм создать малогабаритные КРУ двух и даже трехярусного типа (“Toshiba” – Япония, “General Electric” – США). Такая компоновка КРУ дает большой технико-экономический эффект, так как в 2 – 3 раза сокращает объем помещения распределительного устройства. Кроме того, при такой компоновке сокращаются расходы материалов на КРУ. Фирмой “Toshiba” разработаны и серийно изготавливаются шкафы КРУ на четыре присоединения с вакуумными выключателями VG-16 (номинальное напряжение 6,9 кВ, ток отключения 12,5 кА). Эта конструкция КРУ благодаря применению новой полутвердой изоляции имеет значительно меньшую глубину шкафа. Площадь, требуемая для установки этих КРУ, составляет 38% площади двух ярусных КРУ с вакуумными выключателя-ми, а масса – 40% этих КРУ.

Научно-производственная фирма "Альянс-Электро" разработала комплектное распределительное устройство К-2-АЭ (рисунок 23), в котором две отходящих линии скомпонованы в габаритах одной ячейки.

В К-2-АЭ установлены два выключателя (сверху и снизу) и два блока релейной защиты (в средней части). Сборные шины также расположены в

среднем отсеке ячейки. Ячейки К-2-АЭ двустороннего обслуживания предназначены для приема и распределения электрической энергии в сетях 6(10) кВ с изолированной нейтралью, рассчитаны на номинальные токи до 1600 А и ток термической стойкости до 20 кА. В ячейках устанавливаются выключатели ВВ-Tel производства "Таврида Электрик", однако предусмотрена возможность использования выключателей саратовского "Контакта" и Минусинского ОАО "Элко". Также по желанию заказчика в ячейке может применяться как электромеханическая, так и микропроцессорная релейная защита. Для удобной эксплуатации "второго этажа" конструкторы разработали специальную тележку, позволяющую без прикладывания особых усилий выкатить и опустить выключатель. За счет экономии материалов стоимость новой ячейки будет процентов на 20 меньше стоимости двух ячеек предыдущего поколения. В планах фирмы - применение в ячейке К-2-АЭ изолированных шин, которые позволят еще больше уменьшить габариты ячейки.

Рисунок 23

**Контрольные вопросы**

1. Назначение комплектных распредустройств.

2 .Перечислите их преимущества.

3 .Для чего ячейки разделены на отсеки.

4.В чем отличие КРУ от КСО и КРУ от КРУН.

5. Перечислите требования, предъявляемые к КРУ.

6 .На какие параметры выполняются КРУ.

7. Каковы пути совершенствования КРУ.

## Список использованных источников


1. Электрическая часть станций и подстанций: Учеб. для вузов/ А.А. Васильев, И.П. Крючков, Е.Ф. Наяшкова и др.; Под. ред. А.А. Васильева.- М.: Энергоатомиздат,1990.- 578с.
2. ЦеразовА.Л., Старшинов В.А., Васильева А.П. Электрическая часть тепловых электростанций: Учеб. для вузов/ Под. ред. В.А. Старшинова.- М.: Издательство МЭИ, 1995.- 368с.
3. Панасюк В. Новые подходы к конструированию комплектных распределительных устройств с вакуумными выключателями. // Новости электротехники.- 2000.-№2.-С.2.
4. Трубкин А. Основное и вспомогательное оборудование, встраиваемое в КРУ напряжением 6 и 10 кВ // Новости электротехники.- 2000.-№2.-С.2.
5. Тен В.Камеры серии КСО-10-Э // Новости электротехники.- 2000.-№4.-С.3.
6. Тен В.Камеры серии КСО-10-Э1 (продолжение темы) // Новости электротехники.- 2000.-№
7. Шамрай А. Осотов В. PASS - думай по новому! // Новости электротехни-ки.- 2002.-№3.-С.15.
8. ОАО «Ровенский завод высоковольтной аппаратуры» // Новости электротехники.- 2002.-№3
9. Научно-производственная фирма "Альянс-Электро"// Новости электротехники.- 2002.-№3.-С.15.
10. Ячейки типа КСО-6(10)-Э1 // Новости электротехники.- 2003.-№2.-С.20.
11. **ОАО Мосэлектрощит** Э1 // Новости электротехники.- 2003.-№2.-С.20.

12.Андрей Трубкин, ОАО «Запорожский завод высоковольтной аппаратуры» // Новости электротехники.- 2002.-№4.-С.16.

**13.АББ УЭТМ: производит и поставляет** // Новости электротехники.- 4.-С.4. .-С.15.2002.-№5.-С.17.

**14.Трансформаторы. Свердловская гамма**// Новости электротехники.- 2003.-№2.-С.20.

Лабораторная работа №3

# ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СЕТЬ

## 1. ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Введение

Система «интеллектуальная сеть» – это модернизированная электрическая сеть, использующая аналоговую или цифровую информацию, а также коммуникационные технологии для автоматического сбора и обработки информации о поведении поставщиков и потребителей с целью повышения производительности, надежности, экономии, а также стабильного производства и распределения электричества.

Интеллектуальная сеть конечного потребителя AEL-FUSG-N – тренажер чистого измерения основывается на устройствах интеллектуальной сети, используемых в системах чистого измерения. Целью данного тренажера является демонстрация возможности выработки собственной электроэнергии, ее распределение по нашим собственным нагрузкам и продажа оставшейся энергии посредством отдачи ее в электрическую сеть.

Поэтому AEL-FUSG-N состоит из следующих важных частей:

- Генераторы, выполняющие функции воздушной турбины, вырабатывающей электроэнергию для питания нашей нагрузки и сети.

- Анализатор сети, визуализирующий и измеряющий потребление различных точек для формирования картины чистого измерения.

- Другие модули, необходимые для различных целей.

Интеллектуальная сеть конечного потребителя AEL-FUSG-N – тренажер чистого измерения.

### 1.1 Описание модулей

Интеллектуальная сеть конечного потребителя AEL-FUSG-N – тренажер чистого измерения состоит из нескольких модулей, демонстрирующих основные операции, выполняемые в системах чистого измерения:

- **Трехфазный основной промышленный источник питания (N-ALI01)**

Рисунок -1. Трехфазный основной промышленный источник питания.

Модуль N-ALI01 используется для моделирования электрической сети и питания других модулей.

Рисунок -2. Основные части N-ALI01.

**1 – Индикатор активных выходов**

Лампочка будет гореть лишь в том случае, если все защитные системы оборудования работают. Если это произошло, то питающий модуль готов к использованию, и будет обеспечивать однофазное напряжение в 230 В.

**2 – Ключ безопасности**

Ключ имеет два положения: ON (ВКЛ) и OFF (ВЫКЛ). Сотрудник лаборатории, несущий ответственность за данное оборудование, может поставить ключ в положение OFF, и таким образом предотвратить использование модуля студентами. Убедитесь, что индикатор выходов включен в момент активации магнитотеплового выключателя, а защитная кнопка деактивирована, после чего установите ключ в положение ON. Выходные напряжения источника питания (230 В) могут быть измерены посредством мультиметра, когда ключ находится в положении ON, а защитная кнопка не нажата. Если кнопка нажата, сигнала на выходе не будет.

**3 – Кнопка аварийного останова**

Кнопка аварийного останова может быть использована в том случае, если необходимо немедленное отключение питания сети при возникновении аварийной ситуации. Представляет собой размыкающий контакт.

**4 – Индикатор питания**

Эта лампочка показывает, подключен ли модуль к источнику питания; она горит независимо от положения ключа безопасности.

**5 – Однофазные выходы**

Как видно из рисунка выше, имеются также два однофазных выхода в нейтральной фазе 230 В.

**6 – Трехфазный выход**

Имеется также трехфазный выход (R-S-T), отмеченный разными цветами.

**7 – Заземляющий вывод**

Данный вывод должен быть подключен таким образом, чтобы в случае какого-либо сбоя в сети, это определялось автоматически выключателем остаточных токов. Заземляющий вывод подключается к корпусу модуля. Непрерывность между землей и металлической частью модуля может быть измерена мультиметром.

**8 – Защита**

Защита установки обеспечивается4-позиционным дифференциальным выключателем 240 В/30мА/25А и 4-позиционным магнитотепловым выключателем 230/400 В-16А/6кА.

- **Модуль распределения энергии (N-PFD)**

Рисунок -3. Модуль распределения энергии.

Данный модуль является основным в системе AEL-FUSG-N, и был специально разработан для управления процессом распределения энергии.

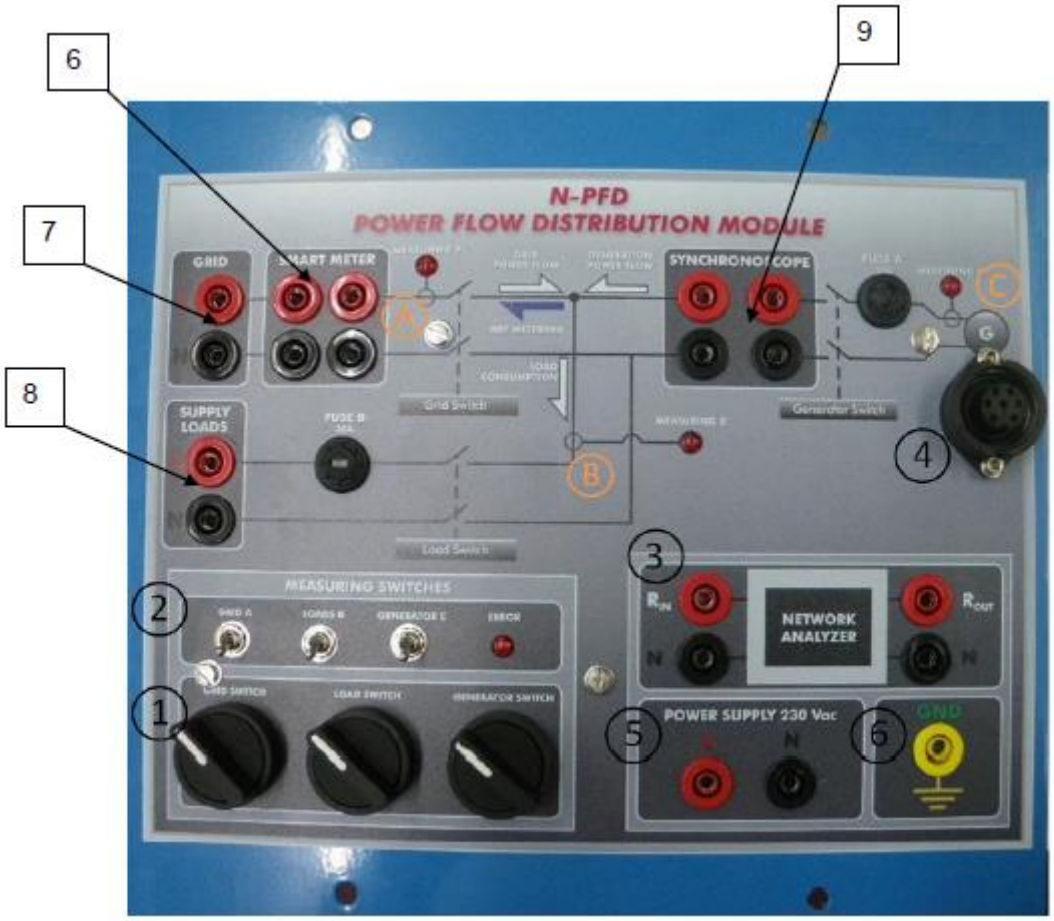



Рисунок -4. Основные части модуля N-PFD.

Данный модуль выполняет различные функции:

1. Соединение нагрузок, генераторов и сети в одном режиме.

   Данная операция выполняется при помощи переключателей: нагрузки, сети и генераторов (1).

2. Для измерения в реальном времени энергетических параметров в трех различных точках:

   Эта часть состоит из трех переключателей, используемых для выбора следующих точек измерения:

   а. Переключатель сети **A**: используется для измерения электрических параметров сети а точке A (входная и выходная мощность, напряжение, ток и т.д.).

б. Переключатель нагрузки **B**: используется для измерения электрических параметров нагрузки (требуемая активная и реактивная мощность, токи и т.д.).

в. Переключатель генератора **C**: используется для измерения электрических параметров генератора. Может использоваться для различных целей:

г. Измерение напряжения, частоты и фазового угла с целью синхронизации генератора с сетью.

д. Измерение мощности генератора для определения вырабатываемой нами энергии.

3. Соединения для выполнения различных измерений в точках A, B и C посредством сетевого анализатора (N-EALDG).
4. Генератор GMG4K подключается к N-PFD (4).
5. Модуль N-PFD питается от N-ALI01для моделирования сети (5) и (6).
6. Данные выходы используются для подключения модуля сбора данных (N-CTT) и модулей интеллектуального счетчика (N-SM) при работе с тренажером интеллектуального счетчика AEL-FUSG-M.
7. Выходы 230 В подключаются к сети.
8. Подключение выходов питания нагрузок системы AEL-FUSG-LO (Нагрузки интеллектуальной сети).
9. Выходы подключения модуля синхроноскопа N-ASY.

**Модуль синхроноскопа N-ASY**

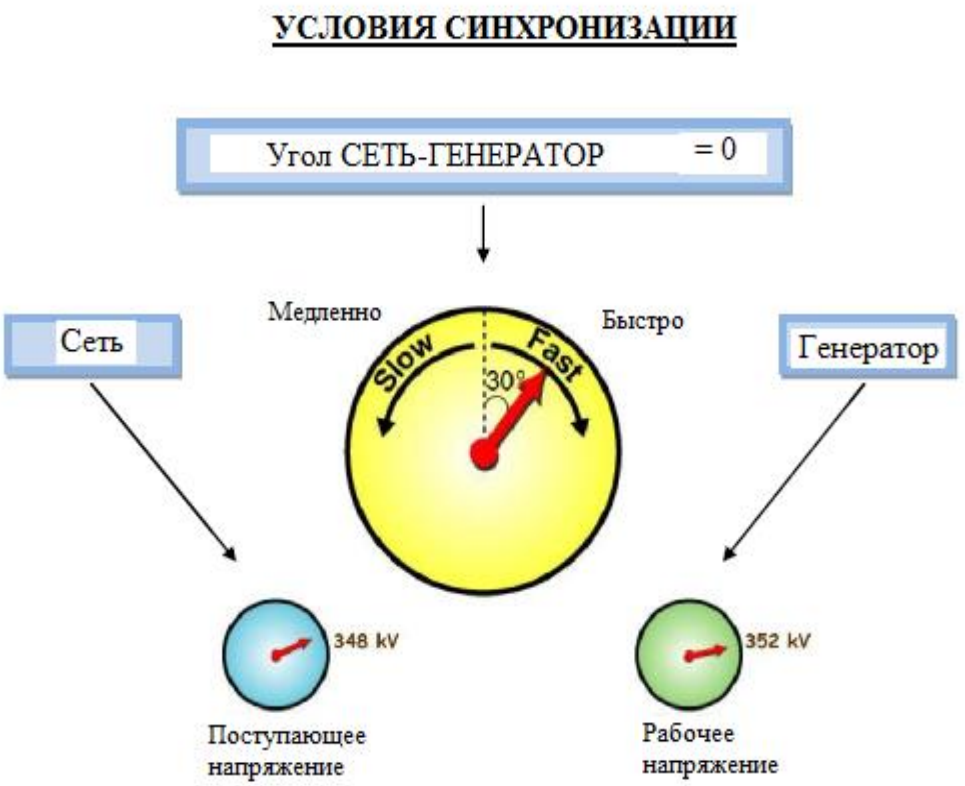
Рисунок -5. Модуль синхроноскопа.

Данный модуль используется для синхронизации генераторов с электрической сетью. Он состоит из синхроноскопа с внутренним реле, определяющим подходящий момент для соединения генератора и сети. Для выполнения синхронизации необходимы следующие условия:

1. Идентичные модули напряжения в электрической сети и генераторе (измерение будет осуществляться посредством анализатора сети и модуля N-PFD или дисплея N-ASY).

2. Одинаковая частота в сети и генераторе (измерение частоты будет осуществляться при помощи анализатора сети и модуля N-PFD или дисплея N-ASY).
3. Угол, образуемый векторами электрической сети и генераторов должен быть равен нулю.

Таким образом, модуль синхроноскопа N-ASY используется для выполнения процедуры синхронизации генераторов с электрической сетью.




**Управляющий модуль N-VREG**

Данный модуль используется для регулирования возбуждения генератора. Для управления этим параметром нам необходимо поворачивать ручку по или против часовой стрелки. Модуль необходим для выполнения синхронизации, так как он будет управлять модулем генератора напряжения.

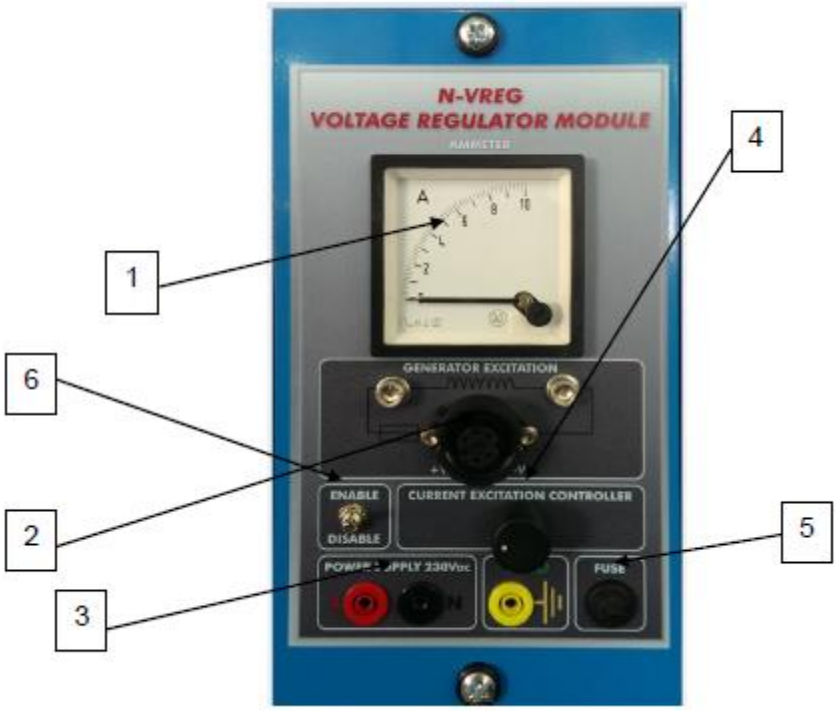



Рисунок -6. Управляющий модуль.

При выполнении процедуры синхронизации генератора, если напряжение генератора ниже, чем напряжение сети, пользователю необходимо увеличить возбуждение тока, повернув ручку по часовой стрелке. Значение тока возбуждения измеряется при помощи амперметра. И наоборот, если необходимо уменьшить напряжение, то ручку следует повернуть против часовой стрелки.

Таким образом, управляющий модуль N-VREG используется для управления модулем генератора напряжения.

Описание его частей:

1. Амперметр. Используется для демонстрации возбуждения тока в генераторе, так что мы имеем значение тока в функции выхода генератора напряжения.
2. Выводы подключения к возбуждению генератора.
3. Питающие выводы 230 В.

4. Регулятор возбуждения.
5. Предохранитель возбуждения.
6. Выключатель, запрещающий или разрешающий процесс возбуждения.

**Модуль управления двигателем (N-VVCA4K)**

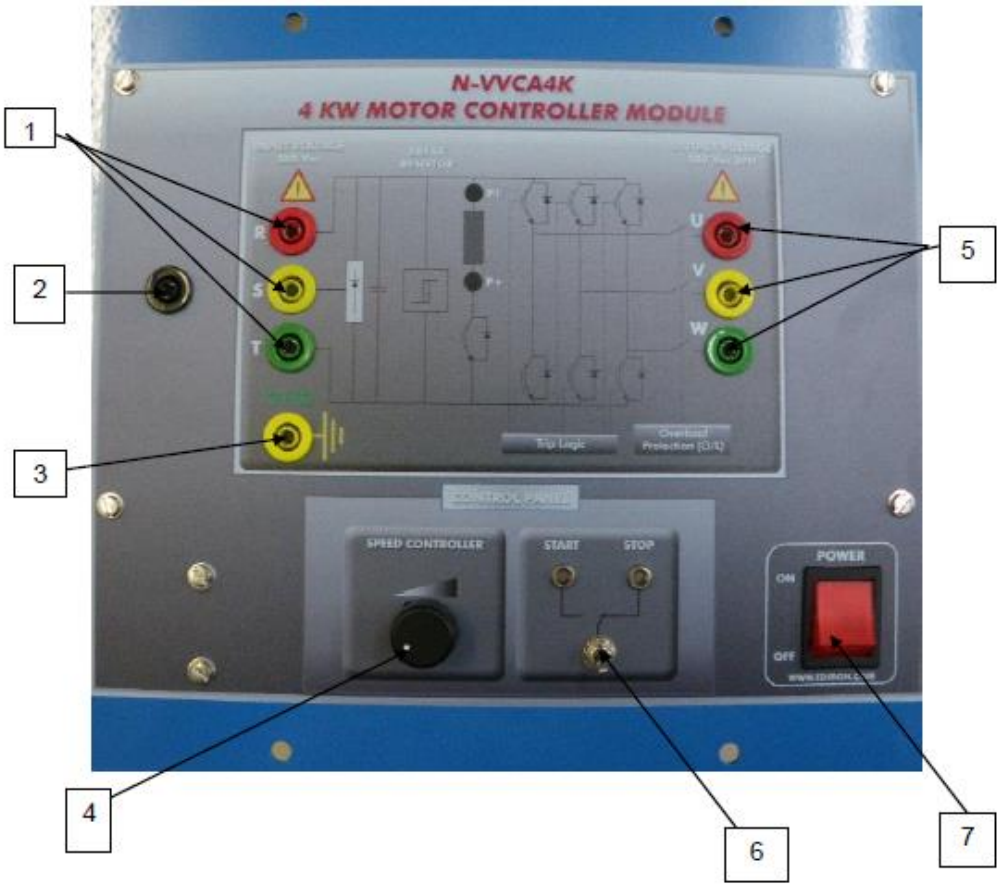



Рисунок -7. Модуль управления двигателем.

Данный модуль используется для регулировки скорости первичного двигателя генераторов (GMG4K). Посредством кнопки, расположенной на передней панели, пользователь может регулировать скорость двигателя, а, следовательно, и частоту генератора. Таким образом, мы можем выполнить процедуру синхронизации генератора с сетью.

Описание модуля:

1. Выводы трехфазного источника питания (от N-ALI01) 380 В.

2. Нейтральный вывод.
3. Заземляющий вывод.
4. Потенциометр для регулировки скорости основного двигателя.
5. Регулируемый выход для подключения асинхронного двигателя 380В.
6. Переключатель старт/останов для регулировки двигателя.
7. Переключатель питания модуля.

**Группа генераторов (GMG4KW)**

Рисунок -8. Группа генераторов.

Данная система моделирует работу воздушной турбины и других генерирующих энергию моделей в различных установках, как промышленных, так и бытовых.

Модуль GMG4K состоит из следующих элементов:

- Основной двигатель: необходим для приведения генератора в движение и моделирования различных скоростей ветра. Он имеет номинальную мощность 4 кВт, два полюса и скорость 3000 об/мин.
- Однофазный генератор: необходим для выработки электроэнергии. Он имеет вывод возбуждения для регулирования напряжения и один вывод питания для нагрузки (3,5 кВА, два полюса и 3000 об/мин).

**Модуль анализатора сети (N-EALDG)**

Рисунок -9. Модуль анализатора сети.

Данный модуль анализатора сети, оснащенный экраном осциллографа, используется для анализа основных электрических параметров сети, нагрузок и генератора. В ходе практических занятий пользователь может снимать показания по следующим параметрам: активная, реактивная и полная мощность, коэффициент мощности для каждой фазы, напряжение, ток и частота.

СистемеAEL-FUSG-N необходима только одна фаза, так как мы работаем с однофазными нагрузками, поэтому необходимо всего лишь подключить выходы R и Nмодуля N-EALDG.

Модуль будет использован для измерения электрических параметров модуля N-PFD, то есть мы будем знать выработку и потребление энергии, а также энергию, вводимую в сеть либо поставляемую ею.

Модуль N-EALDG позволяет нам изучить процесс измерения.

**Функции клавиш**

- Клавиши «вверх» и «вниз»

Их функцией является прокручивание вверх и вниз страниц визуализации измерений, выбор разделов меню настроек (SETUP) и изменение численных значений при программировании.

- Клавиши «вправо» и «влево»

Их функцией является визуализация вложенных страниц измерения и прокрутка полей данных в меню настроек (SETUP). Чтобы покинуть страницу визуализации измерений, необходимо нажать обе клавиши одновременно.

Устройство покажет программу установки (SETUP). Чтобы выйти из этого раздела, необходимо снова нажать эти две клавиши.

- Клавиша «Ввод» (Enter)

Данная клавиша позволяет автоматически, в случае нажатия ее в течение более 3 сна странице визуализации измерений, сохранить страницу видимой. Меню настроек (SETUP) и клавиша ввода (ENTER)используются для входа в меню (или его разделы) и программы, для управления значениями, а также для подтверждения выполняемых операций.

- Система сброса (Reset)

Чтобы сбросить параметры устройства напрямую с клавиатуры, не заходя в меню настроек, пользователь может нажать одновременно указанные 4 кнопки и удерживать их в течение двух секунд.

**1.2 Практические возможности**

- Синхронизация операций генератора (с воздушной турбиной).
- Измерение энергопотребления нагрузок без генератора.
- Измерение энергопотребления нагрузок с генератором и регулирование мощности генератора.
- Операции чистого измерения: продажа энергии в сеть.

**1.3 Технические характеристики**

- Модуль N-ALI01. Трехфазный основной источник питания

  (380 В, трехфазный источник питания).
- Модуль N-PFD. Модуль распределения потока энергии

(230 В, однофазный источник питания).

- Модуль N-VREG. Регулятор напряжения (230 В, однофазный источник питания). Регулировочная кнопка. Возможен регулировочный переключатель.
- Модуль анализатора сети N-EALDG (230 В, однофазный источник питания).
- Модуль синхроноскопа N-ASY.

  230 В, однофазный источник питания.

  Красная кнопка для выполнения синхронизации.

  Черная кнопка для запрета синхронизации.
- Система двигатель-генератор GMG4K 4KW.

  Асинхронный двигатель:

  Номинальная мощность: 4 кВт

  Номинальное напряжение: 380 В, трехфазное

  Соединение: звезда

  Номинальная скорость: 3000 об/мин

  Синхронный генератор, работающий при 50 Гц:

  Номинальная мощность: 4,2 кВА

  Номинальное выходное напряжение: 230 В, однофазн.

  Ток возбуждения без нагрузки: 1,4 А

  Ток возбуждения при максимальной нагрузке: 4 А

  Номинальная скорость: 3000 об/мин

**1.4 Габариты и вес**

500x600x500 мм, 15 кг

## 1.5 Подключение

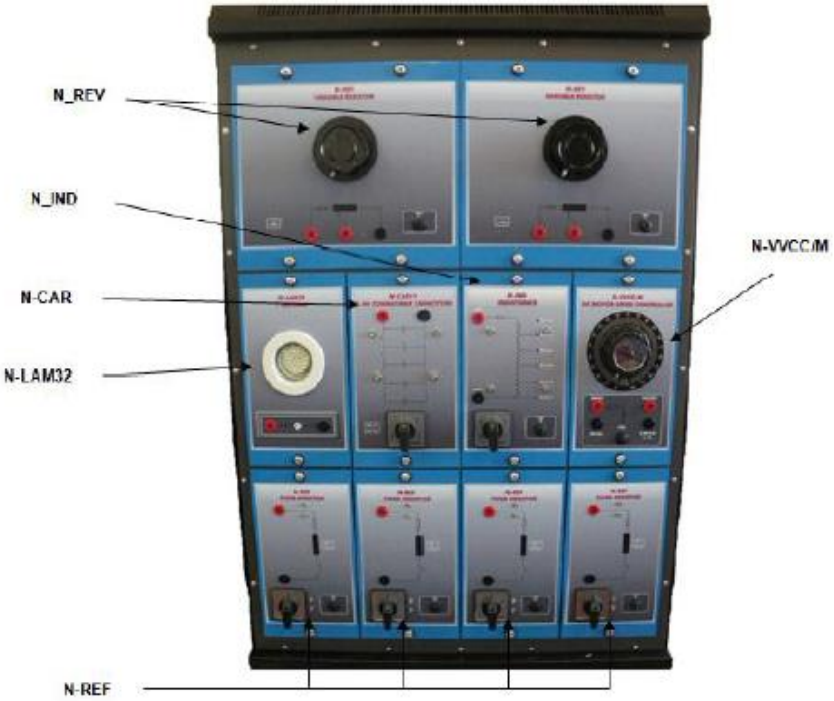
Трехфазный источник питания, 380 В

## 1.6 Доступные опции

Система интеллектуальной нагрузки AEL-FUSG-LOиспользуется для моделирования различных реальных ситуаций потребления и для использования всех технических возможностей тренажера интеллектуальной сети конечного потребителя FUSG.

Система интеллектуальных нагрузок AEL-FUSG-LO имеет набор статических и динамических нагрузок, демонстрирующих различные виды потребления, как правило, бытовые, промышленные и т.д..

Система AEL-FUSG-LO состоит из нескольких модулей:



Модуль переменного сопротивления N-REV (2).

Данный модуль используется для моделирования переменного энергопотребления. Он состоит из переменного резистора в 150 Ωи максимальной мощностью 500 Вт. Студенты могут изменять параметры при помощи ручки выбора значений.

Кроме того, данный модуль оснащен предохранителем (2 А) для его защиты.

Модуль постоянного сопротивления N-REF (4).

Данный модуль состоит из постоянного сопротивления 150 Ω, имеет максимальную мощность 500 Вт, а также оснащен переключателем, позволяющим замыкать и размыкать цепь.

Положение 0 – цепь разомкнута

Положение 1 – цепь замкнута

Модуль также оснащен предохранителем.

Индукционный модуль N-IND

Индуктивный модуль позволяющий выбирать пять различных значений индукции посредством переключателя.

Значения индукции в соответствии с переключателем:

Положение 0 – 0 мГн

Положение 1 – 236 мГн

Положение 2 – 193 мГн

Положение 3 – 140 мГн

Положение 4 – 78 мГн

Положение 5 – 33 мГн

Модуль также оснащен предохранителем.

- Модуль N-LAM32 (светодиодная лампочка)

Данный модуль состоит из одной светодиодной лампочки (230 В), при помощи которой студенты смогут изучить преимущества использования энергосберегающих ламп.

Модуль коммутируемых конденсаторов N-CAR19 S-PH

Модуль состоит из пяти конденсаторов емкостью 7 μФ, соединенных параллельно. Пятипозиционный переключатель позволяет выбирать значение емкости.

Емкостные значения в соответствии с положением переключателя, имеют вид:

Положение 0 – 7 μФ

Положение 1 – 14 μФ

Положение 2 – 21 μФ

Положение 3 – 28 μФ

Положение 4 - 35μФ

Регулятор скорости двигателя N-VVCC/MDC

Данный модуль используется для регулирования скорости двигателя постоянного тока. Он позволяет изменять входное напряжение двигателя, и таким образом, регулировать его скорость. N-VVCC/M имеет два однофазных вывода, к которым может быть подключен источник питания (N-ALI01).

Модуль был также разработан для регулирования индукционного тормоза. Если подключить выводы к индукционному тормозу и увеличить ток на входе, то получим тормозной момент.

Кроме того, модуль оснащен предохранителем (5 А).

Универсальный двигатель EMT 12

EMT 12 – это универсальный двигатель с доступом во внутреннюю часть (включая щетки).

Индукционный тормоз FRECP

Данный модуль спроектирован для работы в качестве электромагнитного тормоза при помощи индукции вихревых токов.

Рис. 10. Индукционный тормоз FRECP

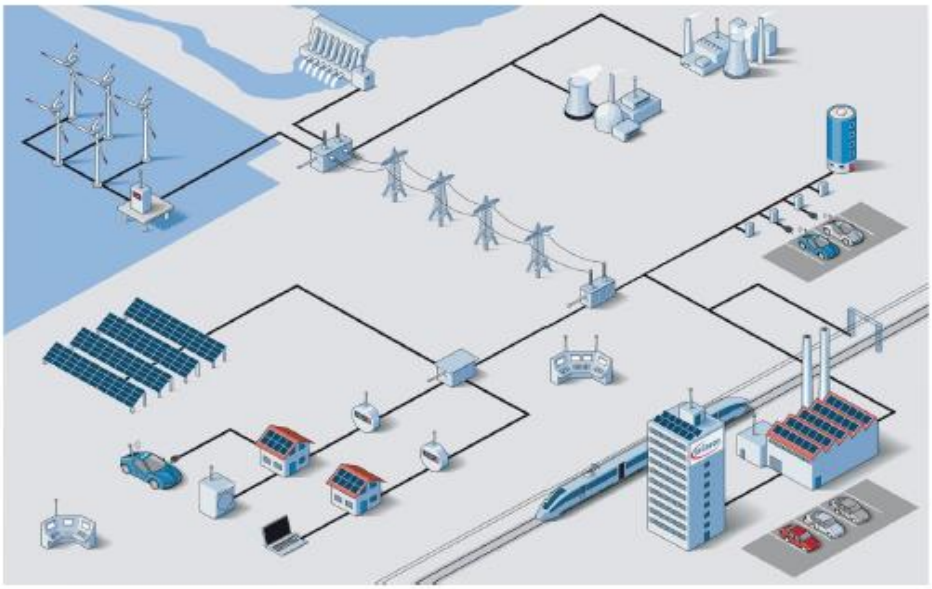
ЕН Электронагревательный модуль

Данный модуль моделирует источник тепла посредством нагревательного элемента мощностью 700 Вт, питаемого от сети 230 В. Кроме того, он оснащен вентилятором, который отводит вырабатываемый элементом горячий воздух, и таким образом позволяет регулировать температуру.

Нагревательный элемент и вентилятор активируются при помощи переключателей. Когда они находятся в положении ВКЛ (ON), также активируется лампа. Модуль также включает в себя тепловое реле.

## 2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ

Что такое интеллектуальная сеть?



Интеллектуальная сеть – это развитая система, позволяющая осуществлять надежное и экономичное управление потребностями в энергии, базирующаяся на развитой инфраструктуре и направленная на интеграцию всех имеющихся элементов.

Электричество является наиболее универсальной и широко используемой формой энергии, и потребность в нем постоянно растет. Тем не менее, процесс выработки электроэнергии является крупнейшим источником выбросов углекислого газа, что вносит существенный вклад в изменение климата. Чтобы смягчить последствия этих изменений, современная электрическая система нуждается в существенных доработках.

Электроэнергетическая система была построена более ста лет назад, и в настоящий момент является одним из наиболее эффективных компонентов инфраструктуры, от которого зависит современное общество. Она поставляет электроэнергию промышленным, коммерческим и бытовым потребителям, и спрос на нее постоянно растет.

Большинство имеющихся в настоящее время мощностей используют ископаемые топлива, что вносит большой вклад в увеличение содержания углекислого газа в атмосфере с последующим негативным влиянием на климат и общество в целом.

Чтобы удовлетворить растущий спрос на энергию и необходимость сокращения выбросов углекислого газа, необходима энергосистема, способная сделать это максимально экономично и надежно.

Интеллектуальные сети обеспечивают большее количество электричества на фоне растущей потребности, большую надежность, лучшее качество, повышенную энергоэффективность, а также возможность внедрять низкоуглеродистые источники энергии в энергетические сети.

В интеллектуальных сетях имеется возможность регулирования спроса для обеспечения баланса снабжения и потребления, а также потенциала для внедрения новых технологий подключения устройств хранения энергии и широкого использования электротранспортных средств.

Электрические системы будут претерпевать значительные изменения, повысится надежность, сократятся потери на капитальные расходы и расходы на обслуживание. Интеллектуальная сеть обеспечит более тщательный контроль расходов на энергию и более надежные ее источники для потребителей. К преимуществам также можно отнести влияние интеллектуальных сетей на окружающую среду: интеграция более возобновляемых источников энергии, сокращение выбросов углекислого газа и других загрязняющих веществ.

# 3 ОСНОВНЫЕ ИНСТРУКЦИИ, РЕКОМЕНДАЦИИ И ПРАВИЛА БЕЗОПАСНОСТИ

- Когда генератор работает вместе с электрической сетью, важно наблюдать за энергией, вырабатываемой генератором при помощи анализатора сети. Когда генератор синхронизирован с сетью, величина

требуемой энергии может быть достаточно высокой, так как сеть работает как большая нагрузка. Чтобы контролировать вырабатываемую генератором энергию, необходимо контролировать потенциометр N-VVCA4K не превышать значений 50,1 Гц или 2,5 кВт.

- Иногда может иметь место ситуация, при которой группа генераторов теряет синхронизацию. Если это произошло, то очень важно, чтобы пользователь нажал кнопку безопасности модуля N-ASY, чтобы ее отменить.

  Но как узнать, что генератор потерял синхронизацию? Если генератор начинает прыгать или же пользователь наблюдает сильные вибрации или необычные звуки, то необходимо принять меры.

## 4 ПРАКТИЧЕСКИЕ ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ

Целью данной работы является изучение студентами основных процедур, требуемых для синхронизации генератора.

### 4.1. Теоретические основы

Генераторные системы требуют специальных устройств для синхронизации с сетью. Для этих целей нам необходим синхроноскоп.

Синхроноскоп представляет собой прибор, считывающий значения напряжений, частот и углов между генератором и сетью. Целью использования синхроноскопа является определение оптимального момента для выполнения синхронизации.

Процедура синхронизации генератора должна выполняться в конкретный момент, так как в противном случае в генераторе могут возникнуть механические колебания.

Для корректной синхронизации должны выполняться следующие условия:

- Напряжение сети = Напряжение генератора

- Частота сети = Частота генератора
- Угол между генератором и сетью = 0

Для выполнения этих условий необходимо регулировать три переменные:

- Частота генератора: данный параметр регулируется при помощи модуля N-VVCA4K.
- Выходное напряжение генератора: данный параметр регулируется при помощи модуля N-VREG.

**4.2 Необходимое оборудование**

- Модуль N-ALI01. Промышленный основной источник питания.
- Модуль распределения мощности (N-PFD).
- Анализатор сети (N-EALDG).
- Регулятор напряжения (N-VREG).
- Синхроноскоп (N-ASY).
- Система генератор-двигатель (GMG4K 4KW).

## 4.3 Последовательность выполнения работы

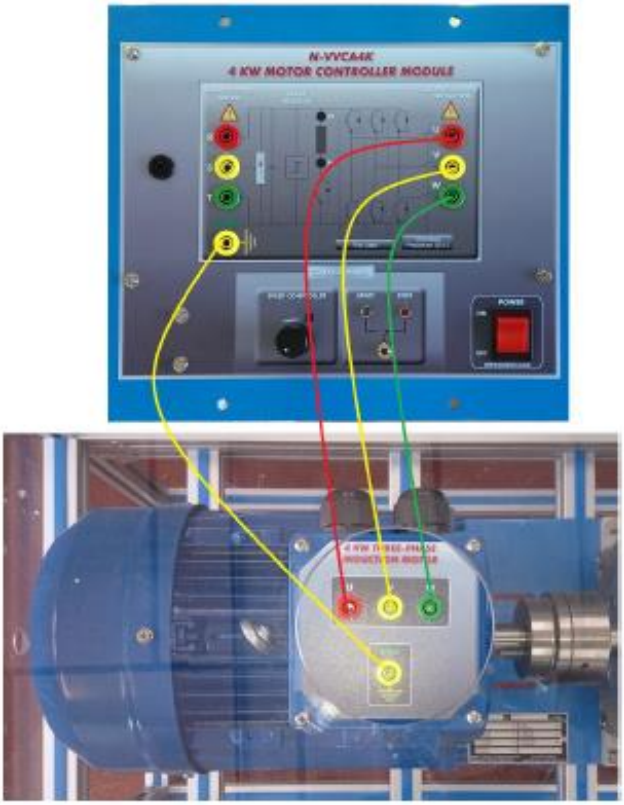
Следующие этапы демонстрируют процесс синхронизации:

1. Подключите установку как это показано на рисунке ниже.

   Для питания модулей:

   Для соединения модулей:

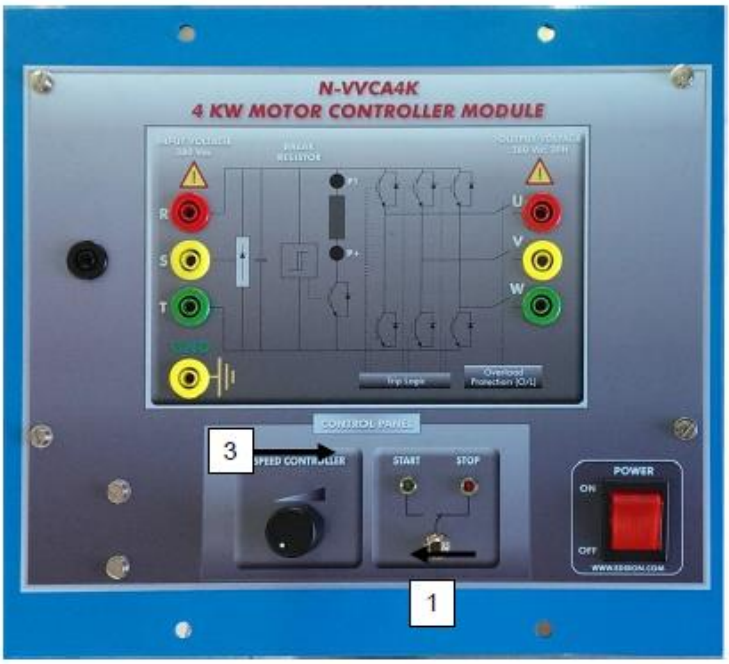
Для подключения регулятора частоты к асинхронному двигателю:




Для подключения регулятора напряжения к выходам генератора:

2. Включите все модули.

3. Запустите группу генераторов с модулем N-VVCA4K.
    - Поставьте переключатель модуля в положение (1) для регулирования скорости генератора.
    - Поверните потенциометр по часовой стрелке до упора (3). Крайнее положение соответствует 50,1 Гц генератора.



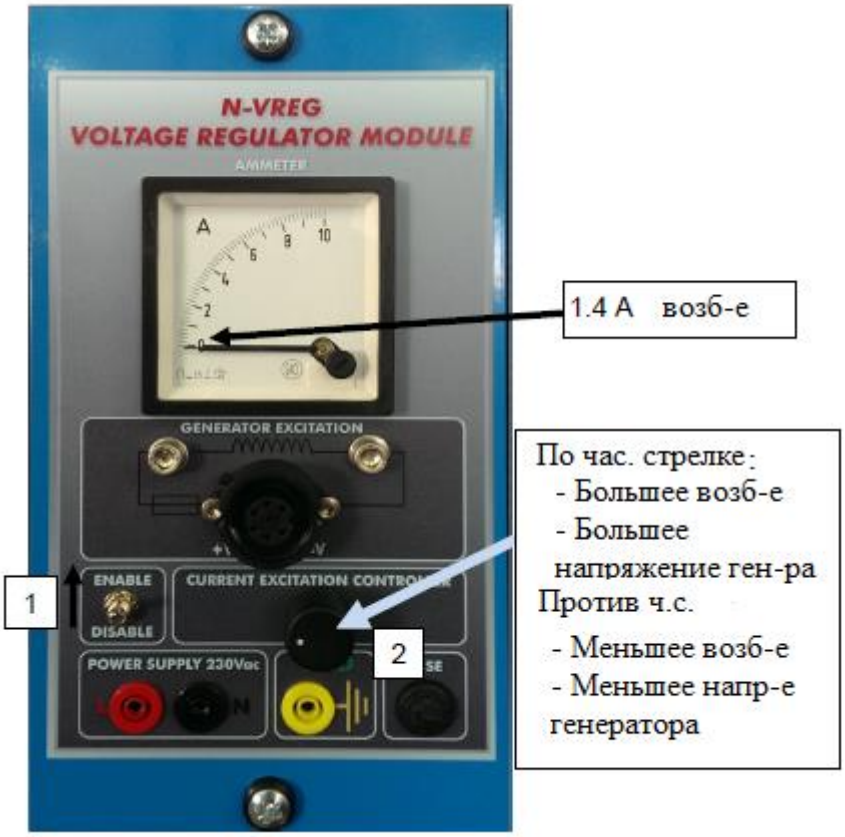

**Внимание: Если генератор синхронизирован с сетью, то пользователю необходимо быть очень осторожным при установке скорости потенциометра (3), так как сеть достаточно мощная, и генератор может испытать перегрузку.**

4. Поставьте переключатель генератора (1) и переключатель сети (2) в положение 1 модуля N-PFD. Эти переключатели позволяют нам замыкать шины сети и генератора.

5. Чтобы измерить частоту генератора, необходимо выполнить следующее:

   Поставьте переключатель генератора C (1) в положение 2. Теперь электрические параметры генератора могут быть измерены от N-EALDG, но нам необходимо возбудить электрический генератор как это будет описано в п.6.

6. Как только частота генератора равна 50,1 Гц, нам необходимо поставить переключатель модуля (1) в разрешающее положение (enable), чтобы получить желаемое напряжение на выходе. Важно, чтобы выходное напряжение было равно напряжению сети. Поэтому мы переключимрычаг сети A модуля N-PFD, чтобы мы могли визуализировать электрические параметры сети от N-EALDG и сравнить их с параметрами генератора. Если напряжение сети 230 В, то нам необходимо получить такое же значение для генератора, увеличив или уменьшив возбуждение от модуля N-VREG (2).



7. Как только мы получили одинаковую частоту и напряжение в генераторе и в сети, мы увидим, что на модуле N-ASYзагорелись параметры ΔV и Δf . Кроме того, сигнальная лампа будет вращаться по или против часовой стрелки. Данная лампа демонстрирует разницу скорости генератора и частоты сети. Когда лампа расположена в центре панели синхроноскопа, активируется реле синхронизации, и мы можем нажать кнопку для ее выполнения.

Если пользователь хочет выполнить более простую синхронизацию, то ему необходимо только нажать и удерживать красную кнопку, пока она не начнется.

8. Теперь электрогенератор работает вместе с сетью, и нам необходимо быть очень аккуратными с активной мощностью, которую мы вводим в сеть, либо которая требуется от генератора. Чтобы узнать, сколько энергии мы вырабатываем или необходимо выработать генератору, следует выполнить следующее:
    - В модуле N-PFDпользователь должен включить переключатель генератора C, и анализатор сети (модуль N-EALDG)таким образом покажет нам поток мощности со стороны генератора.

- Положительное значение (fgen>fgrid):генератор вырабатывает энергию. Такая ситуация позволяет отдавать энергию в сеть,

осуществлять чистое измерение и потреблять нагрузками (AEL-FUSG-LO) вырабатываемую энергию.

Рекомендация: когда пользователь вырабатывает энергию при помощи генератора, рекомендуется, чтобы его активная мощность не превышала 2,5 кВт (или 8 А).

- Отрицательное значение (fgen<fgrid): генератор потребляет энергию. Что можно сделать в данной ситуации? Электрогенератор требует энергии, когда его частота ниже частоты сети. Поэтому нам необходимо очень медленно вращать потенциометр (VVCA4K) по часовой стрелке до максимального положения, пока мы не увидим, что значение стало положительным. Если частота сети составляет 50 Гц, то значение частоты генератора должно приблизительно лежать в промежутке от 50,05 до 50,1 Гц.

**5 Практическая работа**

**«Выработка и потребление собственной энергии»**

Целью данного практического занятия является работа в изолированной системе сети. В таких системах мы имеем ряд нагрузок и один или больше электрогенераторов для их питания. В данной работе мы можем экспериментировать с основными параметрами электрогенератора,

моделирующего работу воздушной турбины в электрических и бытовых установках.

В ходе работы мы запустим генератор, подключим ряд нагрузок, и таким образом сможем увидеть процесс выработки большей энергии в зависимости от потребности нагрузок.

### 5.1 Теоретические основы

В некоторых регионах, где отсутствуют линии передач для снабжения необходимой энергией, нам необходимы изолированные генераторные системы, обеспечивающие энергетическую автономию.

Например, строить электрическую инфраструктуру в сельских районах крайне дорого. Поэтому в таких регионах устанавливают оснащенные электронными устройствами фотоэлектрические панели и воздушные турбины, позволяющие управлять электроэнергией, что, в свою очередь, является частью интеллектуальных сетей.

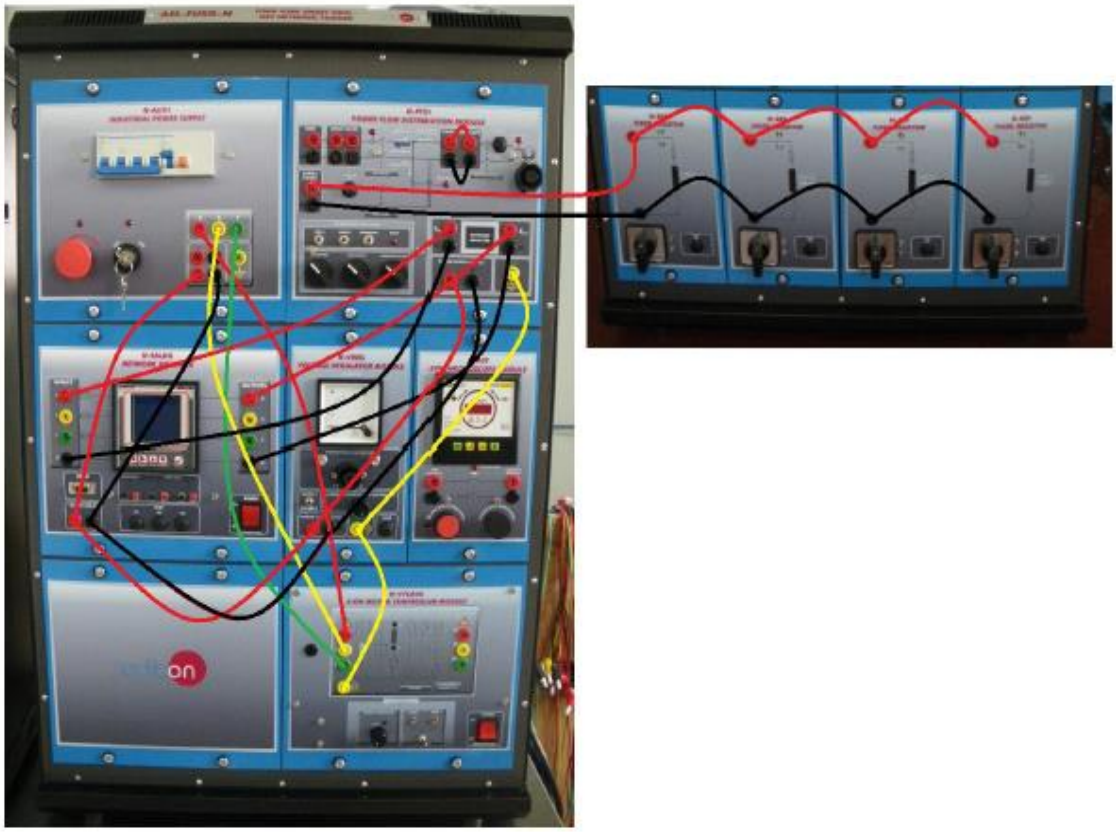
В нашем случае, имеется группа генераторов, моделирующая работу воздушной турбины мощностью 3,5 кВт, способная вырабатывать и потреблять энергию.

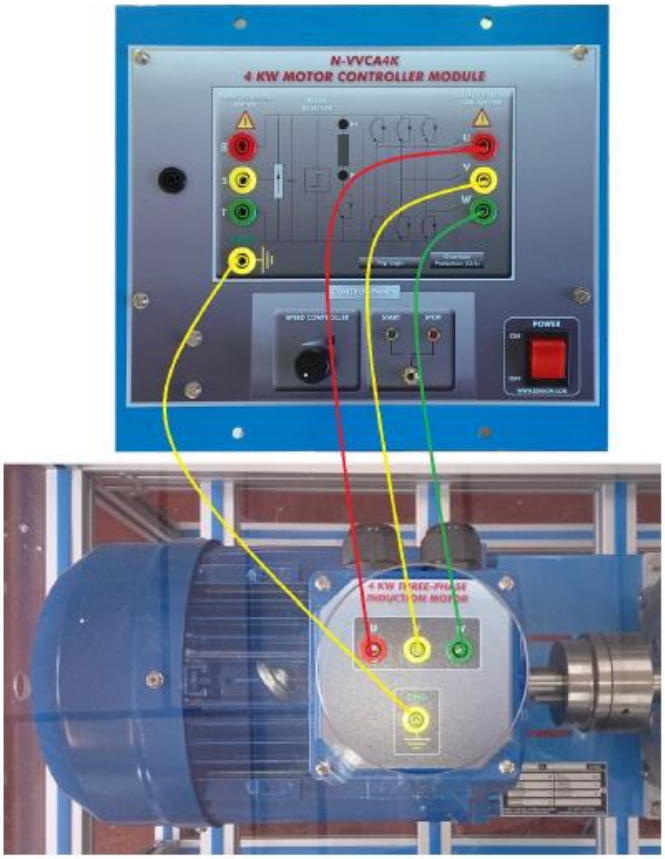
### 5.2 Необходимое оборудование

- AEL-FUSG-N
- GMG4K
- AEL-FUSG-LO

### 5.3 Ход работы

Рисунки ниже демонстрируют подключение элементов для выполнения работы.

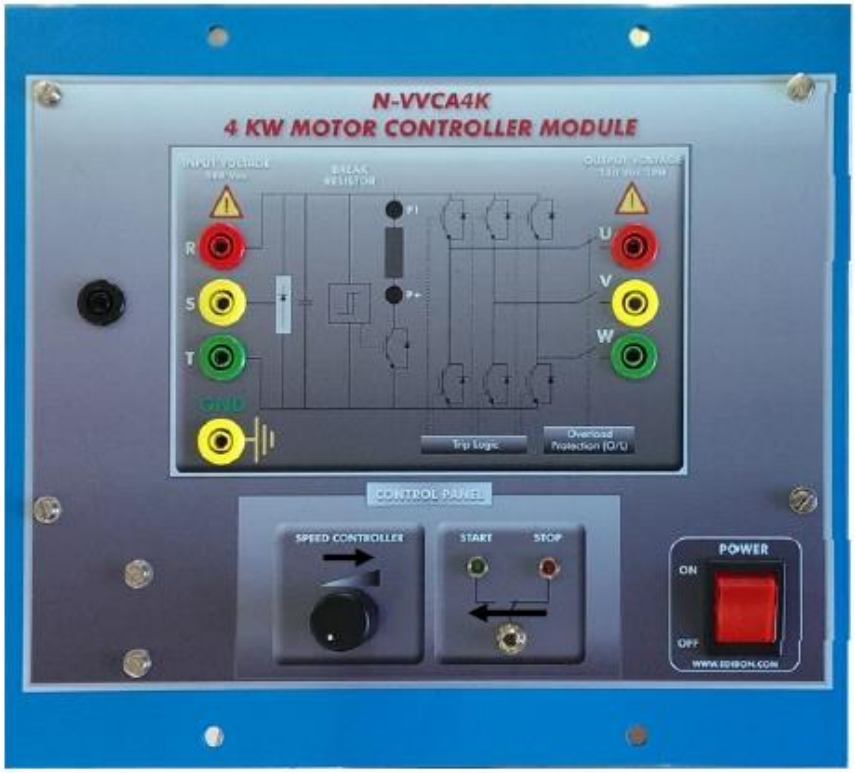



N-VVCA4K
4 KW MOTOR CONTROLLER MODULE
POWER

Далее пользователю необходимо выполнить следующую последовательность действий:

1. Включить все модули
2. Включить следующие переключатели модуля N-PFD:
    - Переключатель нагрузки
    - Переключатель генератора
    - Переключатель нагрузки B

3. Поставить переключатель в положение «Старт» (модуль N-VVCA4K).
4. Вращать потенциометр по часовой стрелке до максимального положения. Двигатель в этот момент начнет вращаться и разгонится до 3000 об/мин.



5. Выполнить возбуждение генератора при 1,4 А (модуль N-VREG).
    - Поставить переключатель в разрешающее положение (“Enable”).
    - Вращать ручку потенциометра по часовой стрелке, пока амперметр не покажет 1,4 А.
    - Теперь электрогенератор вырабатывает приблизительно 230 В.

6. Проверить выработку напряжения модулем N-EALDG.
    - Включить переключатель «генератор С»
    - Анализатор сети покажет следующие параметры:

7. Увеличить нагрузку (модуль AEL-FUSG-LO).
    - Включить нагрузку и пронаблюдать за результатами посредством анализатора сети.

Мощность, требуемая при подключении первого резистора, составляет 330 Вт.

8. Увеличить нагрузку до двух резисторов (AEL-FUSG-LO).
    - Подключить две единицы нагрузки и пронаблюдать за результатами посредством анализатора сети.

Мощность, требуемая двумя резисторами, составляет 637 Вт. Выходное напряжение генератора ниже, чем при одном резисторе, так как имеет место падение напряжения. Чтобы его компенсировать, рекомендуется увеличивать ток возбуждения (модуль N-VREG) до тех пор, пока не будет достигнуто значение приблизительно в 225 В.

9. Увеличить нагрузку до трех резисторов (AEL-FUSG-LO).

- Подключить три единицы нагрузки и пронаблюдать за результатами посредством анализатора сети.

Теперь требуемая мощность составляет 912 Вт, а напряжение снова упало. Пользователю необходимо повторить операцию по компенсации падения напряжения путем увеличения тока возбуждения (N-VREG).

Теперь пользователь может убедиться в том, что вырабатываемая энергия зависит от требуемой нагрузки.

Такие ситуации имеют место и в реальных установках. Требуемое значение энергии изменяется, когда мы включаем освещение, электрические нагревательные приборы и другие виды нагрузок.

Если мы хотим узнать, сколько энергии потребляется нашими нагрузками, то мы можем это сделать на экране анализатора сети, используя кнопки «вверх» и «вниз».

**6 Практическое занятие**

**«Баланс чистого измерения»**

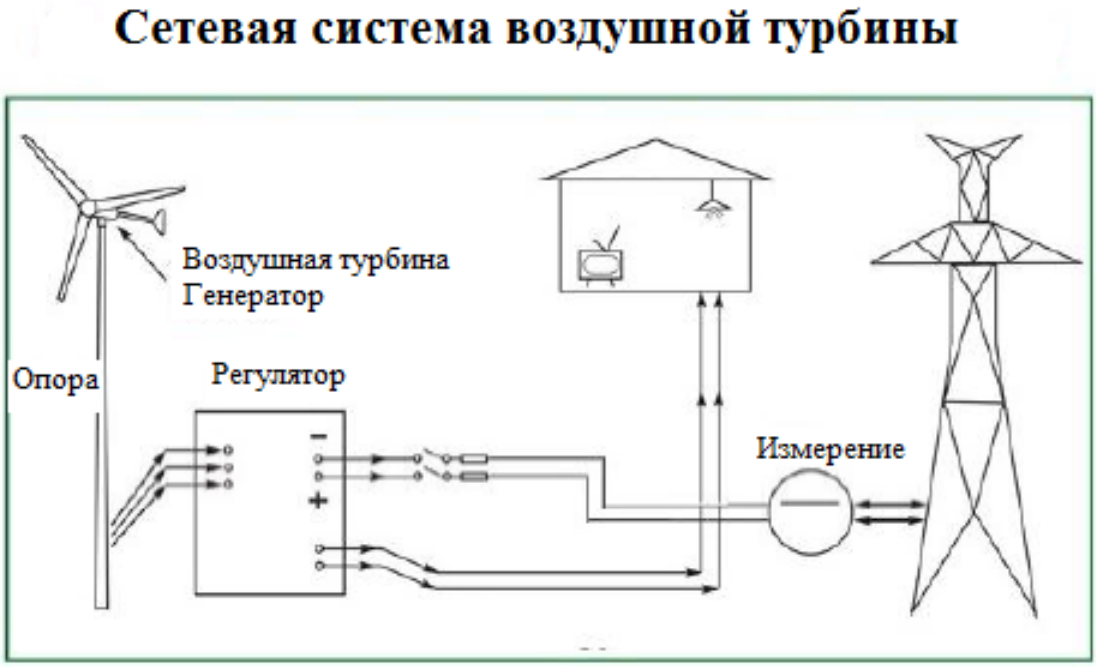
Целью данного практического занятия является овладение навыками ввода энергии в электрическую сеть и питания ею имеющихся нагрузок.

Для этого мы синхронизируем электрогенератор с сетью и смоделируем энергопотребление бытовыми нагрузками.

При помощи анализатора сети (N-EALDG)и модуля распределения мощности (N-PFD) мы пронаблюдаем за различными вариантами распределения мощности:

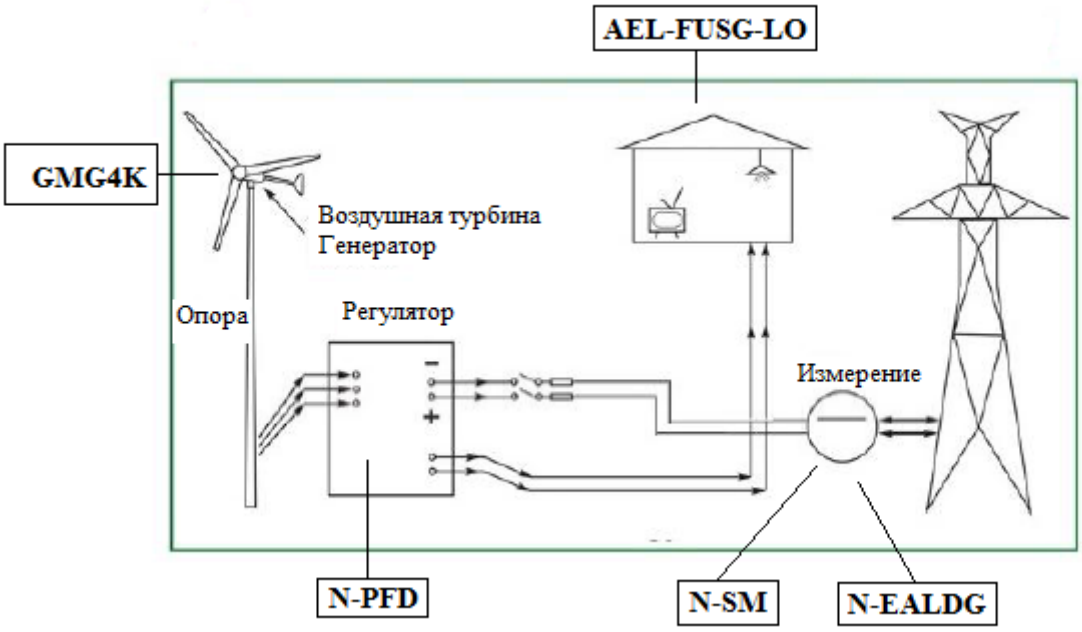
- Мощность, требуемая нагрузками (1).
- Мощность, вводимая в сеть (2).
- Мощность, вырабатываемая генератором (3).

## 6.1 Теоретические основы



**Чистое измерение** – это сервис, предоставляемый потребителям электроэнергии, при котором энергия, вырабатываемая ими, от вырабатывающего устройства на месте, поступающая на местные распределяющие устройства, может быть использована для компенсации энергии, поставляемой энергетической компанией потребителям в действующий расчетный период.

## СООТВЕТСТВИЕ НАШИХ МОДУЛЕЙ КОМПОНЕНТАМ РЕАЛЬНОЙ СХЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ




### 6.2 Необходимое оборудование

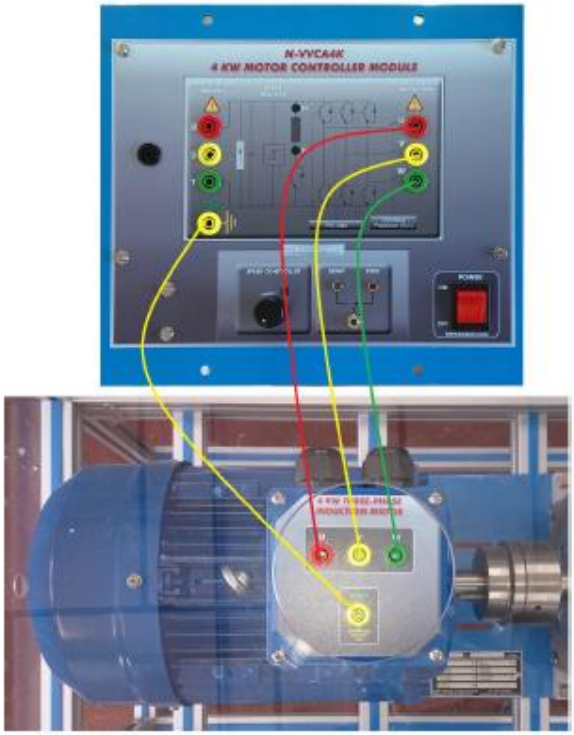
- Тренажер нагрузок интеллектуальной сети конечного потребителя (AEL-FUSG-LO)
- Тренажер чистого измерения интеллектуальной сети конечного потребителя (AEL-FUSG-N)
- Система генератор-двигатель (GMGKG, 4K)

## 6.3 Ход работы

Выполните подключение модулей следующим образом:

Выполните соединение модулей

Подключите регулятор частоты к асинхронному двигателю




Соедините регулятор напряжения и выходное напряжение генератора

Подключение нагрузок постоянного резистора

## ПРОЦЕСС СИНХРОНИЗАЦИИ

Повторите последовательность действий, выполняемых в практическом занятии 1.

## ПРОЦЕСС ПОТРЕБЛЕНИЯ И ПРОДАЖИ ЭНЕРГИИ

На данном этапе пользователь располагает синхронным генератором, синхронизированным с сетью. Кроме того, электрогенератор отдает энергию в сеть, то есть мы продаем нашу энергию энергетической компании.

Обратите внимание на различные потоки мощности в модуле N-PFD:

- Включите переключатель «сеть А» модуля N-PFD.
- Проверьте модуль анализатора сети N-EALDG и убедитесь, что значение энергии, отдаваемой в сеть, отрицательно. Если мощность

отрицательна, поток мощности вводится в сеть, в противном случае поток мощности идет от сети, и мы подаем энергию в генератор.

Теперь мы моделируем выработку энергии, и будем распределять ее между сетью и нагрузками.

1.Подключите первый резистор нагрузки.

Единица нагрузки потребляет приблизительно 330 Вт.

2. Включите переключатель нагрузки модуля N-PFD. Данный переключатель позволяет нам направлять энергию от сети или от генератора, в зависимости от положения переключателей «сеть», «нагрузка», «генератор».

В данной ситуации мы потребляем 330 Вт активной мощности, но производим больше энергии при помощи генератора. Здесь существует несколько возможностей:

а) Электрогенератор производит больше энергии, чем требует наша нагрузка (330 Вт). В этом случае избыточная энергия отдается в сеть, то есть мы вырабатываем нашу собственную энергию и продаем ее. Чтобы в этом убедиться, измерим при помощи анализатора сети некоторые величины модуля N-PFD.

1. Измерение мощности в сети.

Включите переключатель «сеть А» и проверьте параметры анализатора сети.

Возможные варианты:

Положительное значение мощности: сеть питает нагрузку.

Отрицательное значение мощности: генератор отдает энергию в сеть.

2. Измерение мощности в генераторе.

Включите переключатель «генератор С» и проверьте параметры анализатора сети.

Возможные варианты:

Положительное значение мощности: генератор вырабатывает энергию для нагрузок и сети.

Отрицательное значение мощности: генератор принимает энергию из сети.

4. Измерение мощности в нагрузках.

Включите переключатель «нагрузка В» и проверьте параметры анализатора сети.

В этом случае значение мощности всегда положительно, так как направление потока мощности всегда одно и то же.

### 6.4 Результаты и таблицы

Заполните таблицу, чтобы получить результаты и заполнить колонку «чистое измерение».

Для этого пользователь может подключать различное количество резисторов, чтобы изменять требуемую энергию, а при помощи анализатора сети – снимать показания и заполнять выделенные серым цветом пробелы.

| **Мощность сети (Рсети)** | **Мощность генератора (Рген)** | **Требуемая нагрузка (Рн)** | **Чистое измерение (ЧИ)**<br>**ЧИ = Рген-Рн** |
|---|---|---|---|
| | | 1 резистор (330 Вт) | |
| | | 2 резистора (660 Вт) | |
| | | 3 резистора (990 Вт) | |
| | | 4 резистора (1320 Вт) | |

Контрольные вопросы.

1. Из чего состоит генератор GMG4K?

2. Что такое синхронизация  генератора?

3. Что такое интеллектуальная сеть?

4. Как узнать, что генератор потерял синхронизацию?

5. Что такое баланс чистого измерения?