

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«БРАТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра электроэнергетики и электротехники

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по учебной работе

Е.И.Луковникова

« _____ » декабря 2018 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
АВТОМАТИКА В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

Б1.В.ДВ.10.01

НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ

13.03.02 Энергоэнергетика и электротехника

**ПРОФИЛЬ ПОДГОТОВКИ
Электроснабжение**

Программа академического бакалавриата

Квалификация (степень) выпускника: бакалавр

1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ	3
2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ	3
3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ДИСЦИПЛИНЫ	4
3.1 Распределение объёма дисциплины по формам обучения.....	4
3.2 Распределение объёма дисциплины по видам учебных занятий и трудоемкости	4
4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	5
4.1 Распределение разделов дисциплины по видам учебных занятий	5
4.2 Содержание дисциплины, структурированное по разделам и темам	8
4.3 Лабораторные работы.....	36
4.4 Практические занятия.....	36
4.5. Контрольные мероприятия: курсовой проект (курсовая работа), контрольная работа, РГР, реферат.....	37
5. МАТРИЦА СООТНЕСЕНИЯ РАЗДЕЛОВ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ К ФОРМИРУЕМЫМ В НИХ КОМПЕТЕНЦИЯМ И ОЦЕНКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	37
6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ	37
7. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.....	38
8. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО – ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ» НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	38
9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ.....	38
9.1. Методические указания для обучающихся по выполнению практических работ	38
10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ	45
11. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ	45
Приложение 1. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.....	46
Приложение 2. Аннотация рабочей программы дисциплины	51
Приложение 3. Протокол о дополнениях и изменениях в рабочей программе	52
Приложение 4. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости по дисциплине.....	53

1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Вид деятельности выпускника

Дисциплина охватывает круг вопросов, относящихся к производственно-технологическому виду профессиональной деятельности выпускника в соответствии с компетенциями и видами деятельности, указанными в учебном плане.

Цель дисциплины

Изучение схем и принципов работы автоматики систем электроснабжения, конструкции и работы её элементов.

Задачи дисциплины

Усвоение студентами основных принципов выполнения и работы автоматики систем электроснабжения, а также основных положений и навыков проектирования схем автоматики.

Код компетенции	Содержание компетенций	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
1	2	3
ОПК-2	способность применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении экспериментальных задач	знать: - теоретические основы и принцип действия автоматики систем электроснабжения; уметь: - читать сложные схемы автоматики, анализировать их работу и выполнять расчёты параметров устройств автоматики электроэнергетических объектов; владеть: - навыками решения практических задач по расчету и проектированию схем автоматики по заданным свойствам.
ПК-8	способность использовать технические средства для измерения и контроля основных параметров технологического процесса	знать: - методы представления и измерения параметров автоматики систем электроснабжения; уметь: - применять технические средства для контроля и измерения параметров устройств автоматики электроэнергетических объектов; владеть: - навыками моделирования и исследования автоматики в системах электроснабжения.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина Б1.В.ДВ.10.01 Автоматика в системах электроснабжения относится к элективной части.

Дисциплина Автоматика в системах электроснабжения базируется на знаниях, полученных при изучении таких учебных дисциплин, как: Высшая математика, Информатика, Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем, Основы электропривода.

Основываясь на изучении перечисленных дисциплин, Автоматика в системах электро-снабжения представляет основу для преддипломной практики и подготовки к государственной итоговой аттестации.

Такое системное междисциплинарное изучение направлено на достижение требуемого ФГОС уровня подготовки по квалификации бакалавр.

3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ДИСЦИПЛИНЫ

3.1. Распределение объема дисциплины по формам обучения

Форма обучения	Курс	Семестр	Трудоемкость дисциплины в часах						Курсовая работа (проект), контрольная работа, реферат, РГР	Вид промежуточной аттестации
			Всего часов	Аудиторных часов	Лекции	Лабораторные работы	Практические занятия	Самостоятельная работа		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Заочная	4	-	108	13	4	-	9	91	-	зачет

3.2. Распределение объема дисциплины по видам учебных занятий и трудоемкости

Вид учебных занятий	Трудоемкость (час.)	в т.ч. в интерактивной, активной, инновационной формах, (час.)	Распределение по курсам, час
			5
I. Контактная работа обучающихся с преподавателем (всего)	13	6	13
Лекции (Лк)	4	2	4
Практические занятия (ПЗ)	9	4	9
II. Самостоятельная работа обучающихся (СР)	91	-	91
Подготовка к практическим занятиям	27	-	27
Подготовка к зачету	64	-	64
III. Промежуточная аттестация зачет	+	-	+
Общая трудоемкость дисциплины, час. зач. ед.	108	-	108
	3	-	3

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1. Распределение разделов дисциплины по видам учебных занятий

- для заочной формы обучения:

№ раздела и темы	Наименование раздела и тема дисциплины	Трудоемкость, (час.)	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость; (час.)		
			учебные занятия		самостоятельная работа обучающихся*
			лекции	практические занятия	
1	2	3	4	5	6
1.	Принципы автоматического управления, виды автоматики, классификация автоматики электроэнергетических систем	10,5	0,5	-	10
1.1.	Управление техническими процессами. Разомкнутые системы.	2,1	0,1	-	2
1.2.	Замкнутые системы автоматического управления. Основные элементы системы автоматического управления.	3,1	0,1	-	3
1.3.	Классификация систем автоматического управления.	2,1	0,1	-	2
1.4.	Классификация автоматики электроэнергетических систем.	3,2	0,2	-	3
2.	Автоматика повторного включения	23	1	2	20
2.1.	Назначение и классификация АПВ.	4,5	0,5	-	4
2.2.	Совместная работа АПВ с релейной защитой.	18,5	0,5	2	16
3.	Автоматика включения резерва	26	1	2	23
3.1.	Назначение и общие принципы АВР.	3,2	0,2	-	3
3.2.	Пусковые органы устройств АВР.	4,1	0,1	-	4
3.3.	АВР одностороннего действия на постоянном оперативном токе для радиальной линии.	6,7	0,2	0,5	6
3.4.	АВР секционного выключателя.	9,4	0,4	1	8
3.5.	Расчёт уставок АВР.	2,6	0,1	0,5	2
4.	Автоматическая частотная разгрузка	27	1	3	23
4.1.	Общие понятия, назначение АЧР.	5,2	0,2	-	5
4.2.	Принцип работы АЧР.	10,3	0,3	1	9
4.3.	Понятие о частотных АПВ (ЧАПВ).	3,1	0,1	1	2
4.4.	Схемы АЧР и ЧАПВ.	8,4	0,4	1	7
5.	Автоматика регулирования напряжения	17,5	0,5	2	15
5.1.	Регулирование напряжения силовых трансформаторов под нагрузкой.	10,25	0,25	1	9
5.2.	Автоматика управления конденсаторными установками.	7,25	0,25	1	6
	ИТОГО	104	4	9	91

4.2. Содержание дисциплины, структурированное по разделам и темам

Раздел 1. Принципы автоматического управления, виды автоматике, классификация автоматике электроэнергетических систем

Лекция проводится в интерактивной форме (2 часа).

Любой реальный технический процесс весьма сложен, однако его можно разбить на целый ряд простых процессов – единичных цепей воздействия (рис.1.1).

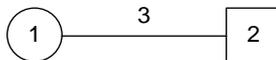


Рис. 1.1. Элементы простого процесса

Единичная цепь воздействия состоит из источника технического воздействия – 1, приемника технического воздействия – 2, линии передачи технического воздействия – 3.

Любой технический процесс характеризуется:

- продолжительностью протекания;
- качественными показателями, т.е. активными силами, приложенными к цепи;
- количественными показателями, т.е. физическими величинами, определяющими интенсивность протекающего процесса.

Совокупность качественных и количественных показателей называется режимом процесса.

Простой технический процесс, являясь составной частью сложного, решает в нём свою задачу, т.е. имеет своё предписание, задание. Чтобы каждый простой процесс протекал должным образом, им нужно управлять.

Следовательно, управление – это обеспечение начала, окончания процесса или изменение его режима. Для того чтобы любой простой процесс начал функционировать, необходимо следующее:

1) наличие потенциальных возможностей источника технического воздействия по отношению к приемнику. Обозначим этот показатель – H ;

2) наличие проводимости цепи передачи технического воздействия – G .

При обеспечении этих условий процесс будет протекать с определенной интенсивностью, отражаемой количественным показателем – B .

$$B = HG. \quad (1.1)$$

Из выражения (1.1) видно, что менять интенсивность процесса, т.е. управлять им, можно, изменяя потенциальное состояние цепи H или проводимость G .

Наиболее универсальным способом можно считать управление процессами путем изменения величины – G . Для этого в цепь вводится элемент управления – 4, т.е. элемент, проводимость которого можно изменять некоторым внешним управляющим воздействием – Q , (рис. 1.2).

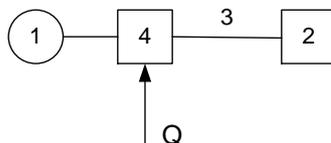


Рис. 1.2. Процесс с элементом управления

Элемент управления обеспечивает зависимость вида

$$G=f_1(Q) \quad (1.2)$$

При постоянном значении H можно записать

$$B=f_2(Q) \quad (1.3)$$

т.е. интенсивность процесса – B можно изменять управляющим воздействием – Q .

Если воздействие Q может осуществляться человеком, то тогда управление будет ручным (механизация процесса). Если же управление осуществляется техническим устройством, то оно называется автоматическим управлением.

Зависимость (1.3), характеризующую процесс управления, можно переписать в виде

$$Q = \psi(B) \quad (1.4)$$

Это выражение имеет следующий аналитический смысл: «управляющее воздействие содержит в себе информацию об интенсивности протекания процесса». Таким образом, процесс управления – это прежде всего передача информации.

В теории автоматического управления (ТАУ) рассматривается два вида систем: разомкнутые и замкнутые.

Тема 1.1. Управление техническими процессами. Разомкнутые системы

Разомкнутые системы в качестве основного способа автоматизации реализуют автоматическое связывание отдельных процессов в составе сложных и используются на низшем уровне иерархии систем управления.

Связь между процессами осуществляется через элементы управления, которые, в свою очередь, создают либо порядково-временную зависимость по моментам начала или окончания равноправных процессов, либо причинную зависимость, при которой один процесс – распорядительный управляет ходом другого процесса – исполнительного.

Автоматизационное связывание получило широкое распространение в системах с дискретным управлением (включено, выключено) или в системах поддержания режимов управляемых процессов, где не требуется высокая точность регулирования. Характерным примером порядково-временного связывания процессов может служить групповой переключатель, обеспечивающий жесткую механическую связь ключей, которые, в свою очередь, создают определенный порядок переключения цепей силового трансформатора при регулировании напряжения под нагрузкой (РПН).

Примером реализации причинной зависимости могут служить *релейное связывание процессов* изменения тока объекта при отключении высоковольтного выключателя – работа релейной защиты (причина).

Наиболее совершенным видом реализации причинной зависимости является функциональное связывание процессов, когда реализуется непрерывная, заранее заданная зависимость между показателями исполнительного и распорядительного процессов $P_{исп.} = f(P_{расп.})$. Например, при работе генератора для того чтобы его напряжение оставалось постоянным, ток в обмотке возбуждения должен быть связан с током нагрузки, заранее определенной заданной зависимостью $I_g = f(I_{нагр.})$ (регулирующая характеристика).

Основным недостатком разомкнутых систем является отсутствие контроля результата.

Более совершенными являются замкнутые системы, или системы с обратными связями, т.е. системы с контролем регулируемых параметров.

Тема 1.2. Замкнутые системы автоматического управления. Основные элементы системы автоматического управления

Целью автоматического регулирования является поддержание заданного значения определенной физической величины, называемой управляемой или регулируемой величиной – показателем X .

Объект, одна или несколько физических величин (показателей) которого регулируются, называется объектом регулирования (управления) (О.Р.). При этом, для того, чтобы можно было осуществить управление, объект должен иметь управляющий или регулирующий орган, изменяя состояние которого можно было бы изменять показатели процесса.

Устройство, оказывающее воздействие на регулирующий орган объекта регулирования, т.е. осуществляющее управление, объектом, называется регулятором (Р).

Внешние воздействия, оказывающие отрицательное влияние на регулируемые показатели объекта управления называются возмущениями Z .

Совокупность объекта управления и регулятора называется системой автоматического регулирования (управления) САР (рис.1.3).

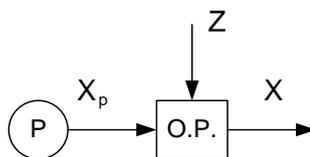


Рис.1.3. Основные элементы системы автоматического управления:
 X – регулируемая величина, Z – возмущение, X_p – регулирующая величина, O.P. – объект регулирования, P – регулятор.

Существует два основных принципа построения систем автоматического регулирования (управления) – по отклонению и по возмущению.

Принцип регулирования по отклонению регулируемой величины от заданного значения (принцип Ползунова-Уатта)

Предполагается, что этот принцип появился на основе наблюдения за действиями человека, управляющим процессом вручную. Человек смотрит на измерительный прибор, указывающий значение регулируемой величины, мысленно сравнивает это значение с заданным, оценивает отклонение процесса от заданного значения и воздействует на регулирующий орган объекта таким образом, чтобы свести это отклонение к минимуму.

Для графического изображения систем существуют различные типы схем. На рис. 1.4 приведена простейшая схема САР для генератора постоянного тока с целью поддержания постоянства напряжения на его зажимах, реализованная по принципу Ползунова-Уатта.

Предположим, что в результате сброса нагрузки величина напряжения генератора U_G начала увеличиваться. При этом повышается напряжение с делителя, U' и возрастает усилие электромагнита, F. После этого сердечник электромагнита (4) начинает втягиваться вместе с механической тягой (5), связанной с пружиной (3). Движок реостата R_d (2) перемещается вниз, вследствие чего в цепь возбуждения вводится дополнительное сопротивление. В этом случае ток в ОВ уменьшается, что приводит к уменьшению величины U_G .

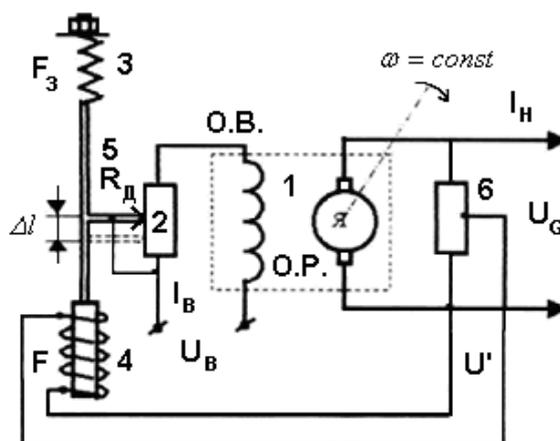


Рис.1.4. САР напряжения генератора, построенная по принципу отклонения:
 1 – O.P. – генератор; U_G – регулируемая величина; 2 – добавочное регулируемое сопротивление в цепи обмотки возбуждения (O.B.) генератора (исполнительный элемент); 3 – пружина (задающий элемент в системе); 4 – электромагнит (преобразовательный элемент); 5 – механическая связь, выполняющая роль элемента сравнения заданного и действительного значений регулируемого показателя; 6 – измерительное устройство (потенциометр)

Таким образом, система работает по принципу сравнения заданного значения напряжения генератора, мерой которого является усилие механическое пружины $F_3 \equiv U_{G \text{ зад}}$ и действительного значения напряжения, мерой которого является усилие электромагнита $F \equiv U_G$. В результате сравнения вырабатывается такое управляющее воздействие (изменение положения

движка R_d и тока возбуждения I_B), чтобы отклонение величины U_G от $U_{G\text{ зад}}$ свести к минимуму.

В ряде расчетов для более наглядного восприятия нашли применение так называемые функциональные схемы. В них элементы изображаются в виде прямоугольников. Разделение на элементы в этих схемах осуществляется по их функциям, отсюда и названия схем. Функции элементов могут быть самыми разнообразными: объект управления, исполнительный элемент, датчик, усилитель, стабилизатор, преобразователь и т.д.

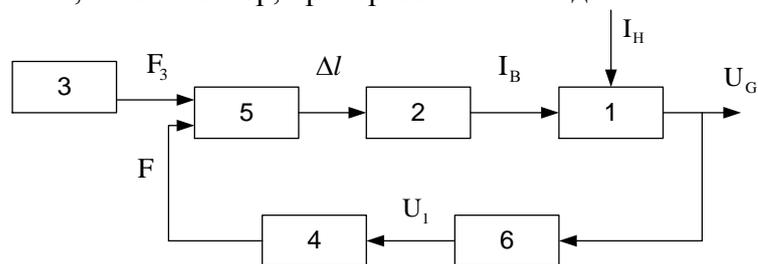


Рис. 1.5. Функциональная схема САР, построенная по принципу отклонения

Объединяя характерные элементы, можно изобразить обобщённую функциональную схему САР (рис. 1.5), построенную по принципу Ползунова-Уатта, т.е. по принципу отклонения регулируемой величины от заданного значения. Из рис.1.5 видно, что такая схема представляет собой замкнутую систему, т.е. систему с обратной связью по регулируемой величине X . При этом, поскольку основной операцией в данной системе является сравнение заданного и действительного значений регулируемой величины, эта обратная связь всегда *отрицательна*.

Достоинством принципа регулирования по отклонению является его универсальность, т.е. система, построенная по этому принципу выполняет свои функции, при всех возможных возмущениях на О.Р.. Недостатком же является то, что в системе, как правило, имеет место отклонение действительной величины от заданной, т.е. определенная ошибка, которая и является движущей силой в работе системы, т.е. как бы реализуется известная философская категория: точность достигается в результате наличия неточности (ошибки).

Принцип регулирования по возмущению (принцип Понселе)

Второй принцип построения САР (его еще называют автокомпенсацией) заключается в том, что регулятор в системе реагирует на величину возмущения, действующего на О.Р. и вырабатывает такое управляющее воздействие, чтобы скомпенсировать действие этого возмущения. Например, применительно к генератору постоянного тока основным возмущением можно считать изменение тока нагрузки.

Компенсацию влияния тока нагрузки на напряжение генератора можно получить введением дополнительной последовательной обмотки возбуждения, включенной в цепь тока нагрузки – способ компаундного возбуждения. Последовательная обмотка такого компаундного возбуждения, подключенная согласно с независимой обмоткой, при увеличении тока нагрузки будет обеспечивать увеличение общего потока возбуждения машины, т.е. компенсировать увеличение реакции якоря и падения напряжения на нем. В результате этого, при соответствующем подборе числа витков последовательной обмотки, напряжение генератора будет оставаться постоянным (рис. 1.6).

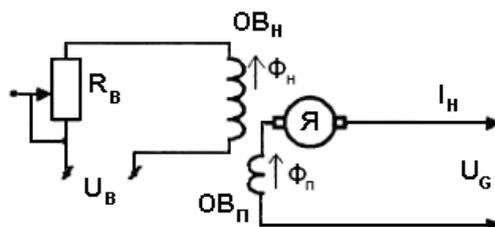


Рис.1.6. Схема генератора с компаундной обмоткой возбуждения

Следует отметить, что принцип регулирования по возмущению дает хорошие результаты в тех случаях, когда на О.Р. действует одно мощное возмущение, а остальные малы и ими можно пренебречь. В этом случае системы, как видно из приведенного примера, получаются простыми и эффективными.

Если же на О.Р. действуют несколько равноценных возмущений, то, скомпенсировав одно из них, мы не получим необходимой эффективности в работе системы. Если же построить систему с компенсацией всех возмущений, то она может оказаться весьма сложной и громоздкой. Иными словами, рассмотренный принцип не является универсальным.

Обобщенная функциональная схема системы, построенной по принципу регулирования по возмущению, приведена на рис. 1.7.

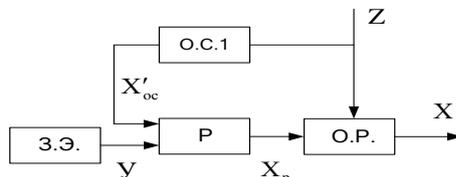


Рис. 1.7. Функциональная схема системы, построенной по принципу возмущения: О.С.1 – компенсирующая обратная связь по возмущению; X'_{oc} – сигнал обратной связи по возмущению

Наиболее совершенные системы – системы *комбинированного регулирования*, используют сразу оба принципа: и по отклонению, и по возмущению. Функциональная схема такой системы приведена на рис. 1.8.

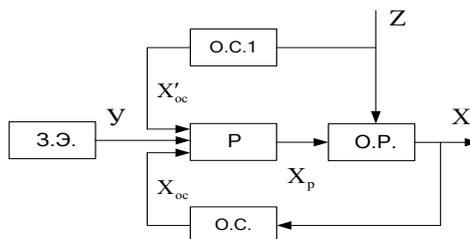


Рис. 1.8. Функциональная схема системы комбинированного регулирования

Тема 1.3. Классификация систем автоматического управления

САУ можно классифицировать по различным признакам, а именно:

1. По закону воспроизведения регулируемой (выходной) величины:

- стабилизирующая автоматическая система, когда значение выходной величины поддерживается неизменным ($X=const$), именно такие системы называют системами автоматического регулирования;
- программные системы, когда регулируемая величина поддерживается по определенному, априори заданному закону во времени;
- следящие системы, когда регулируемая величина поддерживается по закону неизвестному априори, определяемому каким-либо распорядительным процессом;
- самонастраивающиеся системы, в которых программа может изменяться в зависимости от внешних условий;
- системы оптимального и экстремального регулирования, когда выходная величина поддерживается на возможном максимуме, минимуме или на наиболее выгодном в каком-либо отношении уровне.

2. По характеру воздействия регулятора на объект регулирования:

- системы непрерывного типа, в которых регулирующее воздействие X_p изменяется непрерывно во времени;
- системы импульсного типа, в которых регулирующее воздействие X_p импульсного типа с изменяющейся амплитудой или длительностью импульсов;
- системы релейного типа, в которых в качестве исполнительного устройства в регуляторе используется элемент с релейной характеристикой.

3. По характеру регулируемой величины:

- напряжения;
- тока;
- уровня;
- температуры и т.д.

4. По виду уравнений системы:

- линейные;
- нелинейные.

5. По количеству регулируемых величин:

- одномерные (регулируется одна величина);
- многомерные (регулируется несколько величин).

6. По типу элементов в системе:

- статические (все элементы статические);
- астатические (имеется хотя бы один астатический элемент в составе регулятора).

Тема 1.4. Классификация автоматики электроэнергетических систем

Развитие технических средств автоматического управления обуславливают такие особенности процесса функционирования систем электроснабжения, как соблюдение в каждый момент времени баланса активной и реактивной мощности, время от времени возникающие короткие замыкания, высокая быстротечность электромагнитных и электромеханических переходных процессов. Причём под автоматическим понимается управление процессом производства, передачи и потребления электроэнергии без непосредственного участия человека.

Технические средства автоматического управления процессом производства и передачи электроэнергии (процессом функционирования систем электроснабжения) делятся на автоматику управления нормальными режимами работы ЭЭС и автоматические устройства противоаварийного управления – противоаварийную автоматику (таблица 1).

Таблица 1

Автоматика электроэнергетических систем

Назначение автоматики	Вид автоматики	
	Автоматика нормального режима	Противоаварийная автоматика
1. Станционная	Автоматика пуска и синхронизации генераторов электростанции, АРВ, АРЧВ, АРМ, устройства ГРАМ и ГРАРМ	Автоматические устройства форсировки возбуждения генераторов, АОСЧ, АОПЧ
2. Сетевая	Автоматические устройства регулирования напряжения у трансформаторов (УРПН, АРКТ) и потребителей электроэнергии с помощью ИРМ	АПВ, АВР
3. Системная	АРЧМ	АЧР, АЛАР, АПНУ

В таблице 1 использованы следующие сокращения: АРВ – автоматика регулирования возбуждения; АРЧВ – автоматика регулирования частоты вращения; АРМ – автоматика регулирования активной мощности; ГРАМ – групповой регулятор активной мощности; ГРАРМ – групповой регулятор активной и реактивной мощности; УРПН – устройство регулирования под нагрузкой; АРКТ – автоматический регулятор коэффициента трансформации; ИРМ – источник реактивной мощности; АОСЧ – автоматика ограничения снижения частоты; АОПЧ – автоматика ограничения повышения частоты; АПВ – автоматика повторного включения; АВР – автоматика включения резерва; АЧР – автоматическая частотная разгрузка; АЛАР –

автоматика ликвидации асинхронного режима; АПНУ – автоматика предотвращения нарушения устойчивости.

Назначением автоматики нормального режима работы ЭЭС является:

- 1) обеспечение требуемой надёжности функционирования ЭЭС;
- 2) обеспечение статической устойчивости ЭЭС;
- 3) обеспечение требуемых показателей качества электроэнергии.

Назначением противоаварийной автоматики является решение острой и специфической проблемы современных ЭЭС – обеспечение совместного функционирования (синхронной устойчивости) множества мощных электростанций, связанных длинными и сильно нагруженными линиями электропередачи в условиях больших возмущающих воздействий в виде неизбежных КЗ и связанных с ними отключений мощных электроэнергетических объектов, обуславливающих скачкообразные изменения генерируемых, передаваемых и предельных (по устойчивости) мощностей.

Назначением технических средств противоаварийной автоматики также является предотвращение возникновения и развития аварийных процессов в энергосистеме и ускорение восстановления нормальных режимов.

Прежде всего, действует автоматика повторного (АПВ) и резервного (АВР) включения отключенных РЗ выключателей.

При устойчивых КЗ и повторных отключениях РЗ повреждённых электроэнергетических объектов появляется небаланс мощностей и, как следствие, возникает опасность нарушения синхронной устойчивости ЭЭС. В этом случае вступает в действие общесистемная противоаварийная автоматика, основной задачей которой является недопущение нарушения динамической или статической устойчивости или сохранение результирующей (после кратковременного асинхронного режима) устойчивости функционирования ЭЭС. Общесистемная противоаварийная автоматика состоит из рассредоточенных по электроэнергетическим системам комплексов автоматических устройств, таких как автоматика предотвращения нарушения устойчивости (АПНУ) и устройства автоматики ликвидации асинхронного режима работы (АЛАР).

Раздел 2. Автоматика повторного включения

Тема 2.1. Назначение и классификация АПВ

Известно, что короткие замыкания в электрических сетях при достаточно быстром отключении повреждения часто самоустраняются. Особенно это характерно для воздушных линий электропередачи (ВЛ).

К самоустраняющимся повреждениям относятся КЗ, вызванные перекрытием изоляции при грозовой деятельности, схлопыванием проводов от ветра и др. При быстром отключении таких повреждений электрическая дуга в месте КЗ гаснет, не успевая вызвать существенных разрушений, препятствующих новому включению ВЛ под напряжение.

Такие самоустраняющиеся повреждения принято называть неустойчивыми. Статистика свидетельствует, что доля таких самоустраняющихся повреждений ВЛ весьма велика и составляет 50-90 %.

Поскольку отыскание места повреждения на ВЛ путём её обхода – дело весьма трудоёмкое и длительное, а многие повреждения неустойчивы, дежурному персоналу разрешено опробование ВЛ после их отключения путём нового включения под напряжение. Эту операцию называют повторным включением. Линия, на которой произошло неустойчивое повреждение, при повторном включении остается в работе. Такое повторное включение называется успешным.

Реже на ВЛ возникают повреждения, связанные с обрывом фаз, тросов, изоляторов, поломкой опор. Такие повреждения при отключении линии самоустраниться не могут. Их называют устойчивыми. При повторном включении линии, на которой произошло такое повреждение, снова возникает КЗ и вновь срабатывает релейная защита, отключая линию. Повторные включения при устойчивых повреждениях принято называть неуспешными.

Как показала практика, на подстанциях с постоянным обслуживающим персоналом процесс ручного повторного включения занимает несколько минут, а на подстанциях без постоянного обслуживающего персонала – 0,5 ÷ 1 час. Поэтому для ускорения процесса повторного включения, т.е. уменьшения времени перерыва питания потребителей, широкое распространение получила автоматика повторного включения (АПВ). Время действия АПВ обычно не превышает нескольких секунд.

Согласно ПУЭ применение АПВ обязательно на всех воздушных и кабельно-воздушных линиях напряжением выше 1 кВ. Наиболее эффективна АПВ на линиях с однофазным питанием, т.к. в этих случаях каждое успешное её действие восстанавливает питание потребителей, т.е. предотвращает аварию.

В системах с двухсторонним питанием, в кольцевых сетях отключение одной линии не приводит к потере питания потребителей. Однако и в этом случае каждое успешное действие АПВ ускоряет ликвидацию ненормального режима и способствует восстановлению исходной электрической схемы. Кроме ВЛ, неустойчивые повреждения возникают на шинах подстанций, и ПУЭ рекомендует применять АПВ там, где имеется специальная быстродействующая защита шин. Как показала практика, АПВ шин имеет высокую эффективность, поскольку каждый случай её действия предотвращает аварийное отключение всей подстанции или её части, в то время как стоимость устройств АПВ несоизмеримо мала по сравнению с экономическим эффектом, получаемым от уменьшения перерывов в электроснабжении.

Согласно ПУЭ устройствами АПВ оснащаются все одиночно работающие трансформаторы мощностью свыше 1000 кВА. Однако на трансформаторах АПВ выполняется так, чтобы её действие происходило только при срабатывании МТЗ от сверхтоков. Повторное включение трансформатора при внутренних повреждениях (срабатывание дифференциальной защиты, газовой защиты) недопустимо. Успешность срабатывания АПВ трансформаторов также весьма высока и составляет 70-90 %. Хотя повреждения кабельных линий, как правило, устойчивы, успешность работы АПВ и здесь составляет 40-60 %. Это объясняется тем, что многие КЗ происходят не в самих кабельных линиях, а на шинах, а также тем обстоятельством, что отключения происходят вследствие перегрузок, ложных срабатываний защиты и т.д. В ряде случаев применение АПВ улучшает свойства релейной защиты, уменьшает время отключения КЗ, обеспечивает селективность, увеличивает чувствительность.

Устройства АПВ весьма разнообразны, и их можно классифицировать по ряду признаков:

- по быстродействию: быстродействующие АПВ, нормальные АПВ;
- по количеству циклов: АПВ однократного и двукратного действия;
- по числу фаз, включаемых при АПВ: трёхфазные АПВ (ТАПВ), однофазные АПВ (ОАПВ);
- по виду включаемого оборудования: АПВ линий, шин, трансформаторов, двигателей;
- по способу воздействия на привод выключателя: механические, встраиваемые в пружинный или грузовой привод, и электрические – релейные.

Особую группу составляют устройства АПВ, действующие после отключения выключателей устройствами автоматической частотной разгрузки и восстановления частоты, – частотные АПВ (ЧАПВ).

Схема АПВ однократного действия с запуском от несоответствия положения ключа управления и выключателя

Данная схема АПВ применяется на подстанциях с обслуживающим персоналом без телеуправления. Схема, представленная на рисунке 2.1, выполнена на базе комплектного устройства РПВ-58, состоящего из реле времени КТ, промежуточного реле КЛ1 с двумя обмотками – параллельной (U) и последовательной (I), конденсатора С, добавочных сопротивлений R1, R2, R3. Ключ дистанционного управления SA выключателем Q имеет фиксацию (запоминание) последней операции. После операции включения (положение «В₁») он остаётся в положении «В₂», после операции отключения (положение «О₁») ключ остаётся в положении «О₂». Тем самым ключ SA выполняет функции запоминающего устройства.

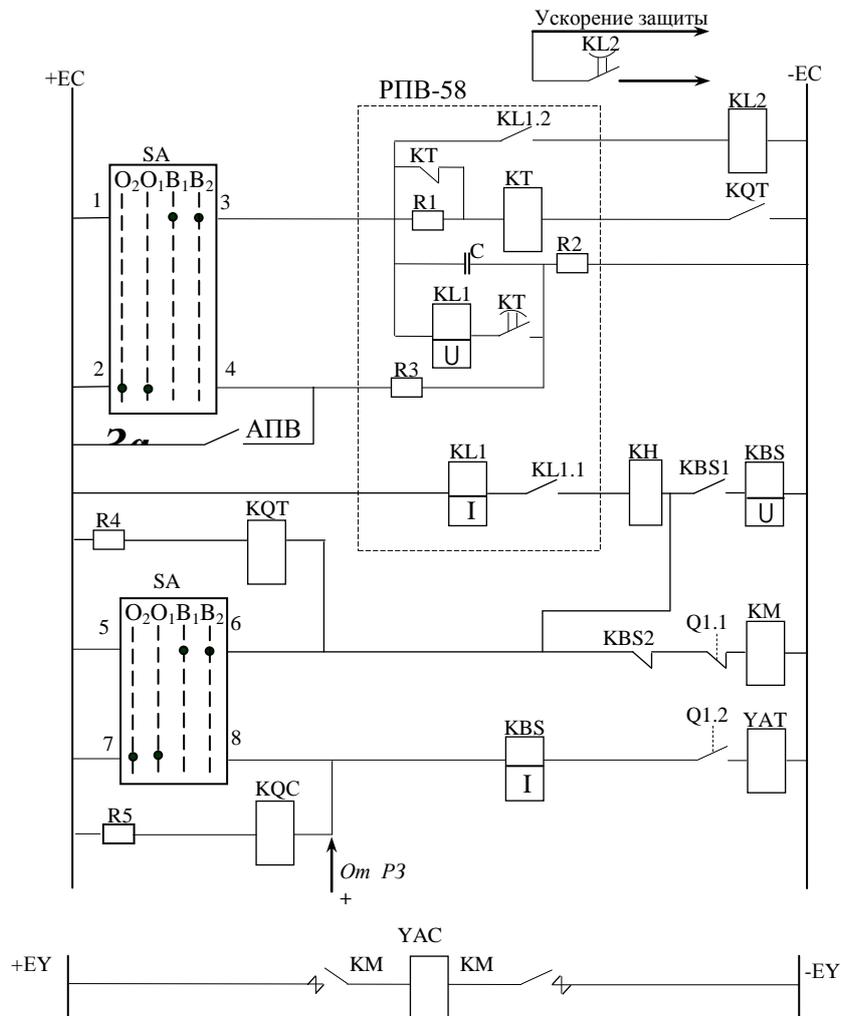


Рис.2.1. АПВ однократного действия для подстанций без телеуправления

Схема АПВ, приведённая на рисунке 2.1, может работать в следующих режимах:

1) Оперативное включение выключателя и подготовка схемы АПВ к работе:

Для включения выключателя Q ключ SA переводится оператором в положение «В₁». При этом замыкаются его контакты 1-3 и 5-6. Через контакты 5-6 создаётся цепь питания катушки электромагнита включения выключателя КМ. Электромагнит замыкает свои контакты в цепи соленоида включения выключателя YAC, и выключатель Q включается. При включении Q замыкаются его блок – контакты Q1.2 и размыкаются Q1.1, приводящие к потере питания реле КQT (реле положения выключателя «отключён»).

После замыкания контакта Q1.2 получает питание реле КQC (реле положения выключателя «включён»). Дополнительное сопротивление в цепи катушки реле R5 ограничивает ток, поэтому срабатывает только реле КQC. После потери питания размыкаются контакты реле КQT в цепи РПВ-58. При отпускании рукоятки ключа SA под действием пружины он занимает положение В₂. Контакты 5-6 размыкаются, в то время как контакты 1-3 остаются замкнутыми. Через них начинается зарядка конденсатора С комплектного устройства РПВ-58. Ограничительное сопротивление R2 обеспечивает полную зарядку конденсатора за 10÷20 с. Это время и является временем подготовки схемы АПВ к работе.

2) Успешная работа АПВ:

При срабатывании релейной защиты создаётся цепь на соленоид отключения выключателя YAT («+», токовая обмотка реле KBS, контакты Q1.2, катушка YAT, «-»). Выключатель Q отключает линию, переключаются его механические блокировки, Q1.1 – замыкается, Q1.2 – размыкается. Создаётся цепь на включение реле КQT («+», R4, катушка КQT, контакты KBS2, контакты Q1.1, катушка КМ, «-»). Благодаря ограничительному сопротивлению R4

срабатывает только реле КQT, замыкая контакты в цепи комплектного устройства РПВ-58. Создаётся «цепь несоответствия» между положением ключа управления SA (B2 – «включить») и отключенным состоянием выключателя Q (замкнутые контакты реле положения выключателя «отключён» –КQT). В результате через замкнутые контакты 1-3 ключа SA и замкнутые контакты КQT получает питание реле времени КТ, которое срабатывает, размыкая свои мгновенные контакты, и в цепь включается добавочное сопротивление R1, ограничивая ток, а значит и нагрев катушки КТ при её длительной работе. Через интервал времени, обычно

соответствующий 1,0÷1,5 с (время работы АПВ или время бестоковой паузы), замыкается контакт реле времени КТ, обеспечивая разряд конденсатора С на параллельную катушку промежуточного реле КL1. Ток разрядного импульса вызывает срабатывание реле КL1 путем замыкания его контактов КL1.1, КL1.2.

Через контакты КL1.1 создаётся цепь повторного включения выключателя Q («+», токовая катушка реле КL1, контакты КL1.1, катушка указательного реле КН, контакты КBS2, контакты Q1.1, катушка электромагнита включения выключателя КМ, «-»), включающего линию. Переключаются блокировки выключателя: Q1.1 – размыкается, Q1.2 – замыкается. Теряет питание КQT, размыкая свои контакты в цепи реле времени КТ, которое возвращается в исходное положение.

Если КЗ самоустранилось, то выключатель Q останется во включенном положении, конденсатор снова начнёт заряжаться по цепи, рассмотренной ранее, и через 10÷20 с схема снова будет готова к работе.

3) Неуспешная работа АПВ:

Если КЗ на линии не самоустранилось, то сразу после повторного включения выключателя Q снова срабатывает релейная защита, вновь отключая выключатель. При этом обычно работает цепь ускорения защиты, обеспечивающая повторное срабатывание РЗ без выдержки времени.

Переключаются блокировки выключателя, Q1.1 – замыкается, Q1.2 – размыкается. Получат питание реле КQT (замкнутся его контакты) и реле времени КТ; через 1,0÷1,5 с замкнутся контакты в цепи контура конденсатор – катушка КL1. Однако конденсатор С – не заряжен. Он только разрядился при первом цикле АПВ, а для зарядки ему требуются 10÷20 с. Не произойдёт срабатывания КL1, контакты КL1.1 в цепи повторного включения останутся разомкнутыми – не произойдёт второго повторного включения. Этим обеспечивается однократность действия данной схемы АПВ.

После устранения КЗ включение выключателя и подготовка схемы к работе осуществляются в той же последовательности, как было рассмотрено выше.

4) Оперативное отключение выключателя:

Для отключения выключателя ключ SA поворачивается в положение «0₁». При этом замыкаются контакты 2-4 и 7-8. После отпускания рукоятки ключа он под действием пружины переходит в положение «0₂» (замкнуты только контакты 2-4). Через контакты 7-8 создаётся цепь на отключение Q («+», контакты 7-8, токовая обмотка реле КBS, контакты Q1.2, соленоид отключения выключателя YAT, «-»). Через контакты 2-4 конденсатор С разряжается на сопротивление R3.

При отключении Q переключаются его механические блокировки: Q1.1 – замыкается, Q1.2 – размыкается. Срабатывает реле КQT, замыкая свой контакт. Однако «цепи несоответствия» для работы реле времени КТ не образуется, т.к. контакты SA 1-2 разомкнуты и АПВ работать не будет.

При оперативном включении выключателя на КЗ АПВ также не работает, т.к. конденсатор С разряжен (времени на разрядку требуется 10÷20 с). АПВ не будет действовать при замыкании контакта «запрет», поскольку через этот контакт и сопротивление R3 конденсатор разрядится.

5) Работа блокировки от многократного включения на КЗ выключателя (КBS):

Для предотвращения многократного включения выключателя на КЗ, что могло бы произойти, например, при заклинивании контактов КL1.1 во включенном положении, в схе-

ме управления предусмотрено специальное реле KBS. Реле срабатывает при прохождении тока по его последовательной обмотке, находящейся в цепи соленоида отключения выключателя YAT. При отключении выключателя от релейной защиты реле KBS срабатывает и становится на самоподпитку через свой контакт KBS1. Эта цепь будет существовать до снятия сигнала «включить», независимо от того, действует ли он через заклинившийся контакт KL1.1 или от ключа SA. При этом цепь электромагнита включения КМ будет разомкнута контактом KBS2.

Схема электрического АПВ для подстанций с телеуправлением (ТУ)

На телемеханизированных подстанциях имеется как местное управление выключателем от ключа SA, установленного на щите подстанции, так и телеуправление (ТУ) с диспетчерского пункта. Другими словами, ключ управления может быть в любом положении. Очевидно, что в этом случае предыдущая схема запуска АПВ неприемлема, т.к. выключатель будет повторно включаться каждый раз при его оперативном отключении через устройства телеуправления.

На телеуправляемых подстанциях для управления выключателем используются ключи SA без фиксации положения, а для запоминания предыдущей команды управления предусматривается специальное реле фиксации команды (KQQ). Ключ SA имеет три положения: «включить» (В), «отключить» (О) и «нейтральное» (Н). После отпускания рукоятки ключ пружиной возвращается в нейтральное положение. Реле KQQ – это двухпозиционное промежуточное реле, имеющее две катушки (рис.2.2).

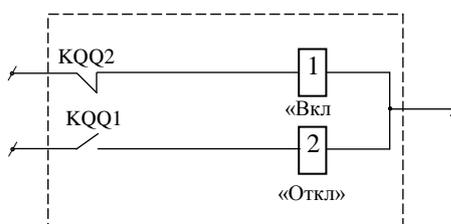


Рис.2.2. Схема двухпозиционного реле фиксации команды

Сигнал на катушку 1 переводит реле в положение 1 (запоминается команда «включить»). В этом положении реле и остаётся после снятия сигнала. Сигнал на катушку 2 переводит реле в положение 2 (запоминается команда «отключить»), где реле и остаётся. Катушки реле не рассчитаны на длительное пропускание тока, поэтому цепи катушек включаются вспомогательными контактами KQQ1 и KQQ2 только на время переключения реле. При любом включении выключателя Q: от ключа SA или от сигнала телеуправления – реле KQQ запоминает команду «включить» и наоборот. Таким образом, при включенном выключателе Q положение KQQ всегда «1» («включено»), при отключенном – такое соответствие имеет место только при оперативном отключении выключателя (от SA или от ТУ).

При отключении выключателя PЗ реле KQQ остаётся в положении «1» («вкл»), благодаря чему и создаётся условие запуска АПВ.

На рисунке 2.3 приведена схема электрического АПВ однократного действия с масляным выключателем для подстанций с ТУ. Эта схема может работать и на подстанциях без телеуправления. Положение блок-контактов соответствует отключённому состоянию выключателя Q. Схема предусматривает работу в следующих режимах:

1) Оперативное включение выключателя и подготовка схемы к работе:

При включении выключателя цепь на КМ создаётся от SA (замыкаются контакты 1-3) или от ТУ («+», контакты 1-3, контакты KBS2, контакты Q1.1, катушка КМ, «-»). Выключатель включается. Размыкаются блок-контакты Q1.1, замыкаются Q1.2, создаётся цепь для включения реле KQC («выключатель включен»). Замыкается контакт этого реле в цепи катушки 1 реле фиксации команды KQQ. Реле переходит в положение 1 (запоминается команда «включить»). Замыкаются контакты KQQ1 этого реле, и одновре-

менно размыкаются контакты КQQ2. Поскольку блок-контакт Q1.1 разомкнут, реле КQT обесточено и его контакт в цепи РПВ-58 разомкнут. Разомкнувшийся контакт КQQ2 снимает шунтировку с конденсатора С, который начинает заряжаться («+», обкладки конденсатора С, ограничительное сопротивление R2, «-»). Через 10÷20 с схема АПВ будет готова к работе.

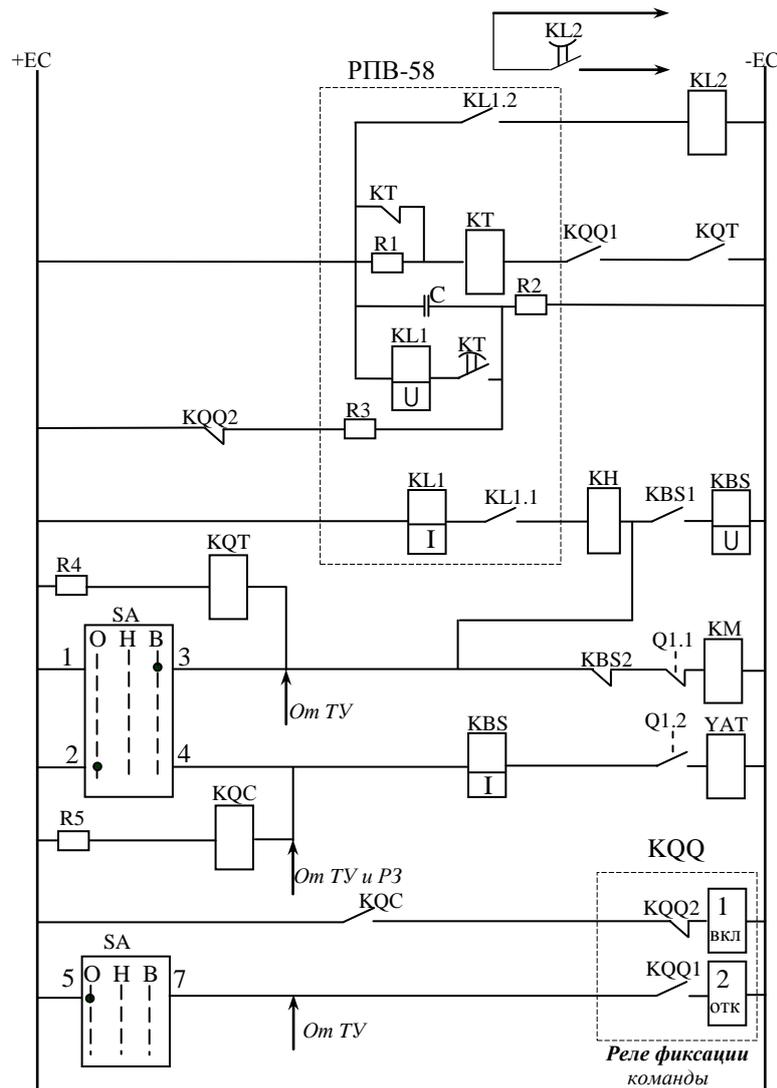


Рис.2.3. АПВ однократного действия для линий с масляным выключателем на телемеханизированной подстанции

2) Успешная и неуспешная работа АПВ:

При срабатывании РЗ создаётся цепь на соленоид отключения выключателя YAT. Выключатель Q отключает линию, размыкая блок-контакты Q1.2 и замыкая Q1.1. Получает питание и срабатывает реле КQT, замыкая контакты в цепи РПВ-58. Вследствие этого в цепи реле времени КТ образуется «цепь несоответствия», приводящая к срабатыванию КТ, и через 1,0÷1,5 с замыкаются его контакты в цепи контура С – КЛ1. Импульс разряда конденсатора обеспечивает срабатывание реле КЛ1. Замыкаются контакты КЛ1.1, КЛ1.2, образуется цепь повторного включения выключателя («+», токовая катушка КЛ1.1, контакты КЛ1.1, катушка указательного реле КХ, контакты КБС2, контакты Q1.1, КМ, «-»). Выключатель Q включает линию, Q1.1 – размыкается, Q1.2 – замыкается. Теряет питание реле КQT, размыкая контакт в цепи реле времени КТ. Реле времени возвращается в исходное положение. Если КЗ самоустранилось, то выключатель Q остаётся во включенном положении, а конденсатор С начинает вновь заряжаться и через 10÷20 с схема АПВ будет снова готова к работе.

Если КЗ не самоустранилось, то РЗ вновь отключает выключатель. Переключаются блок-контакты Q1.1 и Q1.2, и снова срабатывает КQT, замыкая свои контакты в цепи реле времени.

Реле времени замыкает свой контакт в цепи контура С – KL1, но в связи с тем, что конденсатор разряжен, то реле KL1 не сработает и второго повторного включения выключателя не произойдёт. В таком положении схема может оставаться до ликвидации КЗ. Конденсатор С зарядиться не может, т.к. зашунтирован контактом реле времени. Чтобы реле времени не оставалось включённым длительное время, рекомендуется произвести операцию «квитирование несоответствия». Эта операция производится подачей команды на отключение выключателя Q ключом управления или по каналам ТУ (хотя выключатель уже и так отключён РЗ). Тем самым обеспечивается перевод реле фиксации команды КQQ в положение 2 («+»), контакты 5-7 SA, блок-контакты КQQ1, катушка 2 реле КQQ, «-»). Контакты КQQ1 в цепи реле времени размыкаются, реле времени КТ обесточивается и занимает исходное положение. Конденсатор С заряжаться не будет, т.к. замкнувшийся контакт КQQ2 обеспечит его шунтировку через сопротивление R3. После устранения КЗ выключатель можно включить от ключа SA или сигнала ТУ, как было описано выше.

При оперативном включении выключателя Q на КЗ АПВ работать не будет, как и в предыдущей схеме, поскольку конденсатор С не заряжен.

3) Оперативное отключение выключателя:

При оперативном отключении выключателя Q, которое может производиться от SA или сигнала ТУ, одновременно создаются цепи на соленоид отключения выключателя YAT («+»), контакты 2-4, катушка KBS, контакты Q2, катушка YAT, «-») и на катушку 2 реле фиксации команды КQQ («+»), контакты 5-7, контакты КQQ1, катушка 2 реле КQQ, «-»). Выключатель Q отключается, реле КQQ переходит в положение 2, размыкая контакт КQQ1 в цепи РПВ-58, т.е. реле времени не срабатывает. Одновременно контактом КQQ2 шунтируется и разряжается конденсатор С.

Тема 2.2. Совместная работа АПВ с релейной защитой

Совместное использование АПВ и РЗ позволяет улучшить свойства релейной защиты, например, обеспечить селективность в неселективных токовых отсечках, сократить время отключения КЗ и тем самым повысить надёжность питания потребителей. Ускорение защиты при работе АПВ применяется в тех случаях, когда защита, обслуживающая объект, не является быстродействующей, например МТЗ. Принципы ускорения защиты могут выполняться в двух вариантах: до и после АПВ.

На рисунке 2.4 приведена схема участка сети с тремя выключателями, на которых установлены защиты типа МТЗ и АПВ. При КЗ релейная защита с определённой выдержкой времени (t_1 , t_2 или t_3) селективно отключает соответствующий выключатель. Устройство АПВ снова включает линию. При успешном АПВ линия остаётся в работе. В случае неуспешного отключения повреждённый участок должен быть снова отключён и чем быстрее, тем лучше, чтобы не усугублять возникшее повреждение. Быстрое отключение достигается тем, что после АПВ выдержка времени защиты убирается. Отсутствие выдержки времени при повторном срабатывании защиты не приводит к неселективному её действию, т.к. место повреждения уже установлено при первом отключении. С этой целью в схему МТЗ введены контакты реле KL2 системы АПВ, шунтирующие контакты реле времени КТ.

После срабатывания АПВ кратковременно получает питание реле KL2, в результате чего его контакты замыкаются и отпадают, но не сразу, а с выдержкой времени. И при повторном срабатывании РЗ сигнал на выходное реле KL проходит через контакты KL2, т.е. защита срабатывает без выдержки времени.

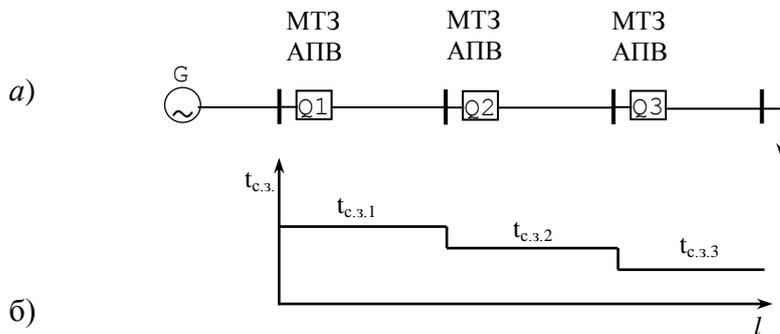


Рис.2.4. Схема участка сети (а) и диаграмма времени срабатывания МТЗ (б)

Через некоторое время контакты KL2 размыкаются и защита восстанавливает свои свойства. Схема цепей ускорения после действия АПВ приведена на рис.2.5.

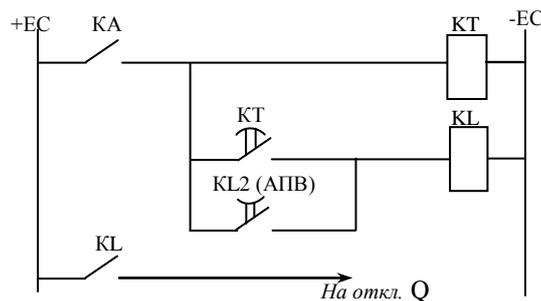


Рис.2.5. Схема цепей ускорения защиты после АПВ

Этот принцип нашёл наиболее широкое применение в электрических сетях. Однако недостатком его является то, что первый раз КЗ отключается со значительной выдержкой времени, которая особенно велика на головных участках. Это существенно снижает эффективность такого АПВ. Поэтому в некоторых случаях целесообразно применять второй принцип.

В схеме, представленной на рисунке 2.6, устройствами АПВ оборудован только первый выключатель Q1. Первый участок оборудован двумя защитами: МТЗ с обычной настройкой по времени срабатывания и неселективной защитой (н.з.) с такой же уставкой по току, как и у МТЗ, но без выдержки времени.

При КЗ на любом участке сначала срабатывает н.з. и отключается выключатель Q1. При наличии АПВ на головном участке такое отключение оправдано, поскольку АПВ повторно включает Q1 и при успешном срабатывании все линии остаются в работе. Если КЗ не самоустранилось, то РЗ срабатывает вновь. Однако теперь защита будет действовать с выдержкой времени (н.з. выводится из работы) и произойдёт селективное отключение только того участка, где произошло КЗ.

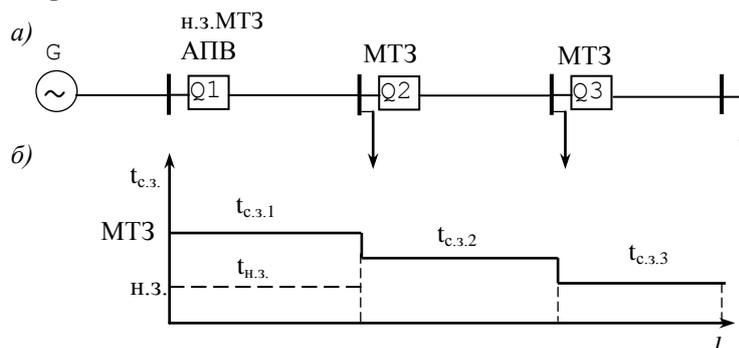


Рис.2.6. Схема участка сети (а) и диаграмма времени срабатывания защит (б)

Достоинством ускорения защиты до АПВ является быстрое первоначальное отключение линии, что повышает вероятность успешной работы АПВ, а также наличие всего одного комплекта АПВ на головном участке. Недостатком является утяжеление работы головного выключателя Q1, в связи с тем, что именно он работает наиболее часто. Схема цепей ускорения защиты приведена на рис.2.7.

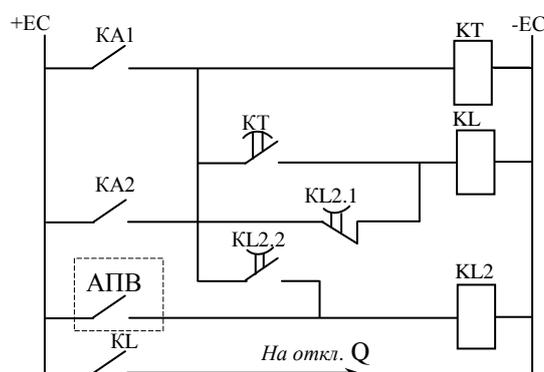


Рис.2.7. Схема цепей ускорения защиты до АПВ

В нормальном режиме реле ускорения защиты KL2 обесточено, его контакты KL2.1 замкнуты, а контакты KL2.2 разомкнуты. При первоначальном срабатывании защит (KA1 и KA2) сигнал через контакты токового реле неселективной защиты KA2 и контакты KL2.1 проходит сразу же на выходное реле KL, т.е. защита срабатывает без выдержки времени. При работе АПВ подаётся импульс на реле KL2, якорь его притягивается и контакты переключаются (KL2.2 – замкнуты, KL2.1 – разомкнуты). Реле имеет выдержку времени на отпадение якоря, поэтому после обесточивания обмотки его контакты некоторое время остаются в указанном положении. Если АПВ неуспешно и снова срабатывает РЗ (замыкаются контакты KA1 и KA2) сигнал на мгновенное срабатывание реле KL не пройдёт (KL2.1 разомкнут). Защита сработает только после срабатывания реле времени KT, т.е. с выдержкой времени, соответствующей времени срабатывания защиты на данном участке. Через контакты KL2.2 обеспечивается самоподпитка KL2 на то время, пока замкнут контакт KA1.

Раздел 3. Автоматика включения резерва

Тема 3.1. Назначение и общие принципы АВР

Одним из основных требований к функционированию ЭЭС является надёжность обеспечения потребителей электрической энергией.

Для повышения надёжности электроснабжения потребители должны иметь несколько источников питания (по меньшей мере два). Выполнить это требование можно, создавая схемы с двухсторонним питанием или кольцевые схемы. Однако такие схемы по сравнению со схемами одностороннего питания обладают рядом недостатков: возрастают токи КЗ, утяжеляется коммутационное оборудование, усложняется релейная защита. Поэтому в ряде случаев целесообразна работа потребителей по схеме с односторонним питанием с использованием второго источника в качестве резервного, который включается при исчезновении питания от рабочего источника. Преимущество одностороннего питания заключается в снижении токов КЗ, удешевлении схем электроснабжения и оборудования, упрощении РЗ, обеспечении необходимого режима по напряжению и перетокам мощностей и т.д. Обычно используются два варианта схем одностороннего питания потребителей при наличии двух или более источников: схемы с явным (рис.2.8, а) и неявным резервом (рис.2.8, б, в).

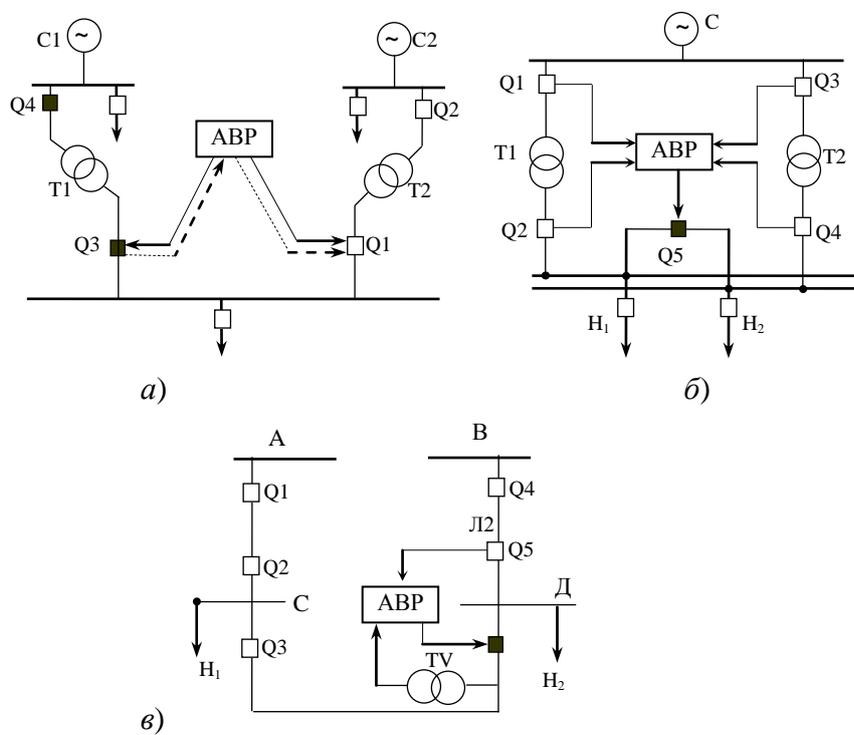


Рис.2.8. Схемы одностороннего питания потребителей

На схеме рисунка 2.8, а один источник (рабочий) включён и осуществляет питание потребителей, а второй (резервный) – отключён. Данная схема применяется в основном для резервирования трансформаторов собственных нужд электростанций.

В схеме рисунка 2.8, б, в все источники нормально включены, но работают отдельно на заранее выделенные потребители. Деление осуществляется на одном из выключателей.

Единственным недостатком в работе систем с резервным источником является перерыв в питании потребителей при переключении с рабочего источника на резервный. Этот недостаток в значительной мере устраняется в результате применения автоматики включения резервного питания. Система АВР снижает перерыв питания до нескольких секунд или долей секунд.

Многолетний опыт эксплуатации показал высокую эффективность работы элементов сетей в сочетании с устройствами АВР. Успешность действия отечественных устройств АВР составляет 90-95 %. В то же время необходимо заметить, что в зарубежных ЭЭС АВР широко распространено в распределительных электрических сетях, а в основных сетях энергосистем используется крайне редко.

В соответствии с ПУЭ необходимо предусматривать АВР во всех случаях, когда отключение рабочего источника приводит к полному прекращению электроснабжения или ограничению мощности потребителей. В связи с этим АВР широко применяется на подстанциях основных и распределительных сетей, в системах собственных нужд электростанций.

В энергосистемах применяется значительное количество устройств АВР, различающихся в зависимости от напряжения и условий работы.

По типу оборудования, на которое действуют устройства, различают АВР трансформаторов, АВР линий электропередачи, АВР секций шин, АВР агрегатов собственных нужд.

По направленности действия – АВР одностороннего и двухстороннего действия. Если АВР одностороннего действия, то первый источник всегда рабочий, а второй всегда резервный, если двухстороннего, то любой источник может быть как рабочим, так и резервным.

По виду источников оперативного тока различают системы АВР на постоянном и переменном оперативном токе.

По виду резерва, включаемого АВР, различают АВР с явным резервом и АВР с неявным резервом. Явным резервом считается такой, когда резервный источник находится либо в отключенном состоянии, либо под напряжением, но без нагрузки. Неявный резерв предполагает работу каждого источника на свою нагрузку.

При отказе одного источника второй подключается для обеспечения питания обеих нагрузок. При этом мощность каждого источника должна быть достаточной для питания общей нагрузки обоих источников.

Несмотря на большое разнообразие систем АВР они должны удовлетворять ряду следующих общих требований:

1. Устройства АВР должны приходить в действие при исчезновении напряжения на шинах потребителей от рабочего источника по любой причине.

2. Включение резервного источника питания должно осуществляться только после отключения выключателя рабочего источника, чтобы избежать возможности включения резервного источника на КЗ в цепи рабочего.

3. Действие АВР должно быть однократным, чтобы не допустить нескольких включений резервного источника на КЗ.

4. Выдержка времени от момента отключения рабочего источника до момента включения резервного должна быть минимально возможной.

5. Для ускорения отключения резервного источника при его включении на КЗ, должно быть предусмотрено ускорение защиты резервного источника после АВР. На подстанциях с большим числом электродвигателей и в установках собственных нужд электростанций ускорение РЗ составляет до 0,5 с. Благодаря этому предотвращается возможность ложного срабатывания токовых РЗ под действием толчка тока, обусловленного сдвигом фаз напряжений ЭЭС и затухающей ЭДС тормозящихся электродвигателей.

6. Для обеспечения работы АВР при исчезновении напряжения на шинах необходимо предусмотреть специальный пусковой орган минимального напряжения.

Тема 3.2. Пусковые органы устройств АВР

Назначение пусковых органов по напряжению (ПОН) – обеспечить запуск АВР при исчезновении напряжения на шинах от рабочего источника, даже если выключатель рабочего источника включён. Пусковой орган не должен запускать АВР при отсутствии напряжения на резервном источнике и должен обеспечить требуемую выдержку времени на срабатывание АВР.

Данные свойства в полной мере обеспечивает ПОН, приведённый на рисунке 2.9.

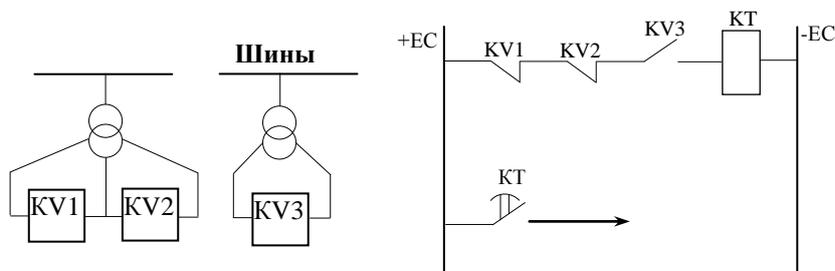


Рис.2.9. Схема пускового органа АВР

Реле минимального напряжения KV1 и KV2 контролируют напряжение. Для надёжности получения информации об исчезновении напряжения контроль осуществляется на всех фазах. Нормально замкнутые контакты этих реле в схеме оперативных цепей соединены последовательно. Реле максимального напряжения KV3 контролирует наличие напряжения на резервном источнике. При исчезновении напряжения на шинах от рабочего источника и наличии напряжения на резервном создаётся цепь на реле времени КТ. Через выдержку времени, за которое может произойти восстановление питания на рабочих шинах, (например, вследствие успешной работы АПВ), замыкаются контакты реле КТ и создаётся цепь на запуск АВР. Существуют и более сложные ПОН, включающие в себя реле тока, реле частоты.

Далее приведено несколько наиболее типичных схем АВР с кратким описанием их работы.

Тема 3.3. АВР одностороннего действия на постоянном оперативном токе для радиальной линии

На рисунке 2.10 представлена схема АВР для радиальной линии. В нормальном режиме подстанция «В» получает питание от линии Л1, т.е. выключатель Q1 включён. Линия Л2 является резервной, выключатель Q1 отключён.

Поводом для работы АВР является отключение выключателя Q1 по любой причине либо исчезновение напряжения на шинах «В» при включённом Q1. Исходное состояние оперативных цепей характеризуется разомкнутыми контактами реле минимального напряжения KV1 и KV2 и замкнутыми контактами KV3. Поскольку реле времени КТ обесточено, то его контакты разомкнуты. Механические блокировки выключателя Q1 – Q1.1 и Q1.2 замкнуты, а блокировка Q1.3 разомкнута. Реле KL1 включено, а его контакты KL1.1 и KL1.2 с выдержкой времени на размыкание замкнуты. Механическая блокировка выключателя Q2 – Q2.1 замкнута.

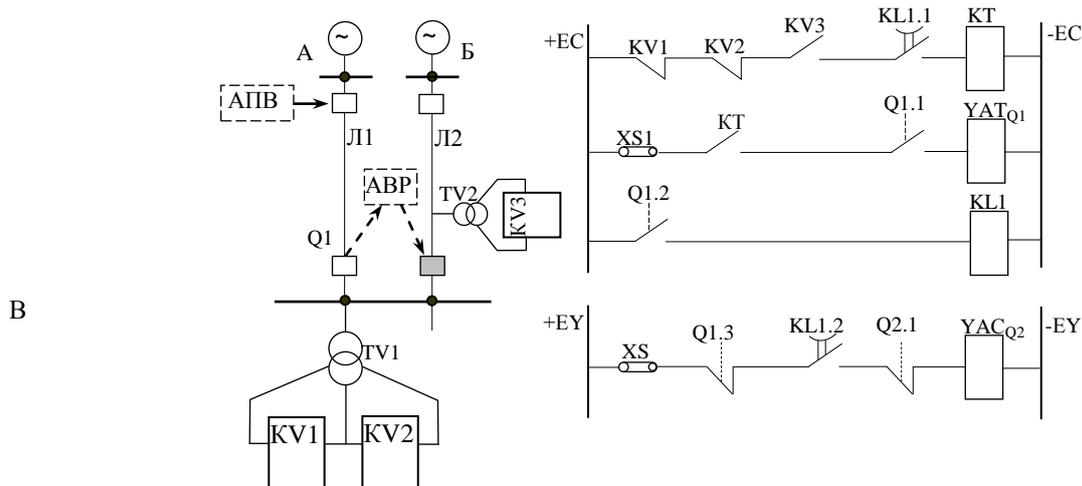


Рис.2.10. Схема АВР одностороннего действия радиальной линии

При отключении Q1 замыкается его блокировка Q1.3, размыкаются Q1.1 и Q1.2. Реле KL1 теряет питание, но его контакты KL1.1 и KL1.2 размыкаются не сразу, поэтому успевает кратковременно составиться цепь на соленоид включения выключателя Q2 – YAC_{Q2}. В результате выключатель Q2 включается, обеспечивая включение резервной линии Л2. При включении Q2 на короткое замыкание на шинах «В» РЗ отключит выключатель Q2, блокировка Q2.1 замкнётся. Однако цепь на новое включение Q2 не составится, т.к. контакты KL1.2 к этому времени уже успеют разомкнуться, чем и обеспечивается однократность работы АВР.

Вторым поводом для работы схемы АВР является исчезновение напряжения на шинах «В», что контролируется пусковым органом. Реле минимального напряжения KV1 и KV2 замыкают свои контакты, и если есть напряжение на резервной линии, т.е. замкнуты контакты KV3, то создаётся цепь на реле времени КТ. Через заданную выдержку времени контакты реле времени КТ замкнутся и создадут цепь на отключение выключателя Q1 («+», контакты КТ, блок-контакты Q1.1, соленоид YAT_{Q1}, «-»). Выключатель Q1 отключается, и далее схема работает, как было описано выше. При наличии на питающей линии устройств АПВ выдержку времени ПОН следует сделать больше времени работы АПВ, т.к. необходимо, чтобы АВР действовало только после неуспешного АПВ. Возврат к нормальной схеме после устранения повреждения питающей линии, как правило, осуществляется вручную.

Тема 3.4. АВР секционного выключателя

Наиболее распространенными устройствами АВР являются системы, работающие на секционные выключатели, разделяющие силовые трансформаторы, линии, шины. Схема одного из таких устройств приведена на рисунке 2.11.

В схеме силовые трансформаторы Т1 и Т2 работают каждый на свои шины (схема неавтономного резерва), выключатель Q3 отключён. При прекращении питания шин от данного трансформатора включается Q3 и питание обеих шин будет осуществляться от одного трансформатора. Поводом для начала работы АВР может быть отключение по любым причинам выключателя Q1 или Q2 либо исчезновение напряжения на шинах (А или Б). АВР работает совершенно симметрично, т.е. является системой двухстороннего действия.

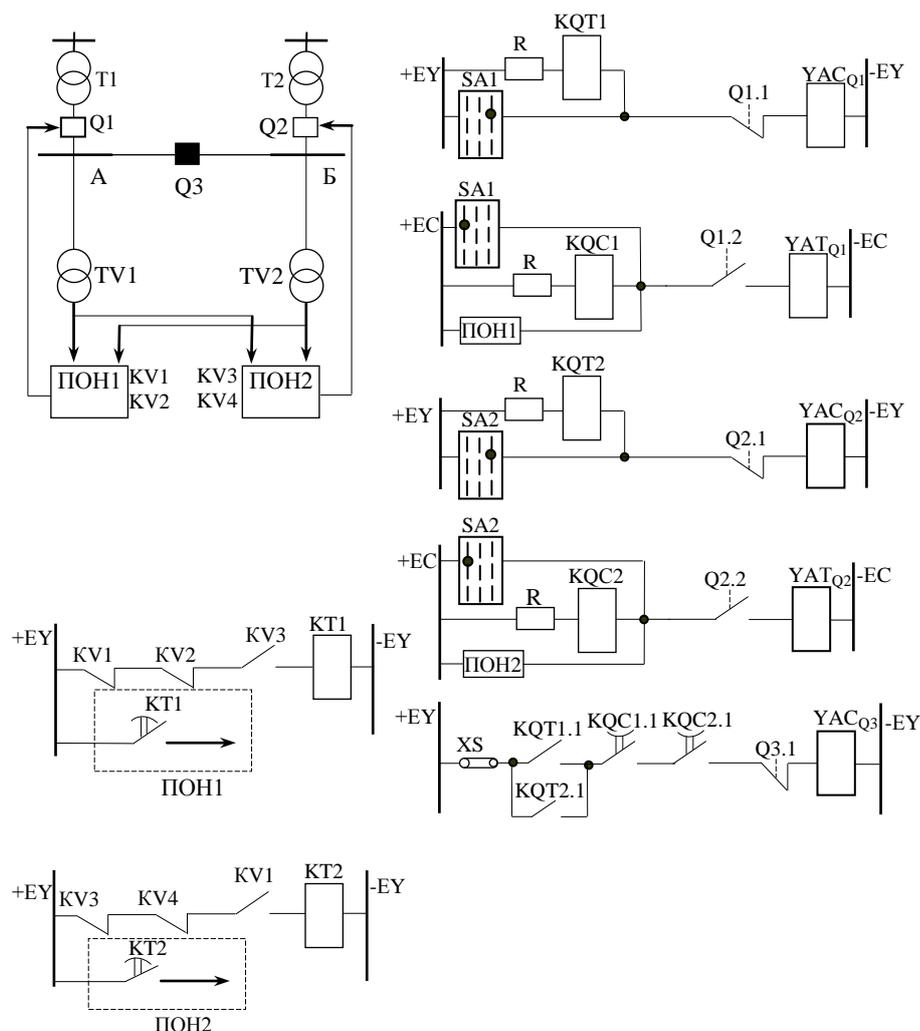


Рис.2.11. Схема устройства АВР секционного выключателя

Исходное состояние схемы: Q1, Q2 – включены, Q3 – отключён, контакты KQC1.1, KQC2.1 – замкнуты, контакты KQT1.1 и KQT2.1 – разомкнуты, блокировки Q1.1, Q2.1 – разомкнуты, Q1.2, Q2.2, Q3.1 – замкнуты. При отключении выключателя Q1 переключаются его механические блокировки: Q1.1 – замыкается, Q1.2 – размыкается. Теряет питание реле KQC1 и получает питание реле KQT1. Замыкаются контакты KQT1.1, а контакты KQC1.1 размыкаются не сразу, т.к. реле KQC имеет выдержку времени на отпадение якоря. Кратковременно составляется цепь на соленоид включения YAC выключателя Q3 («+», XS, контакты KQT1.1, контакты KQC1.1, контакты KQC2.1, блокконтакты Q3.1, катушка YAC_{Q3}, «-»). Выключатель Q3 включается. Если выключатель Q3 оказывается включённым на КЗ и РЗ его отключает, второго включения не произойдёт, т.к. контакт KQC1.1 к этому времени окажется разомкнутым. Таким образом обеспечивается однократность действия АВР.

При исчезновении напряжения на шинах А или Б работает ПОН1 или ПОН2 и обеспечивает цепь на отключение выключателя Q1 или Q2. После этого схема работает, как было рассмотрено выше.

Тема 3.5. Расчёт уставок АВР

Выдержка времени реле однократности действия АВР от момента снятия напряжения с его обмотки до момента размыкания его контактов $t_{o.в.}$ должна с некоторым запасом $t_{зан}$ ($0,3 \div 0,5$ с) превышать время, необходимое для включения выключателя резервного источника $t_{в.в.}$:

$$t_{o.в.} = t_{в.в.} + t_{зан} . \quad (2.1)$$

Напряжение срабатывания пускового органа (ПОН) $U_{с.р.}$, т.е. реле минимального напряжения, выбирается так, чтобы он срабатывал только при полном исчезновении напряжения на шинах и не приходил в действие при понижениях напряжения, вызванных внешними КЗ (за трансформаторами, реакторами), на шинах как высокого, так и низкого напряжения или в связи самозапуском электродвигателей после восстановления напряжения. Математически это представляется следующими выражениями:

$$U_{с.р.} = \frac{U_{ост.к.}}{K_H \cdot K_{KV}} , \quad (2.2)$$

или

$$U_{с.р.} = \frac{U_{зан}}{K_H \cdot K_{KV}} , \quad (2.3)$$

где $U_{ост.к.}$ – наименьшее расчётное значение остаточного напряжения на шинах при внешних КЗ; $U_{зан}$ – наименьшее расчётное напряжение на шинах при самозапуске двигателей; K_H – коэффициент надёжности ($1,1 \div 1,2$); K_{TV} – коэффициент трансформации трансформатора напряжения.

В большинстве случаев напряжение срабатывания определяется как:

$$U_{с.р.} = (0,25 \div 0,4) U_{ном},$$

где $U_{ном}$ – номинальное значение напряжения на шинах.

Выдержка времени пускового органа выбирается на ступень селективности ($\Delta t = 0,4 \div 0,5$ с) больше максимальной выдержки времени защит, действующих при КЗ вблизи шин (до реакторов и трансформаторов), т.е. где пусковой орган трудно отстроить по напряжению:

$$t_{нон} = t_{P3} + \Delta t , \quad (2.4)$$

где $t_{нон}$ – выдержка пускового органа; t_{P3} – время срабатывания P3 (наибольшее) на присоединениях к шинам; Δt – ступень селективности ($0,4 \div 0,5$ с).

При наличии АПВ на рабочем источнике время срабатывания ПОН должно согласовываться со временем действия АПВ:

$$t_{нон} = t_{P3} + t_{АПВ} + \Delta t . \quad (2.5)$$

Раздел 4. Автоматическая частотная разгрузка

Тема 4.1. Общие понятия, назначение АЧР

В нормальных режимах работы ЭЭС существует баланс мощностей между генератором системы и её потребителями:

$$\sum_{i=1}^m P_{Гi} = \sum_{j=1}^n P_{Пj} , \quad (4.1)$$

где $\sum_{i=1}^m P_{Гi}$ – суммарная мощность i генераторов, выдаваемая в систему; $\sum_{j=1}^n P_{Пj}$ – суммарная потребляемая мощность j электроприёмников с учётом потерь.

Наличие равенства генерируемых и потребляемых мощностей является необходимым условием существования установившегося режима в системе. При этом частота f во всех точках энергосистемы одинакова и определяется частотой вращения роторов генераторов:

$$f = \frac{p \cdot n}{60}, \quad (4.2)$$

где p – число пар полюсов генератора; n – частота вращения ротора, об/мин.

При нарушении баланса начинает изменяться частота. Чаще всего баланс нарушается за счёт увеличения нагрузки или при отключении источников питания. В этом случае возникает дефицит активной мощности в системе $\sum_{i=1}^m P_{\Gamma i} - \sum_{j=1}^n P_{\Pi j} = \Delta P$ и частота начинает уменьшаться. При небольших нарушениях условия баланса в рамках (4.1), вызванных изменением нагрузки генераторов или потребителей, соответствие между генерацией и потреблением восстанавливается автоматически при новой частоте. Это происходит за счёт так называемого регулирующего эффекта нагрузки, который заключается в свойстве нагрузок уменьшать потребление активной мощности при снижении частоты. Это свойство саморегулирования энергосистем обеспечивает устойчивость их работы. Кроме этого при изменении частоты вступают в действие автоматические регуляторы частоты и активной мощности на электростанциях. Возникший небаланс ликвидируется за счёт имеющегося в энергосистеме резерва генерирующей мощности, и нормальное значение частоты восстанавливается.

Однако некоторые аварии могут привести к возникновению такого дефицита, который не ликвидируется даже при полном использовании вращающегося резерва генерирующей мощности. Тогда частота будет снижаться. Снижение частоты более чем на 1-2 Гц представляет серьёзную опасность и может привести к полному расстройству работы энергосистемы. Это в первую очередь определяется тем, что при понижении частоты резко снижается производительность механизмов собственных нужд тепловых и атомных электростанций. Мощность электростанций падает, что приводит к ещё большему дефициту мощности и ещё большему снижению частоты. При определённых условиях, начиная с некоторого значения частоты, темп процесса снижения частоты может резко возрасти и стать неуправляемым. Возникает так называемая «лавина частоты», приводящая к развалу энергосистемы, полной остановке электростанций, отключению значительной части потребителей. По своим последствиям аварии с лавиной частоты являются самыми тяжёлыми и связаны с большим народнохозяйственным ущербом.

Другой опасностью снижения частоты является возможность развития так называемой «лавины напряжения», приводящей к массовому хаотическому отключению потребителей. «Лавина напряжения» может возникать в узлах нагрузки из-за дефицита реактивной мощности, потребление которой при снижении частоты увеличивается, а генерация – уменьшается. Процессы «лавины частоты» и «лавины напряжения» могут протекать довольно быстро в течение нескольких секунд, и так как дежурный персонал не всегда успевает принять своевременные меры, то ликвидация аварийного режима должна возлагаться на устройства автоматики.

Для предотвращения аварий, связанных с возникновением дефицита мощности и понижением частоты, возможен следующий комплекс мероприятий:

- использование вращающегося (горячего) резерва мощности генераторов;
- перевод гидроагрегатов из режима синхронного компенсатора в генераторный режим;
- пуск резервных агрегатов (холодного резерва);
- отключение части потребителей.

Величина вращающегося (горячего) резерва, как правило, незначительна, а в часы «пик» такой резерв практически отсутствует. В то же время при крупных авариях, связанных с отключением генераторов, дефицит мощности может достигать больших значений. Перевод агрегата из режима синхронного компенсатора в генераторный режим требует порядка 10-30 с, запуск резервного гидроагрегата – 50-90 с, т.е. это процесс достаточно длительный и не может предотвратить такие явления, как «лавина частоты» и «лавина напряжения», протекающие значительно быстрее. В таких условиях наиболее быстродействующим и надёжным

средством является отключение части потребителей, что и выполняет автоматическая частотная разгрузка (АЧР).

Хотя АЧР и связана с некоторым ущербом, она позволяет предотвратить значительно больший ущерб, вызванный нарушением нормальной работы или полным развалом энергосистемы.

Требования, предъявляемые к АЧР:

1. Мощность, отключаемая устройствами АЧР, должна быть достаточной для ликвидации реально возможного максимального дефицита мощности.

2. Устройства АЧР должны рассчитываться и выполняться таким образом, чтобы исключить возможность возникновения «лавины частоты» и «лавины напряжения». Опыт эксплуатации энергосистем показывает, что недопустима даже кратковременная работа системы с частотой ниже 45 Гц. Время работы с частотой ниже 47 Гц не должно превышать 20 с, а с частотой ниже 48,5 Гц – 60 с.

3. После действия АЧР частота должна восстанавливаться до значения 49÷49,5 Гц; дальнейшее повышение осуществляется включением резервных агрегатов ГЭС.

4. Действия АЧР должны быть согласованы с работой устройств АПВ и АВР.

5. Места установки АЧР должны учитывать возможность ликвидации любого дефицита мощности, независимо от характера аварии и места её происхождения.

Тема 4.2. Принцип работы АЧР

Исторически системы АЧР начали выполняться для отдельных изолированных энергосистем. При небольшом количестве очередей (не более 4-5) ступени между смежными очередями составляли 0,5÷0,7 Гц. Мощность каждой очереди выбиралась исходя из условий восстановления частоты от значения уставки данной очереди до частоты, близкой к номинальной. В одних случаях действия АЧР приводили к излишнему отключению потребителей, в других – не обеспечивали должного подъёма частоты.

Принцип, положенный в основу современных систем АЧР, работающих в условиях крупных энергосистем, – существенное увеличение числа ступеней. Чем больше число ступеней и, следовательно, чем меньше нагрузка, отключаемая каждой очередью, тем более гибкой становится вся система разгрузки.

Таким образом, осуществлён переход от дискретной системы разгрузки малым числом крупных по мощности очередей к «плавной», «непрерывной» системе с большим числом малых по мощности очередей, близкой к системе автоматического регулирования.

«Самонастройка» разгрузки, помимо выполнения её большим числом очередей, достигается также разделением всех устройств на категории:

АЧР-I – быстродействующая категория разгрузки, предназначенная для предотвращения значительного снижения частоты. Выполняется в виде нескольких очередей, имеющих различные уставки по частоте.

АЧР-II – медленнодействующая разгрузка, предназначенная для подъёма частоты после действия АЧР-I, а также для предотвращения «зависания» частоты на недопустимо низком уровне. Она выполняется в виде нескольких очередей с общей уставкой по частоте, но различными уставками по времени.

Дополнительная – действующая при больших дефицитах мощности разгрузка, предназначенная для ускорения отключения потребителей и увеличения объёма отключаемой нагрузки.

Опыт эксплуатации энергосистем показывает, что снижение частоты ниже 49 Гц означает, что вращающийся резерв ГЭС уже практически полностью исчерпан. Поэтому верхний уровень уставок по частоте, как АЧР-I, так и АЧР-II, обычно 48,6÷48,8 Гц. Ниже этого уровня АЧР-I работает с интервалами по частоте 0,1 Гц. Минимальный уровень уставок по частоте АЧР-I не ниже 46,5 Гц. Начальная уставка по времени АЧР-II 5÷10 с, конечная уставка АЧР-II 60÷90 с.

После отработки АЧР-II частота, как правило, восстанавливается до значений 49,0÷49,2 Гц или более высоких значений. Дальнейшее повышение частоты, которое осуще-

ствляется за счёт включения резервных гидроагрегатов, позволяет постепенно включить ранее отключённые нагрузки. Для этого используются частотные АПВ (ЧАПВ). Диапазон уставок ЧАПВ принимают равным $49,2 \div 50,0$ Гц. Характер изменения частоты в системе при работе АЧР показан на рисунке 4.1.

При снижении частоты до общей уставки АЧР-I и АЧР-II (примерно 48,5 Гц) начинает работу автоматика разгрузки. По мере снижения частоты срабатывают отдельные очереди категории разгрузки АЧР-I (точки 1', 2', 3', 4', 5', 6', 7'). После срабатывания ряда очередей АЧР-I частота устанавливается на некотором уровне f_{min} , превышающем минимально допустимый, что и является для АЧР-I конечной целью данной категории разгрузки. Далее вступает в работу категория разгрузки АЧР-II. Через время $t_{1''}$ после запуска срабатывает первая очередь АЧР-II, через $t_{2''}$ – вторая и т.д. (точки 1'', 2'', 3'', 4'', 5'').

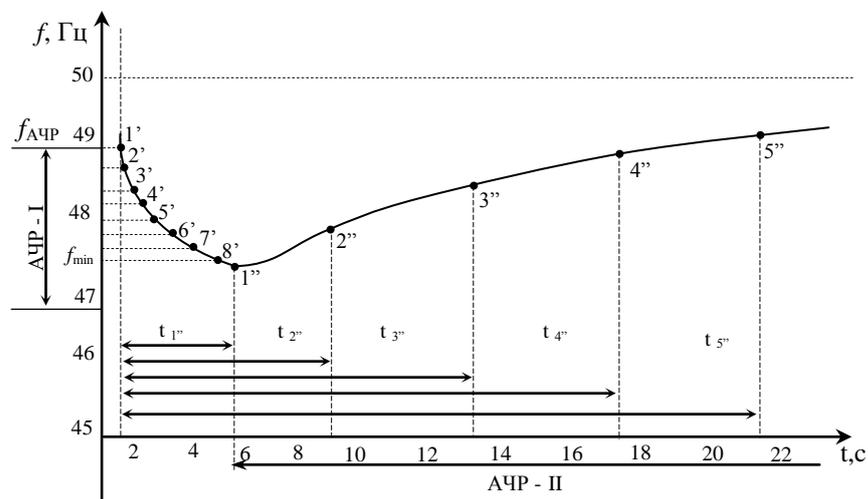


Рис.4.1. Характер изменения частоты при работе АЧР

Таким образом, по мере аварийного снижения частоты срабатывают устройства АЧР-I со всё более низкими уставками по частоте, а при повышении частоты срабатывают устройства АЧР-II со всё более высокими уставками по времени.

Тема 4.3. Понятие о частотных АПВ (ЧАПВ)

После работы АЧР, отключившей часть нагрузок, и восстановления частоты дефицит мощности в системе начинает покрываться за счёт медленно мобилизуемых резервов. Это в первую очередь включение резервных агрегатов ГЭС и т.п. Однако возникает задача по возможности быстро восстановить питание отключённых потребителей. Эту задачу решает ЧАПВ, устанавливаемое на всех объектах, где есть АЧР, и чаще всего используемое для подключения потребителей высокой степени ответственности, отключаемых последними очередями АЧР, для восстановления питания потребителей на подстанциях без дежурного персонала и без телеуправления. Частотное АПВ выполняется несколькими очередями как с единой уставкой по частоте, так и с разными уставками, но при частотах, близких к номинальной ($49,2 \div 50,0$ Гц).

Минимальная уставка по времени принимается равной $10 \div 20$ с, максимальная зависит от конкретных условий работы системы и возможности ликвидации дефицита мощности. С учётом возможности развития аварии, повторного снижения частоты ЧАПВ выполняется однократным.

Тема 4.4. Схемы АЧР и ЧАПВ

Схемы АЧР и ЧАПВ в зависимости от типа пусковых органов, количества очередей разгрузки, типов элементной базы отличаются значительным разнообразием. В качестве пусковых органов в настоящее время применяются полупроводниковые реле РЧ-I с возможностью

настройки на срабатывание при понижении частоты в диапазоне 45÷50 Гц и настройки на возврат при повышении частоты в диапазоне 46÷51 Гц. Схемы АЧР и ЧАПВ выполняются в виде центральных устройств, общих для нескольких секций шин подстанции, и индивидуальных устройств, устанавливаемых для отдельных присоединений. На рисунке 4.2 приведён один из вариантов простейшей схемы центральных устройств разгрузки с одним реле РЧ-I.

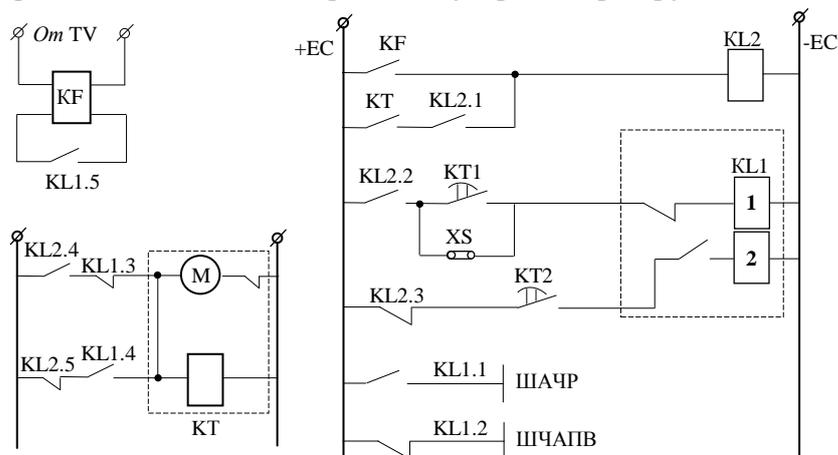


Рис.4.2. Схемы АЧР и ЧАПВ

Схема позволяет выполнить одну очередь АЧР-I или одну очередь АЧР-II с последующим ЧАПВ. Такие простые схемы могут применяться, если на объекте возможно выполнить только одну очередь разгрузки на данной секции шин. При необходимости выполнять несколько очередей разгрузки такие же схемы с различной настройкой могут использоваться для других секций шин. Могут применяться более сложные схемы с несколькими реле частоты. Результатом работы схемы является подача сигналов на шинки ШАЧР индивидуальных устройств (промежуточные реле), осуществляющих отключение нагрузок, или на шинки ШЧАПВ индивидуальных устройств, обеспечивающих повторное включение нагрузок.

Схема работает как АЧР-I, если накладка XS замкнута, и как АЧР-II, если эта накладка разомкнута. В качестве реле времени используется программное реле (например, ВС-10) с микродвигателем.

Контакту КТ1 задаётся выдержка времени АЧР-II, контакту КТ2 – выдержка времени ЧАПВ. При разомкнутом контакте КЛ1.5 реле частоты настроено на уставку срабатывания при понижении частоты, при замкнутом контакте КЛ1.5 реле настроено на уставку возврата при повышении частоты.

Работа схемы как АЧР-I (накладка XS- замкнута)

Снижение частоты до уставки срабатывания реле частоты КФ приводит к тому, что это реле замыкает свои контакты в цепи промежуточного реле КЛ2. Реле КЛ2 срабатывает, замыкая контакты КЛ2.1 и КЛ2.2 и создавая цепь на катушку 1 двухпозиционного реле КЛ1. Реле КЛ1 переходит в положение 1. Замыкаются его контакты КЛ1.1, КЛ1.4, КЛ1.5, размыкаются – КЛ1.2, КЛ1.3. Через контакты КЛ1.1 подаётся напряжение на шинки ШАЧР и отключается часть нагрузок. Контакты КЛ1.5 изменяют уставку КФ, переключая её на возврат при частоте, близкой к 50 Гц, обеспечивая тем самым работу реле КФ при ЧАПВ. В таком состоянии схема ожидает повышения частоты. После подъёма частоты и возврата КФ его контакты размыкаются, реле КЛ2 теряет питание. Размыкаются контакты КЛ2.1, КЛ2.2, КЛ2.4, замыкаются – КЛ2.3, КЛ2.5. Через контакты КЛ2.5 и КЛ1.4 запускается реле времени КТ и через выдержку времени, соответствующую уставке ЧАПВ (10÷20 с), замыкаются контакты КТ2. Получает питание катушка 2 реле КЛ1, и реле переходит в положение 2. Размыкаются контакты КЛ1.1, КЛ1.4, КЛ1.5, замыкаются – КЛ1.2, КЛ1.3. Получает питание шинка ШАЧР, обеспечивая повторное включение отключенных нагрузок. При размыкании КЛ1.5 реле КФ вновь настраивается на уставку срабатывания. Реле времени КТ при разрыве его це-

пи контактом KL1.4 возвращается в исходное положение. Таким образом, схема возвращается в исходное состояние и готова к новому действию.

Работа схемы как АЧР-II (накладка XS – разомкнута)

При срабатывании КФ получает питание KL2, замыкаются его контакты KL2.1, KL2.2, KL2.4, размыкаются – KL2.3, KL2.5. Через контакты KL2.4 и KL1.3 получает питание реле времени КТ. Мгновенные контакты КТ и контакты KL2.1 ставят реле KL2 на самоподпитку, что гарантирует доведение цикла работы схемы до конца даже при повышении частоты. Реле времени КТ работает через $t_{1\text{в}}$ (рис.13.12) – выдержку времени ступени АЧР-II. Замыкаются контакты КТ1. Получает питание катушка 1 реле KL1, и реле переходит в положение 1. Замыкаются контакты KL 1.1, подаётся питание на шинку ШАЧР, отключается очередь нагрузок. Размыкается контакт KL1.3, и реле времени занимает исходное состояние. Размыкается контакт КТ, и реле KL2 снимается с самоподпитки. Замкнувшийся контакт KL1.5 переводит реле КФ на уставку возврата. Схема ожидает подъёма частоты. При достижении уставки возврата КФ схема по аналогии с вышеизложенным, обеспечивает работу ЧАПВ.

В настоящее время разработаны и внедряются схемы для аварийного управления нагрузкой на базе современной цифровой и микропроцессорной техники, позволяющей выполнить более современные измерительные органы частоты, внедрить более эффективные алгоритмы гибкого аварийного управления нагрузкой, получить адаптивные свойства системы.

Раздел 5. Автоматика регулирования напряжения

Тема 5.1. Регулирование напряжения силовых трансформаторов под нагрузкой

Современные мощные силовые трансформаторы (автотрансформаторы) с целью поддержания требуемого уровня напряжения оборудуются устройствами регулирования под нагрузкой (УРПН), переключающими ответвления в обмотках. Весь комплекс устройств регулирования можно подразделить на две основные части:

- 1) система переключения ответвлений трансформатора;
- 2) блок автоматического регулирования коэффициента трансформации (АРКТ).

Первая часть комплекса – это устройство, которое обеспечивает переключение секций обмотки трансформатора и содержит механизм, преобразующий непрерывное вращающее движение в дискретное переключение контактов. Вращающее движение обеспечивает асинхронный двигатель небольшой мощности, который через редуктор связан с кулачковым валом группового переключателя или контроллера. Последовательность переключения контактных элементов этого аппарата обеспечивается их механической связью. Двигатель может управляться вручную от ключа дистанционного управления или автоматически от второго блока.

Второй блок (АРКТ) – это, как правило, электронное устройство, формирующее закон управления и дающее команду на двигатель первого блока в зависимости от напряжения и тока нагрузки.

В целом систему УРПН можно представить в виде замкнутой системы автоматического регулирования, функциональная схема которой показана на рисунке 5.1.

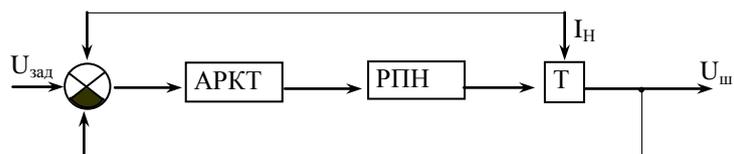


Рис.5.1. Обобщённая функциональная схема УРПН:
 $U_{\text{ш}}$ – напряжение на шинах трансформатора; I_{H} – ток нагрузки;
 $U_{\text{зад}}$ – заданное значение напряжения

На рисунке 5.2 приведена схема управления двигателем М переключающего устройства (контроллера РНТ-13), т.е. схема РПН. Двигателем можно управлять вручную (дистанционно), для этого ключ SA1 должен находиться в положении «Д» («дистанционное»). Управление осуществляется ключом SA2 путём его кратковременного перевода в положение «П» («прибавить») или «У» («убавить»).

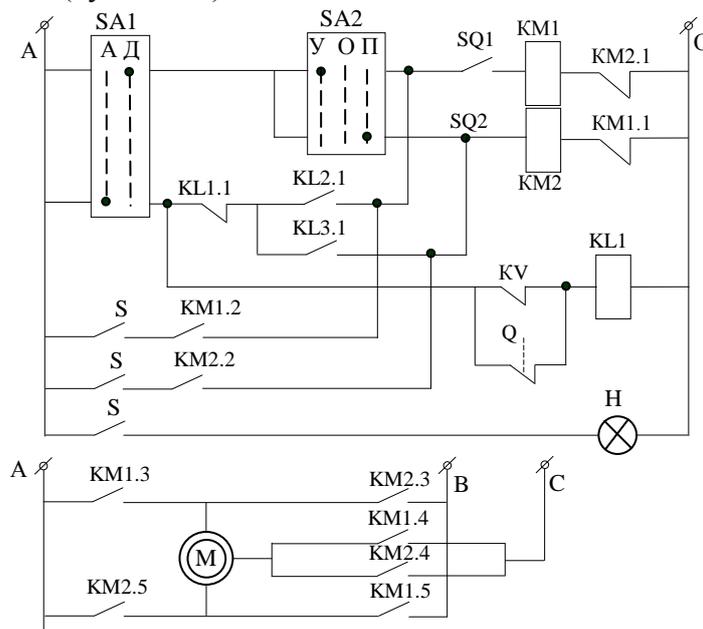


Рис.5.2. Схема управления двигателем переключающего устройства системы РПН

Двигатель также может управляться автоматически. Для этого ключ SA1 должен находиться в положении «А» («автоматическое»). Управление осуществляется блоком АРКТ путём замыкания или размыкания контактов KL2.1 и KL3.1, выходных реле АРКТ. Двигатель М питается от трёхфазной цепи (фазы А, В и С) и коммутируется контактами магнитных пускателей KM1 и KM2. При срабатывании KM1 двигатель вращает вал контроллера в сторону снижения напряжения. При срабатывании KM2, двигатель реверсируется и вращает вал в сторону увеличения напряжения. Блокировки контроллера S замыкаются при начале движения; т.е. между фиксированными позициями. При подходе контроллера к фиксированной позиции блокировки S размыкаются. Блокировка SQ1 размыкается на крайней (низкой) позиции контроллера, блокировка SQ2 – на другой крайней (высокой) позиции контроллера, на всех остальных позициях они замкнуты.

Работа РПН при ручном управлении идентична работе при автоматическом, поэтому далее они рассматриваются в комплексе.

При необходимости снизить напряжение ключ SA2 кратковременно поворачивается в положение «У» (в автоматическом режиме замыкаются контакты KL2.1), создаётся цепь на катушку магнитного пускателя KM1. Замыкаются его контакты KM1.2, KM1.3, KM1.4, KM1.5. Двигатель М начинает вращать вал контроллера в сторону снижения напряжения. Как только контроллер сходит с фиксированной позиции, замыкаются блокировки S и магнитный пускатель KM1 становится на самоподпитку, т.е. будет получать питание, даже если ключ SA2 вернётся в нейтральное положение или контакты выходного реле АРКТ KL2.1 разомкнутся. Благодаря этому контроллер дойдёт и остановится точно на следующей фиксированной позиции (S разомкнутся и KM1 потеряет питание).

Если требуется дальнейшее понижение напряжения, ключ SA2 снова кратковременно переводится в положение «У» (или замыкается контакт KL2.1), происходит следующий цикл переключения секции обмотки трансформатора и т.д. При необходимости увеличить напряжение на шинах трансформатора ключ SA2 перемещают в положение «П» (замыкается контакт второго выходного реле АРКТ- KL3.1). Получает питание KM2 и своими контактами реверсирует двигатель М в сторону вращения контроллера на увеличение напряжения. Схема работает аналогично предыдущему описанию. Контакты реле KL1.1 блокируют работу

схемы в автоматическом режиме при отключении Q или исчезновении напряжения на трансформаторе, что контролируется блокировкой выключателя и контактами реле напряжения в цепи катушки KL1.

На рисунке 5.3 представлена схема АРКТ, разработанная Латвэнерго АТР-1Н. Измерительные органы напряжения (ИОН) работают по принципу встречного регулирования. В общем случае электрическая сеть, питающаяся от шин трансформатора, может быть разветвлённой и питать большое количество нагрузок. При этом целесообразно поддерживать напряжение не на шинах трансформатора, а в некоторой точке, удалённой от шин на эквивалентное сопротивление Z_{Σ} . Поскольку напряжение в этой точке будет отличаться от напряжения на шинах на величину падения напряжения от тока нагрузки, то необходимо измерять этот ток. Неизменность напряжения в данной точке сети будет достигаться, если смоделировать на входе элемента сравнения напряжение в соответствии с выражением:

$$U_p = U_{\text{ш}} - Z_{\Sigma} \cdot I_H, \quad (5.1)$$

где U_p – рабочее напряжение в точке сети, удалённой от шин на Z_{Σ} ; $U_{\text{ш}}$ – напряжение на шинах трансформатора; I_H – ток нагрузки.

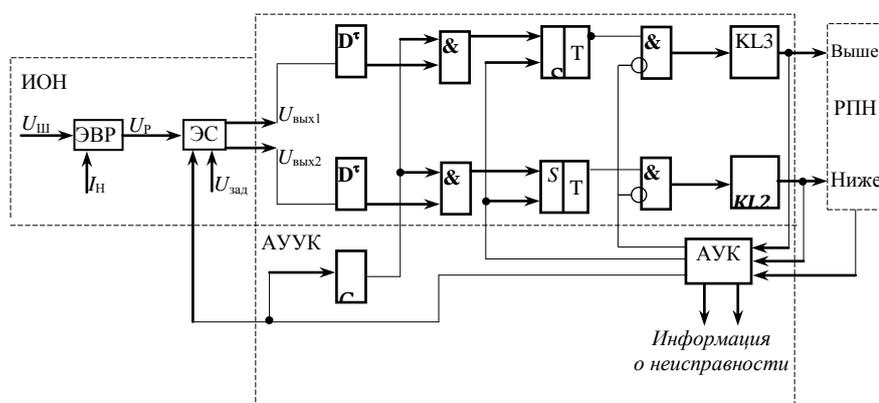


Рис.5.3. Функциональная схема АРКТ типа АРТ-1Н

Орган, обеспечивающий математическую операцию (5.1), называется элементом встречного регулирования (ЭВР) и является основной частью ИОН. Второй орган ИОН является элементом сравнения (ЭС) и при сравнении U_p с уставкой $U_{\text{зад}}$ формирует сигналы на двух выходах ИОН.

При U_p ниже минимального значения напряжения зоны нечувствительности формируется сигнал $U_{\text{вых1}}$ на повышение напряжения. В противном случае формируется сигнал $U_{\text{вых2}}$ на снижение напряжения. При нахождении напряжения U_p в зоне нечувствительности сигналы на выходе измерительного устройства ИОН отсутствуют. Сигналы $U_{\text{вых1}}$ или $U_{\text{вых2}}$ выдаются на логическую часть регулятора (ЛЧ).

Третья часть регулятора – автоматическое устройство управления и контроля (АУУК) – состоит из тактового генератора G и автоматического устройства контроля (АУК). Генератор G выдаёт импульсы, чем обеспечивает однократность и импульсность действия регулятора на приводной механизм РПН.

Цепи обратной связи через АУК осуществляют координацию действия регулятора в зависимости от процесса переключения ответвлений обмоток трансформатора и контроль исправности регулятора и УРПН.

При выходе напряжения U_p за пределы зоны нечувствительности сигналами $U_{\text{вых1}}$ или $U_{\text{вых2}}$ запускается элемент выдержки времени D^r . Появление сигнала на выходе D^r запоминается триггером Т, который переходит в состояние 1 («возбуждается») при поступлении на его вход S через логическую схему «И» сигнала в момент появления тактового импульса от генератора G.

Запоминание необходимо для механизма РПН. Через элемент «И-НЕ» сигнал с выхода триггера проходит на исполнительные реле KL2 или KL3, запускающие механизм РПН. После начала процесса переключения от РПН поступает сигнал в АУК, который:

- отключает исполнительное реле KL3 или KL2 сигналом на элемент запрета «И-НЕ»;
- снимает запоминание сигналом на вход R триггера (триггер переходит в невозбуждённое состояние);
- увеличивает период следования тактовых импульсов от генератора G до времени, превышающего длительность переключения одного ответвления обмотки трансформатора;
- увеличивает зону нечувствительности измерительного органа.

Если привод не запустился (не пришёл сигнал на АУК о начале процесса переключения) или если до момента появления импульса от G через увеличенный период в АУК не поступит сигнал от РПН о завершении процесса переключения, то фиксируется неисправность привода. В этом случае повторное воздействие регулятора на РПН запрещается и выдаётся информация о его неисправности.

Увеличением зоны нечувствительности ИОН производится проверка исправности регулятора. Если после увеличения зоны нечувствительности сигнал измерительной части не снимается, то фиксируется неисправность регулятора. Повторный запуск РПН запрещается, и выдаётся информация о неисправности регулятора.

В настоящее время разработаны и внедряются АРКТ, выполненные на интегральных микросхемах с высокой надёжностью, компактные и удобные в настройке.

Тема 5.2. Автоматика управления конденсаторными установками

Конденсаторные установки, подсоединённые параллельно к приёмникам электроэнергии и предназначенные для выработки реактивной мощности в узлах нагрузки, могут использоваться и для поддержания требуемых уровней напряжения на шинах подстанций. При включении ступеней конденсаторов выработка реактивной мощности увеличивается и напряжение повышается, а при отключении – понижается.

Наиболее эффективными являются многоступенчатые системы, которые позволяют осуществить поддержание напряжения достаточно плавно.

На рисунке 5.4 показана функциональная схема многоступенчатого автоматического управления конденсаторными установками «АРКОН».

Система состоит из измерительной части ИОН. Принцип её работы похож на описанный ранее для АРКТ. Измерительное устройство получает сведения о напряжении в узле нагрузки и в зависимости от сравнения с верхним или нижним значениями напряжения зоны нечувствительности выдаёт сигналы на выходе 2 («включить») или на выходе 1 («отключить»). Сигналы формируются в виде коротких экспоненциальных импульсов с интервалом около 15 с.

Сигналы проходят на шинку включения («В») или отключения («О») второй части схемы – логической (ЛЧ).

Логическая часть схемы состоит из приставок, каждая из которых производит включение (отключение) своей секции конденсаторной батареи. Приставки связаны между собой через логические элементы «И». В исходном состоянии схемы (все секции конденсаторной батареи отключены) триггерные ячейки не возбуждены, сигналы Q отсутствуют, а \bar{Q} – имеются. При снижении напряжения U_{III} ниже минимального зоны нечувствительности, на выходе 2 появится импульс, который поступит с шинки «В» на все верхние входы 1 элементов U1.1, U2.1, UK1. Однако совпадение обоих входных сигналов будет иметь место только на U1.1. Поэтому сигнал появится только на выходе этого элемента и пройдёт на вход S первой триггерной ячейки T1. Триггер перейдёт в возбуждённое состояние, появится сигнал Q (\bar{Q} – исчезнет), сработает исполнительный элемент И.Э1 и включится первая секция конденсаторной батареи.

Одновременно сигнал Q с T1 пройдёт на нижний вход 2 элемента U2.1, подготавливая вторую приставку к работе.

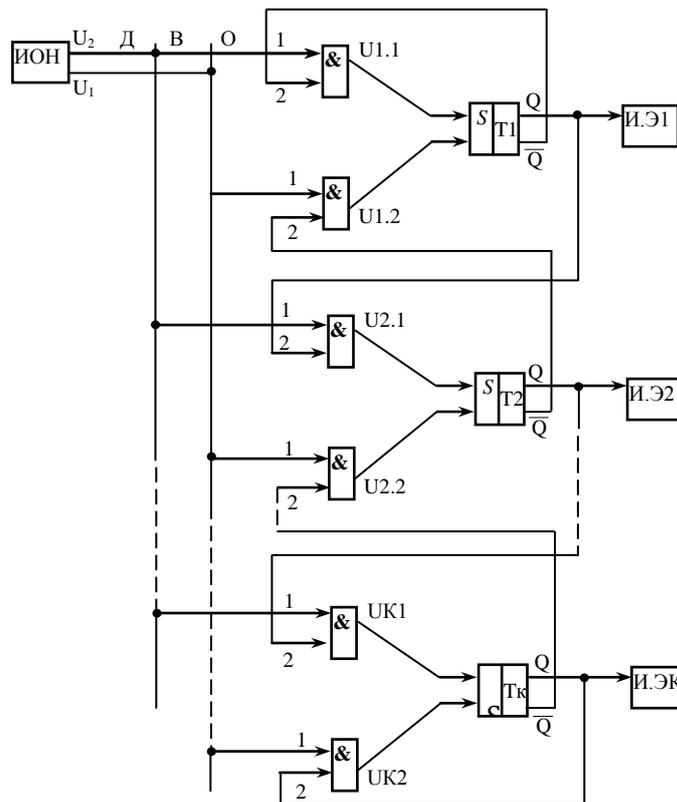


Рис.5.4. Функциональная схема «АРКОН»

Если напряжение повысилось недостаточно, то через 15 с формируется следующий импульс на выходе 2 ИОН. Теперь сработает вторая приставка и включится следующая секция элементом И.Э2 и т.д. При необходимости уменьшения напряжения схема под действием импульсов с выхода 1 ИОН и шинки «О» будет работать в обратном порядке. В общем случае количество приставок не ограничено. На ответственных подстанциях существуют комплексные схемы согласованного взаимодействия регуляторов напряжения на трансформаторах и автоматических регуляторах конденсаторных установок.

4.3. Лабораторные работы

Учебным планом не предусмотрено.

4.4. Практические занятия

<i>№ п/п</i>	<i>Номер раздела дисциплины</i>	<i>Тема практического занятия</i>	<i>Объем (час.)</i>	<i>Вид занятия в интерактив- ной, активной, инновационной формах, (час.)</i>
1	2	Автоматика повторного включения	2	работа с малой группой (1 часа)
2	3	Автоматика включения резервного питания и оборудования	2	работа с малой группой (1 часа)
3	4	Автоматическая частотная разгрузка	2	работа с малой группой (1 часа)
4	5	Регулирование напряжения силовых трансформаторов под нагрузкой	2	работа с малой группой (1 часа)
5	5	Автоматика управления конденсаторными установками	1	
ИТОГО			9	4

4.5. Контрольные мероприятия: курсовой проект (курсовая работа), контрольная работа, РГР, реферат

Учебным планом не предусмотрено.

5. МАТРИЦА СООТНЕСЕНИЯ РАЗДЕЛОВ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ К ФОРМИРУЕМЫМ В НИХ КОМПЕТЕНЦИЯМ И ОЦЕНКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

<i>Компетенции</i> <i>№, наименование разделов дисциплины</i>	<i>Кол-во часов</i>	<i>Компетенция</i>		<i>Σ комп.</i>	<i>t_{ср} час</i>	<i>Вид учебных занятий</i>	<i>Оценка результатов</i>
		<i>ОПК-2</i>	<i>ПК-8</i>				
1	2	3	4	5	6	7	8
1. Принципы автоматического управления, виды автоматики, классификация автоматики электроэнергетических систем	10,5	+	-	1	10,5	Лк, СР	зачет
2. Автоматика повторного включения	23	+	+	2	11,5	Лк, ПЗ, СР	зачет
3. Автоматика включения резерва	26	+	+	2	13	Лк, ПЗ, СР	зачет
4. Автоматическая частотная разгрузка	27	+	+	2	13,5	Лк, ПЗ, СР	зачет
5. Автоматика регулирования напряжения	17,5	+	+	2	8,75	Лк, ПЗ, СР	зачет
<i>Всего часов</i>	104	57,25	46,75	2	52		

6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

1. Андреев В.А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения: учебник для вузов / В.А. Андреев – 4-е перераб. и доп.изд. – М.: Высш.шк., 2006.- 639 с.;
2. Попик В.А. Релейная защита и автоматика: учебное пособие / В.А. Попик, Ю.Н. Булатов. – Братск: БрГУ, 2014. – 278 с. (гриф УМО);
3. Курбацкий В.Г. Автоматика электроэнергетических систем: учебное пособие / В.Г. Курбацкий, В.А. Попик. – Братск: БрГТУ, 2004. -188 с.
4. Булатов Ю.Н. Релейная защита и автоматика: лабораторный практикум / Ю.Н. Булатов. – Братск: БрГУ, 2014. -152 с.

7. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

№	<i>Наименование издания</i>	<i>Вид занятия</i>	<i>Количество экземпляров в библиотеке, шт.</i>	<i>Обеспеченность, (экз./ чел.)</i>
1	2	3	4	5
Основная литература				
1.	Попик В.А. Релейная защита и автоматика: учебное пособие / В.А. Попик, Ю.Н. Булатов. – Братск: БрГУ, 2014. – 278 с.	Лк, ПЗ	63	1
Дополнительная литература				
2.	Андреев В.А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения: учебник для вузов / В.А. Андреев – 4-е перераб. и доп.изд. – М.: Высш.шк., 2006.- 639 с.	Лк	20	1
3.	Курбацкий В.Г. Автоматика электроэнергетических систем: учебное пособие / В.Г. Курбацкий, В.А. Попик. – Братск: БрГУ, 2004. -188 с.	Лк, ПЗ	63	1
4.	Булатов Ю.Н. Релейная защита и автоматика: лабораторный практикум / Ю.Н. Булатов. – Братск: БрГУ, 2014. -152 с.	ПЗ	19	1

8. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО – ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ», НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Электронный каталог библиотеки БрГУ
http://irbis.brstu.ru/CGI/irbis64r_15/cgiirbis_64.exe?LNG=&C21COM=F&I21DBN=BOOK&P21DBN=BOOK&S21CNR=&Z21ID=.
2. Электронная библиотека БрГУ
<http://ecat.brstu.ru/catalog> .
3. Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека online»
<http://biblioclub.ru> .
4. Электронно-библиотечная система «Издательство «Лань»
<http://e.lanbook.com> .
5. Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам"
<http://window.edu.ru> .
6. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU <http://elibrary.ru> .
7. Университетская информационная система РОССИЯ (УИС РОССИЯ)
<https://uisrussia.msu.ru/> .
8. Национальная электронная библиотека НЭБ
<http://xn--90ax2c.xn--p1ai/how-to-search/> .

9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

9.1. Методические указания для обучающихся по выполнению практических работ

Практическое занятие №1 **Автоматика повторного включения**

Цель работы:

Изучение принципа работы, назначения и оперативных схем автоматики повторного включения.

Задание:

1. Рассмотреть назначение и классификацию АПВ.
2. Изучить схему АПВ однократного действия с запуском от несоответствия положения ключа управления и выключателя.
3. Изучить схему электрического АПВ для подстанций с телеуправлением (ТУ).
4. Изучить совместную работу АПВ и релейной защиты.

Порядок выполнения:

1. Изучить теоретический материал.
2. Рассмотреть назначение и классификацию АПВ.
3. Рассмотреть схему АПВ однократного действия с запуском от несоответствия положения ключа управления и выключателя.
4. Рассмотреть схему электрического АПВ для подстанций с телеуправлением (ТУ).
5. Рассмотреть совместную работу АПВ и релейной защиты.

Форма отчетности:

В отчет по практическому занятию вносится:

1. Теоретические сведения об автоматике повторного включения;
2. Схема АПВ однократного действия с запуском от несоответствия положения ключа управления и выключателя с описанием её работы;
3. Схема электрического АПВ для подстанций с телеуправлением (ТУ) с описанием её работы;
4. Схемы и описание совместной работы АПВ и релейной защиты;
5. Вывод и анализ полученных результатов.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к практическому занятию:

При подготовке к практическому занятию и для его выполнения необходимо изучить литературу, указанную ниже.

Основная литература

1. Попик В.А., Булатов Ю.Н. Релейная защита и автоматика. Учебное пособие. – Братск: Издательство БрГУ, 2014. – 278 с.

Дополнительная литература

1. Курбацкий В.Г. Автоматика электроэнергетических систем: Учебное пособие / В.Г. Курбацкий, В.А. Попик. – Братск: ГОУ ВПО «БрГТУ», 2004. -188 с.
2. Булатов Ю.Н. Релейная защита и автоматика: лабораторный практикум / Ю.Н. Булатов. – Братск: Изд-во БрГУ, 2014. -152 с.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Виды автоматики и её назначение.
2. Назначение и классификация АПВ.
3. Совместная работа АПВ и релейной защиты.

Практическое занятие №2

Автоматика включения резервного питания и оборудования

Цель работы:

Изучение принципа работы, назначения и оперативных схем автоматики включения резервного питания.

Задание:

1. Рассмотреть назначение и общие принципы АВР.
2. Изучить пусковые органы устройств АВР.
3. Изучить схему АВР секционного выключателя.

4. Изучить расчет уставок АВР.

Порядок выполнения:

1. Изучить теоретический материал.
2. Рассмотреть назначение и классификацию АВР.
3. Рассмотреть схему АВР секционного выключателя.
4. Выполнить расчет уставок АВР.

Форма отчетности:

В отчет по практическому занятию вносится:

1. Теоретические сведения об автоматике включения резервного питания и оборудования;
2. Схема АВР секционного выключателя с описанием её работы;
3. Расчет уставок АВР;
4. Вывод и анализ полученных результатов.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к практическому занятию:

При подготовке к практическому занятию и для его выполнения необходимо изучить литературу, указанную ниже.

Основная литература

1. Попик В.А., Булатов Ю.Н. Релейная защита и автоматика. Учебное пособие. – Братск: Издательство БрГУ, 2014. – 278 с.

Дополнительная литература

1. Курбацкий В.Г. Автоматика электроэнергетических систем: Учебное пособие / В.Г. Курбацкий, В.А. Попик. – Братск: ГОУ ВПО «БрГТУ», 2004. -188 с.
2. Булатов Ю.Н. Релейная защита и автоматика: лабораторный практикум / Ю.Н. Булатов. – Братск: Изд-во БрГУ, 2014. -152 с.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Общие принципы АВР.
2. Классификация АВР.
3. АВР секционного выключателя, работа схемы.

Практическое занятие №3 **Автоматическая частотная разгрузка**

Цель работы:

Знакомство с устройством, принципом действия схем автоматической частотной разгрузки (АЧР) первой и второй категорий с последующим частотным автоматическим повторным включением (ЧАПВ).

Задание:

С помощью лабораторной установки моделируется система автоматической частотной разгрузки, составными частями которой являются: оперативные цепи и модель источника питания (генератор), выполненная на базе мотор-генераторной установки. В качестве генератора выступает синхронный двигатель небольшой мощности, а в качестве первичного двигателя (турбины) – двигатель постоянного тока независимого возбуждения. Необходимо выполнить исследование работы АЧР с последующим ЧАПВ в соответствии с порядком, указанным ниже.

В лабораторном стенде смонтирована схема АЧР и ЧАПВ имеющая значительную специфику, диктуемую лабораторной установкой и элементами модели, поэтому в руководстве для изучения даётся схема с одной ступенью отключения (а затем повторного включения) нагрузки (рис.3.1).

Схема работает как АЧР-I, если накладка XS – замкнута и как АЧР-II, если эта накладка разомкнута. В качестве реле времени используется программное реле с микродвигателем (КТ). Контакту КТ1 задаётся выдержка времени АЧР-II, контакту КТ2 – выдержка времени ЧАПВ. При разомкнутом контакте KL1.5 реле частоты KF настроено на уставку срабатывания при понижении частоты. При замкнутом контакте KL1.5 реле настроено на уставку возврата (близкую к 50 Гц) при повышении частоты.

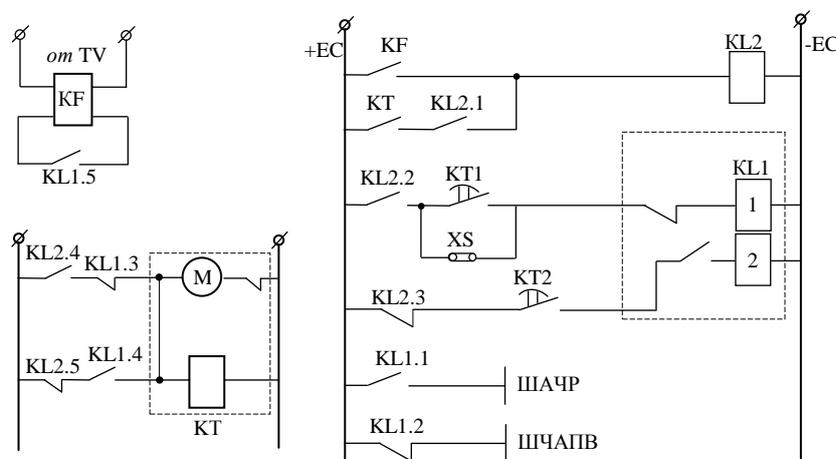


Рис.3.1. Схемы АЧР и ЧАПВ

Порядок выполнения:

1. Внимательно изучить оперативную схему автоматической частотой разгрузки АЧР с последующим ЧАПВ.
2. Настроить реле частоты на срабатывание при $47 \div 47,5$ Гц и на возврат $49,5 \div 50$ Гц.
3. Установить все коммутационные и регулировочные устройства стенда в исходные положения: ЛАТР перевести в начальное положение путём вращения рукоятки, против часовой стрелки, до упора; переключатель SA1 должен находиться в положении O1; тумблер SA2 переключить в верхнее положение, что будет соответствовать работе схемы в режиме АЧР1 и о чём будет свидетельствовать загорание красной сигнальной лампы над тумблером после подачи на схему оперативного тока; переключить тумблер SA3 в нижнее положение; убедиться, что тумблер SB находится в нижнем положении.
4. Включить автоматический выключатель, находящийся на стене лаборатории, при этом должна загореться сигнальная лампа зелёного цвета с маркировкой «СЕТЬ».
5. Включить источник оперативного тока путём нажатия кнопки «ВКЛ.» с маркировкой «СТЕНД». О включении источника оперативного тока будет свидетельствовать загорание большой сигнальной лампы красного цвета с маркировкой «СТЕНД».
6. Подать оперативный ток на оперативную схему путём перевода тумблера SB в верхнее положение.
7. Включить генератор без нагрузки путём нажатия кнопки «ВКЛ.» с маркировкой «Ист.пит.». Изменением скорости вращения первичного двигателя (турбины) при помощи ЛАТРа довести частоту сети до 50 Гц (техническая настройка АЧР1).
8. Повернуть ключ управления SA1 в положение «B2», что приведёт к включению выключателя нагрузки Qн и подключению нагрузки к генератору. Отпустить ключ управления SA1, который самопроизвольно вернётся в положение «B1». По частотометру зафиксировать значение частоты и занести в таблицу 1 (рабочая нагрузка).
9. Переключением тумблера SA3 в верхнее положение подключить дополнительную нагрузку, имитируя тем самым наличие дефицита мощности в системе. По частотометру быстро зафиксировать значение частоты и занести в таблицу 3.1 (аварийный режим).
10. Наблюдать работу схемы в режиме АЧР1.
11. После срабатывания схемы в режиме АЧР1 и отключения выключателем нагрузки Qн по частотометру зафиксировать значение частоты и занести в таблицу 3.1.

12. Плавно увеличивая ЛАТРоМ скорость первичного двигателя (турбины) довести частоту вращения до уставки возврата реле частоты 49,5÷50 Гц, ликвидируя тем самым дефицит мощности в системе.

Таблица 3.1

Режим	Частота f, Гц			
	Техническая настройка	Рабочая нагрузка	Аварийная нагрузка	После срабатывания АЧР
АЧРІ				
АЧРІІ				

13. Наблюдать работу системы в режиме ЧАПВ.

14. Переключить тумблер SA3 в нижнее положение и при помощи ЛАТРа снизить частоту вращения первичного двигателя до 50 Гц. Переключить ключ управления SA1 в положение O2, отключив тем самым выключатель нагрузки Qн, и снова, при помощи ЛАТРа, отрегулировать частоту до 50 Гц.

15. Переключить тумблер SA2 в положение АЧРІІ, при этом сигнальная лампа красного цвета над тумблером должна погаснуть (техническая настройка АЧРІІ).

16. Повторить работу схемы в режиме АЧРІІ руководствуясь п.п. 8÷13.

17. Плавно уменьшая при помощи ЛАТРа частоту вращения первичного двигателя, довести генератор до полной остановки, т.е. установить ЛАТР в начальное положение.

18. Отключить генератор путём нажатия кнопки «ОТКЛ.» с маркировкой «Ист.пит.».

19. Перевести ключ управления SA1 в положение O1, переключить тумблер SA3 в нижнее положение. Тумблер SA2 переключить в положение АЧРІ.

20. Отключить оперативный ток от оперативной схемы путём нажатия кнопочного выключателя SB, причём сигнальная лампа красного цвета с надписью «СТЕНД» внутри выключателя должна погаснуть.

21. Отключить источник оперативного тока путём нажатия кнопки «ОТКЛ.» с маркировкой «СТЕНД».

22. Отключить автоматический выключатель на стенде лаборатории, при этом должна погаснуть сигнальная лампа зелёного цвета с надписью «СЕТЬ». Предоставить стенд и протокол лабораторной работы для осмотра преподавателю

Форма отчетности:

В отчет по практическому занятию вносится:

1. Название и цель работы.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Схема АЧР.
4. Таблица с результатами испытаний.
5. Выводы о проделанной работе.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к практическому занятию:

При подготовке к практическому занятию и для его выполнения необходимо изучить литературу, указанную ниже.

Основная литература

1. Попик В.А., Булатов Ю.Н. Релейная защита и автоматика. Учебное пособие. – Братск: Издательство БрГУ, 2014. – 278 с.

Дополнительная литература

1. Курбацкий В.Г. Автоматика электроэнергетических систем: Учебное пособие / В.Г. Курбацкий, В.А. Попик. – Братск: ГОУ ВПО «БрГТУ», 2004. -188 с.

2. Булатов Ю.Н. Релейная защита и автоматика: лабораторный практикум / Ю.Н. Булатов. – Братск: Изд-во БрГУ, 2014. -152 с.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Назовите причины аварийного снижения частоты в энергосистеме.

2. Каково назначение АЧР и АЧРП?
3. Работа схемы АЧР и ЧАПВ.

Практическое занятие №4 **Регулирование напряжения силовых трансформаторов под нагрузкой**

Цель работы:

Изучение принципа работы, назначения и оперативных схем автоматики регулирования коэффициента трансформации (АРКТ) трансформатора.

Задание:

1. Рассмотреть назначение, общие принципы и схему устройства регулирования под нагрузкой (УРПН) трансформатора.
2. Изучить схему АРКТ трансформатора.

Порядок выполнения:

1. Изучить теоретический материал.
2. Рассмотреть устройство РПН силового трансформатора.
3. Рассмотреть и изучить схему АРКТ трансформатора.
4. Сделать выводы по работе.

Форма отчетности:

В отчет по практическому занятию вносится:

1. Название и цель работы;
2. Теоретические сведения об автоматике регулирования напряжения у трансформатора;
3. Схема УРПН и АРКТ с пояснениями их работы;
4. Выводы по работе.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к практическому занятию:

При подготовке к практическому занятию и для его выполнения необходимо изучить литературу, указанную ниже.

Основная литература

1. Попик В.А., Булатов Ю.Н. Релейная защита и автоматика. Учебное пособие. – Братск: Издательство БрГУ, 2014. – 278 с.

Дополнительная литература

1. Курбацкий В.Г. Автоматика электроэнергетических систем: Учебное пособие / В.Г. Курбацкий, В.А. Попик. – Братск: ГОУ ВПО «БрГТУ», 2004. -188 с.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Общие принципы устройства и работы РПН трансформатора.
2. Назначение элементов в схеме АРКТ.
3. Работа схем АРКТ и УРПН.

Практическое занятие №5 **Автоматика управления конденсаторными установками**

Цель работы:

Изучение принципа работы, назначения и оперативных схем автоматики управления конденсаторными установками.

Задание:

1. Рассмотреть назначение, общие принципы и схему автоматики управления конденсаторными установками – АРКОН.
2. Изучить работу схемы АРКОН.

Порядок выполнения:

1. Изучить теоретический материал.
2. Рассмотреть устройство и принцип работы автоматики управления конденсаторными установками.
3. Рассмотреть и изучить схему АРКОН.
4. Сделать выводы по работе.

Форма отчетности:

В отчет по практическому занятию вносится:

1. Название и цель работы;
2. Теоретические сведения об автоматике управления конденсаторными установками;
3. Схема АРКОН с пояснениями её работы;
4. Выводы по работе.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к практическому занятию:

При подготовке к практическому занятию и для его выполнения необходимо изучить литературу, указанную ниже.

Основная литература

1. Попик В.А., Булатов Ю.Н. Релейная защита и автоматика. Учебное пособие. – Братск: Издательство БрГУ, 2014. – 278 с.

Дополнительная литература

1. Курбацкий В.Г. Автоматика электроэнергетических систем: Учебное пособие / В.Г. Курбацкий, В.А. Попик. – Братск: ГОУ ВПО «БрГТУ», 2004. -188 с.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Общие принципы устройства и работы автоматики управления конденсаторными установками.
2. Назначение элементов в схеме АРКОН.
3. Работа схемы АРКОН.

10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

- ОС Windows 7 Professional;
- Microsoft Office 2007 Russian Academic OPEN No Level;
- Антивирусное программное обеспечение Kaspersky Security;

11. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

<i>Вид занятия</i>	<i>Наименование аудитории</i>	<i>Перечень основного оборудования</i>	<i>№ ПЗ, №Лк</i>
1	2	3	4
Лк	Дисплейный класс	Интерактивная доска	№Лк 1÷17
ПЗ	Лаборатория релейной защиты и автоматики	установка ЭЭ-1-3А-СК, стенд РЗАСЭС-Н-Р, комплект лабораторного оборудования «Релейная защита и автоматика в системах электропитания (Зарница), испытательный прибор для электрооборудования РЕТОМ-21.	№ПЗ 1-5
СР	ЧЗЗ	Оборудование 15 ПК- CPU 5000/RAM 2Gb/HDD (Монитор TFT 19 LG 1953S-SF);принтер HP LaserJet P3005	-

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ
ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

1. Описание фонда оценочных средств (паспорт)

№ компетенции	Элемент компетенции	Раздел	Тема	ФОС
1	2	3	4	5
<i>ОПК-2</i>	способность применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении экспериментальных задач	1. Принципы автоматического управления, виды автоматики, классификация автоматики энергетических систем	1.1. Управление техническими процессами. Разомкнутые системы.	Вопросы к зачету (1.1-1.2)
			1.2. Замкнутые системы автоматического управления. Основные элементы системы автоматического управления.	Вопросы к зачету (1.3.-1.5)
			1.3. Классификация систем автоматического управления.	Вопросы к зачету (1.6)
			1.4. Классификация автоматики электроэнергетических систем.	Вопросы к зачету (1.7)
		2. Автоматика повторного включения	2.1. Назначение и классификация АПВ.	Вопросы к зачету (2.1.)
			2.2. Совместная работа АПВ с релейной защитой.	Вопросы к зачету (2.2-2.3)
		3. Автоматика включения резерва	3.1. Назначение и общие принципы АВР.	Вопросы к зачету (3.1)
			3.2. Пусковые органы устройств АВР.	Вопросы к зачету (3.2)
			3.3. АВР одностороннего действия на постоянном оперативном токе для радиальной линии.	Вопросы к зачету (3.3)
			3.4. АВР секционного выключателя.	Вопросы к зачету (3.4)
			3.5. Расчёт уставок АВР.	Вопросы к зачету (3.5)
		4. Автоматическая частотная разгрузка	4.1. Общие понятия, назначение АЧР.	Вопросы к зачету (4.1)
			4.2. Принцип работы АЧР.	Вопросы к зачету (4.2)
			4.3. Понятие о частотных АПВ (ЧАПВ).	Вопросы к зачету (4.3)
			4.4. Схемы АЧР и ЧАПВ.	Вопросы к зачету (4.4)
				5. Автоматика регулирования напряжения

			5.2. Автоматика управления конденсаторными установками.	Вопросы к зачету (5.4-5.5)
ПК-8	способность использовать технические средства для измерения и контроля основных параметров технологического процесса	2. Автоматика повторного включения	2.1. Назначение и классификация АПВ.	Вопросы к зачету (2.1.)
			2.2. Совместная работа АПВ с релейной защитой.	Вопросы к зачету (2.2-2.3)
		3. Автоматика включения резерва	3.1. Назначение и общие принципы АВР.	Вопросы к зачету (3.1)
			3.2. Пусковые органы устройств АВР.	Вопросы к зачету (3.2)
			3.3. АВР одностороннего действия на постоянном оперативном токе для радиальной линии.	Вопросы к зачету (3.3)
			3.4. АВР секционного выключателя.	Вопросы к зачету (3.4)
3.5. Расчёт уставок АВР.	Вопросы к зачету (3.5)			
		4. Автоматическая частотная разгрузка	4.1. Общие понятия, назначение АЧР.	Вопросы к зачету (4.1)
			4.2. Принцип работы АЧР.	Вопросы к зачету (4.2)
			4.3. Понятие о частотных АПВ (ЧАПВ).	Вопросы к зачету (4.3)
			4.4. Схемы АЧР и ЧАПВ.	Вопросы к зачету (4.4)
		5. Автоматика регулирования напряжения	5.1. Регулирование напряжения силовых трансформаторов под нагрузкой.	Вопросы к зачету (5.1-5.3)
			5.2. Автоматика управления конденсаторными установками.	Вопросы к зачету (5.4-5.5)

2. Вопросы к зачету

№ п/п	Компетенции		ВОПРОСЫ К ЗАЧЕТУ	№ и наименование раздела
	Код	Определение		
1	2	3	4	5
1.	ОПК-2	способность применять соответствующих физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении экспериментальных задач	1.1. Принципы построения автоматических систем. 1.2. Система автоматического управления и её основные элементы. 1.3. Принцип регулирования по отклонению регулируемой величины от заданного значения (принцип Ползунова-Уатта). 1.4. Принцип регулирования по возмущению (принцип Понселе). 1.5. Принцип комбинированного регулирования.	1. Принципы автоматического управления, виды автоматики, классификация автоматики энергетических систем

			<p>1.6. Классификация систем автоматического управления.</p> <p>1.7. Типы автоматики электроэнергетических систем.</p>	
			<p>2.1. Назначение и классификация АПВ.</p> <p>2.2. Ускорение защиты до АПВ.</p> <p>2.3. Ускорение защиты после АПВ.</p>	2. Автоматика повторного включения
			<p>3.1. Назначение и общие принципы АВР.</p> <p>3.2. Пусковые органы устройств АВР.</p> <p>3.3. АВР одностороннего действия на постоянном оперативном токе для радиальной линии.</p> <p>3.4. АВР секционного выключателя.</p> <p>3.5. Расчет уставок АВР.</p>	3. Автоматика включения резерва
			<p>4.1. Общие понятия, назначение АЧР.</p> <p>4.2. Принцип работы АЧР.</p> <p>4.3. Понятие о частотных АПВ (ЧАПВ).</p> <p>4.4. Схемы АЧР и ЧАПВ.</p>	4. Автоматическая частотная разгрузка
			<p>5.1. Общие принципы регулирования напряжения силовых трансформаторов.</p> <p>5.2. Работа схемы РПН.</p> <p>5.3. Работа схемы АРКТ.</p> <p>5.4. Общие принципы работы автоматики управления конденсаторными установками.</p> <p>5.5. Работа схемы АРКОН.</p>	5. Автоматика регулирования напряжения
2.	<i>ПК-8</i>	способность использовать технические средства для измерения и контроля основных параметров технологического процесса	<p>2.1. Назначение и классификация АПВ.</p> <p>2.2. Ускорение защиты до АПВ.</p> <p>2.3. Ускорение защиты после АПВ.</p> <p>3.1. Назначение и общие принципы АВР.</p> <p>3.2. Пусковые органы устройств АВР.</p> <p>3.3. АВР одностороннего действия на постоянном оперативном токе для радиальной линии.</p> <p>3.4. АВР секционного выключателя.</p> <p>3.5. Расчет уставок АВР.</p> <p>4.1. Общие понятия, назначение АЧР.</p> <p>4.2. Принцип работы АЧР.</p> <p>4.3. Понятие о частотных АПВ (ЧАПВ).</p> <p>4.4. Схемы АЧР и ЧАПВ.</p> <p>5.1. Общие принципы регулирования напряжения силовых трансформаторов.</p> <p>5.2. Работа схемы РПН.</p> <p>5.3. Работа схемы АРКТ.</p> <p>5.4. Общие принципы работы автоматики управления конденсаторными установками.</p> <p>5.5. Работа схемы АРКОН.</p>	<p>2. Автоматика повторного включения</p> <p>3. Автоматика включения резерва</p> <p>4. Автоматическая частотная разгрузка</p> <p>5. Автоматика регулирования напряжения</p>

3. Описание показателей и критериев оценивания компетенций

Показатели	Оценка	Критерии
<p>Знать (ОПК-2): – теоретические основы и принцип действия автоматики систем электроснабжения; (ПК-8): – методы представления и измерения параметров автоматики систем электроснабжения.</p> <p>Уметь (ОПК-2): – читать сложные схемы автоматики, анализировать их работу и выполнять расчёты параметров устройств автоматики электроэнергетических объектов; (ПК-8): – применять технические средства для контроля и измерения параметров устройств автоматики электроэнергетических объектов.</p> <p>Владеть (ОПК-2): – навыками решения практических задач по расчету и проектированию схем автоматики по заданным свойствам; (ПК-8): – навыками моделирования и исследования автоматики в системах электроснабжения.</p>	зачтено	Обучающийся глубоко и прочно усвоил программный материал, знает : теоретические основы и принцип действия автоматики систем электроснабжения и особенности протекающих в них процессов; умеет читать сложные схемы автоматики, анализировать их работу и выполнять расчёты параметров устройств автоматики электроэнергетических объектов; владеет навыками решения практических задач по расчету и проектированию схем автоматики по заданным свойствам.
	не зачтено	Обучающийся допустил существенные ошибки при ответе на вопросы, на дополнительные вопросы давал неправильные ответы; все вышеуказанные разделы не усвоены

4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности

Дисциплина Автоматика в системах электроснабжения направлена на изучение теоретических основ и принципов работы основной автоматики систем электроснабжения.

Изучение дисциплины Автоматика в системах электроснабжения предусматривает:

- лекции,
- практические занятия,
- зачет.

В ходе освоения раздела 1 «Принципы автоматического управления, виды автоматики, классификация автоматики электроэнергетических систем» студенты должны уяснить:

- что такое система автоматического управления;
- какие существуют принципы регулирования в системах автоматического управления;
- какие типы автоматики используются в электроэнергетических системах.

В ходе освоения раздела 2 «Автоматика повторного включения» студенты должны уяснить:

- назначение и классификацию АПВ;
- работу схем АПВ;
- принципы совместной работы АРВ и релейной защиты.

В ходе освоения раздела 3 «Автоматика включения резерва» студенты должны уяснить:

- назначение и классификацию устройств АВР;
- как устроены пусковые органы АВР;
- работу схем АВР;
- как определяются уставки АВР.

В ходе освоения раздела 4 «Автоматическая частотная разгрузка» студенты должны уяснить:

- общие принципы регулирования частоты в энергосистеме;
- работу схем АЧР и ЧАПВ.

В ходе освоения раздела 5 «Автоматика регулирования напряжения» студенты должны изучить:

- общие принципы регулирования напряжения у трансформатора;
- работу схем УРПН и АРКТ;
- общие принципы автоматики управления конденсаторными установками;
- работу схемы АРКОН.

В процессе изучения дисциплины рекомендуется особо обратить внимание на работу схем сетевой автоматики.

При подготовке к зачету рекомендуется особое внимание уделить следующим вопросам: принципы построения автоматических систем; система автоматического управления и её основные элементы; принцип комбинированного регулирования; классификация систем автоматического управления; типы автоматики электроэнергетических систем; назначение и классификация АПВ; ускорение защиты до АПВ; ускорение защиты после АПВ; назначение и общие принципы АВР; пусковые органы устройств АВР; АВР одностороннего действия на постоянном оперативном токе для радиальной линии; АВР секционного выключателя; расчет уставок АВР; общие понятия, назначение АЧР; принцип работы АЧР; понятие о частотных АПВ (ЧАПВ); схемы АЧР и ЧАПВ; общие принципы регулирования напряжения силовых трансформаторов; работа схемы РПН; работа схемы АРКТ; общие принципы работы автоматики управления конденсаторными установками; работа схемы АРКОН.

В процессе проведения практических занятий происходит закрепление теоретического материала, а также приобретение навыков исследования и чтения схем автоматики систем электроснабжения.

Самостоятельную работу необходимо начинать с изучения теоретического материала.

В процессе консультации с преподавателем необходимо выяснить все непонятные моменты.

Работа с литературой является важнейшим элементом в получении знаний по дисциплине. Прежде всего, необходимо воспользоваться списком рекомендуемой по данной дисциплине литературы.

Предусмотрено проведение аудиторных занятий в интерактивной форме (в виде «работа с малой группой» при выполнении практических занятий) в сочетании с внеаудиторной работой.

АННОТАЦИЯ рабочей программы дисциплины

Автоматика в системах электроснабжения

1. Цель и задачи дисциплины

Изучение схем и принципов работы автоматики систем электроснабжения, конструкции и работы её элементов.

Задачами изучения дисциплины являются: усвоение студентами основных принципов выполнения и работы автоматики систем электроснабжения, а также основных положений и навыков проектирования схем автоматики.

2. Структура дисциплины

2.1 Распределение трудоемкости по отдельным видам учебных занятий, включая самостоятельную работу: Лк 4 ч; ПЗ 9 ч; СР 91 ч.
Общая трудоемкость дисциплины составляет 108 часа, 3 зачетных единиц

2.2 Основные разделы дисциплины:

1. Принципы автоматического управления, виды автоматики, классификация автоматики электроэнергетических систем.
2. Автоматика повторного включения.
3. Автоматика включения резерва.
4. Автоматическая частотная разгрузка.
5. Автоматика регулирования напряжения.

3. Планируемые результаты обучения (перечень компетенций)

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

- ОПК-2 - способность применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении экспериментальных задач;
- ПК-8 - способность использовать технические средства для измерения и контроля основных параметров технологического процесса.

4. Вид промежуточной аттестации: зачет

*Протокол о дополнениях и изменениях в рабочей программе
на 20__-20__ учебный год*

1. В рабочую программу по дисциплине вносятся следующие дополнения:

2. В рабочую программу по дисциплине вносятся следующие изменения:

Протокол заседания кафедры № _____ от «__» _____ 20__ г.,
(разработчик)

Заведующий кафедрой _____
(подпись)

(Ф.И.О.)

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ
УСПЕВАЕМОСТИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

1. Описание фонда оценочных средств (паспорт)

№ компетенции	Элемент компетенции	Раздел	Тема	ФОС
1	2	3	4	5
ОПК-2	способность применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении экспериментальных задач	1. Принципы автоматического управления, виды автоматики, классификация автоматики энергетических систем	1.1. Управление техническими процессами. Разомкнутые системы.	Собеседование
			1.2. Замкнутые системы автоматического управления. Основные элементы системы автоматического управления.	Собеседование
			1.3. Классификация систем автоматического управления.	Собеседование
			1.4. Классификация автоматики электроэнергетических систем.	Собеседование
		2. Автоматика повторного включения	2.1. Назначение и классификация АПВ.	Собеседование
			2.2. Совместная работа АПВ с релейной защитой.	Собеседование
		3. Автоматика включения резерва	3.1. Назначение и общие принципы АВР.	Собеседование
			3.2. Пусковые органы устройств АВР.	Собеседование
			3.3. АВР одностороннего действия на постоянном оперативном токе для радиальной линии.	Собеседование
			3.4. АВР секционного выключателя.	Собеседование
			3.5. Расчёт уставок АВР.	Собеседование
		4. Автоматическая частотная разгрузка	4.1. Общие понятия, назначение АЧР.	Собеседование
			4.2. Принцип работы АЧР.	Собеседование
			4.3. Понятие о частотных АПВ (ЧАПВ).	Собеседование
			4.4. Схемы АЧР и ЧАПВ.	Собеседование
		5. Автоматика регулирования напряжения	5.1. Регулирование напряжения силовых трансформаторов под нагрузкой.	Собеседование
5.2. Автоматика управления	Собеседование			

			конденсаторными установками.	
ПК-8	способность использовать технические средства для измерения и контроля основных параметров технологического процесса	2. Автоматика повторного включения	2.1. Назначение и классификация АПВ.	Собеседование
			2.2. Совместная работа АПВ с релейной защитой.	Собеседование
		3. Автоматика включения резерва	3.1. Назначение и общие принципы АВР.	Собеседование
			3.2. Пусковые органы устройств АВР.	Собеседование
			3.3. АВР одностороннего действия на постоянном оперативном токе для радиальной линии.	Собеседование
			3.4. АВР секционного выключателя.	Собеседование
3.5. Расчёт уставок АВР.	Собеседование			
		4. Автоматическая частотная разгрузка	4.1. Общие понятия, назначение АЧР.	Собеседование
			4.2. Принцип работы АЧР.	Собеседование
			4.3. Понятие о частотных АПВ (ЧАПВ).	Собеседование
			4.4. Схемы АЧР и ЧАПВ.	Собеседование
		5. Автоматика регулирования напряжения	5.1. Регулирование напряжения силовых трансформаторов под нагрузкой.	Собеседование
			5.2. Автоматика управления конденсаторными установками.	Собеседование

Вопросы для собеседования

Раздел 1. Принципы автоматического управления, виды автоматике, классификация автоматике электроэнергетических систем

1. Принципы построения автоматических систем.
2. Система автоматического управления и её основные элементы.
3. Принцип регулирования по отклонению регулируемой величины от заданного значения (принцип Ползунова-Уатта).
4. Принцип регулирования по возмущению (принцип Понселе).
5. Принцип комбинированного регулирования.
6. Классификация систем автоматического управления.
7. Типы автоматике электроэнергетических систем.

Раздел 2. Автоматика повторного включения

1. Назначение и классификация АПВ.
2. Ускорение защиты до АПВ.
3. Ускорение защиты после АПВ.

Раздел 3. Автоматика включения резерва

1. Назначение и общие принципы АВР.

2. Пусковые органы устройств АВР.
3. АВР одностороннего действия на постоянном оперативном токе для радиальной линии.
4. АВР секционного выключателя.
5. Расчет уставок АВР.

Раздел 4. Автоматическая частотная разгрузка

1. Общие понятия, назначение АЧР.
2. Принцип работы АЧР.
3. Понятие о частотных АПВ (ЧАПВ).
4. Схемы АЧР и ЧАПВ.

Раздел 5. Автоматика регулирования напряжения

1. Общие принципы регулирования напряжения силовых трансформаторов.
2. Работа схемы РПН.
3. Работа схемы АРКТ.
4. Общие принципы работы автоматики управления конденсаторными установками.
5. Работа схемы АРКОН.

2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций

Показатели	Оценка	Критерии
<p>Знать (ОПК-2): – теоретические основы и принцип действия автоматики систем электроснабжения; (ПК-8): – методы представления и измерения параметров автоматики систем электроснабжения.</p> <p>Уметь (ОПК-2): – читать сложные схемы автоматики, анализировать их работу и выполнять расчёты параметров устройств автоматики электроэнергетических объектов; (ПК-8): – применять технические средства для контроля и измерения параметров устройств автоматики электроэнергетических объектов.</p> <p>Владеть (ОПК-2): – навыками решения практических задач по расчету и проектированию схем автоматики по заданным свойствам; (ПК-8): – навыками моделирования и исследования автоматики в системах электроснабжения.</p>	<p>зачтено</p>	<p>Обучающийся глубоко и прочно усвоил программный материал, знает: теоретические основы и принцип действия автоматики систем электроснабжения и особенности протекающих в них процессов; умеет читать сложные схемы автоматики, анализировать их работу и выполнять расчёты параметров устройств автоматики электроэнергетических объектов; владеет навыками решения практических задач по расчету и проектированию схем автоматики по заданным свойствам.</p>
	<p>не зачтено</p>	<p>Обучающийся допустил существенные ошибки при ответе на вопросы, на дополнительные вопросы давал неправильные ответы; все вышеуказанные разделы не усвоены</p>

Программа составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника (уровень бакалавриата) от «3» сентября 2015 г. №955 и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для заочной формы обучения от «3» июля 2018г. №413

Программу составил:

Булатов Ю.Н., зав. кафедрой, доцент, к.т.н. _____

Рабочая программа рассмотрена и утверждена на заседании кафедры ЭиЭ

от «__» __декабря__ 2018 г., протокол №_____

Заведующий кафедрой ЭиЭ _____ Ю.Н. Булатов

СОГЛАСОВАНО:

Заведующий выпускающей кафедрой _____ Ю.Н. Булатов

Директор библиотеки _____ Т.Ф. Сотник

Рабочая программа одобрена методической комиссией ФЭиА

от «__» __декабря__ 2018 г., протокол №_____

Председатель методической комиссии факультета _____ А.Д. Ульянов

СОГЛАСОВАНО:

Начальник
учебно-методического управления _____ Г.П. Нежевец

Регистрационный №_____