

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Фурсов Владимир Александрович

Должность: И.о. директора Пятигорского института (филиал) Северо-Кавказского федерального университета

Дата подписания: 05.06.2026 09:41:18

Уникальный программный ключ:

1c378726a41fd0143ae5bccc8ba818c0b0b0a0b2

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Пятигорский институт (филиал) СКФУ

Методические указания

по выполнению лабораторных работ

по дисциплине «СИСТЕМНАЯ АВТОМАТИКА И АВТОМАТИЧЕСКОЕ
РЕГУЛИРОВАНИЕ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ»

для студентов направления подготовки

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Пятигорск 2026 г.

№ п/п	Содержание	Стр.
	Введение	
1.	Цель и задачи изучения дисциплины	
2.	Оборудование и материалы	
3.	Наименование лабораторных работ	
4.	Содержание лабораторных работ	
4.1	Лабораторная работа №1. Автоматическое повторное включение. Автоматическое повторное включение линии электропередачи с односторонним питанием.	
4.2	Лабораторная работа №2. Автоматическое повторное включение. Автоматическое повторное включение линии электропередачи с двусторонним питанием.	
4.3	Лабораторная работа №3. Автоматический ввод резерва. Автоматическое резервное включение секционного выключателя понизительной подстанции.	
4.4	Лабораторная работа №4. Устройства АРВ для высокочастотной системы возбуждения и систем возбуждения на основе генераторов постоянного тока. Автоматическое регулирование частоты вращения синхронного генератора.	
4.5	Лабораторная работа №5. Автоматическое регулирование уровней напряжения и потоков реактивной мощности на электростанциях. Автоматическое регулирование возбуждения синхронного генератора.	
4.6	Лабораторная работа №6. Современные требования по организации регулирования режима работы по частоте и активной мощности. Автоматическая синхронизация генератора с сетью.	
5	Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины	
5.1	Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины	
5.2	Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине	
5.3	Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины	
	Приложения	

Введение

Целью работы в лаборатории является углубление и закрепление приобретенных теоретических знаний путем экспериментальной проверки теоретических положений, а также знакомство с электронными компонентами, оборудованием, измерительными приборами и аппаратурой, используемыми в лаборатории.

В результате выполнения лабораторных работ студенты должны приобрести умения и навыки по сборке и исследованию электронных схем и приборов, измерениям электрических величин. Тематика лабораторных работ полностью соответствует содержанию основных разделов курса, изучаемого в высших технических учебных заведениях. В предлагаемом учебном пособии описано одиннадцать лабораторных работ. В описании каждой лабораторной работы сформулирована ее цель, изложены основные теоретические положения, описана схема установки для проведения экспериментального исследования, даны рекомендации по проведению опытов и обработке результатов измерений, а также контрольные вопросы.

1. Цель и задачи изучения дисциплины

Целью дисциплины «Системная автоматика и автоматическое регулирование в электроэнергетических системах» является изучение основных устройств автоматического управления в электроэнергетических системах: автоматика синхронизации синхронных машин, автоматика повторного включения, автоматика включения резервного питания, автоматика частотной разгрузки, автоматика регулирования напряжения и реактивной мощности в энергосистеме, автоматика регулирования частоты и активной мощности, противоаварийная режимная автоматика специального назначения..

Задачи изучения дисциплины:

- изучение принципов построения алгоритмов подсистем автоматики электрических станций и подстанций как составных частей электроэнергетических систем, схем, основного оборудования и устройств автоматики электрических станций и подстанций, цепей контроля и управления электроустановок;
- освоение методов расчета параметров и выбора оборудования, устройств и комплексов автоматики электрических станций и подстанций;
- освоение методов оптимизации режимов работы электроэнергетических систем (электростанций и подстанций), методов управления технологическими процессами производства, передачи и распределения электроэнергии;
- изучение структуры специализированного программного обеспечения для разработки АСУ электротехническим оборудованием.

2. Оборудование и материалы

Аппаратные средства:

- Лабораторное оборудование «Электроэнергетика-релейная защита и автоматика».
- Научно-исследовательский комплекс «Автоматизированные средства управления и защиты в системах электроснабжения промышленных предприятий».

Учебная аудитория для проведения учебных занятий, оснащена оборудованием и техническими средствами обучения. Переносной ноутбук, проектор, доска магнитно-маркерная.

3. Наименование лабораторных работ

Для заочной формы обучения предусмотрены следующие лабораторные работы: Лабораторная работа №3. Автоматическое повторное включение. Автоматическое повторное включение линии электропередачи с односторонним питанием – 2 часа; Лабораторная работа №7. Устройства АРВ для высокочастотной системы возбуждения и систем возбуждения на основе генераторов постоянного тока. Автоматическое регулирование частоты вращения синхронного генератора – 2 часа; Лабораторная работа №9 Автоматическое регулирование уровней напряжения и потоков реактивной мощности на электростанциях- 2 часа.

№ Темы дисциплины	Наименование тем дисциплины, их краткое содержание	Объем часов	Из них практическая подготовка, часов
8 семестр			
3	Лабораторная работа №1. Автоматическое повторное включение. Автоматическое повторное включение линии электропередачи с односторонним питанием. Ознакомление с принципом работы автоматического повторного включения линии и ускорения действия релейной защиты до АПВ. Изучение конструкции реле РПВ-58, РПВ-258. Расчет уставок и уяснение работы устройства АПВ и ускорения действия релейной защиты до и после АПВ.	4	
3	Лабораторная работа №2. Автоматическое повторное включение. Автоматическое повторное включение линии электропередачи с двусторонним питанием. Ознакомление с особенностями работы автоматического повторного включения на линии с двусторонним питанием. Расчет уставок и уяснение работы устройства АПВ с контролем наличия и отсутствия напряжения, а также - устройств контроля синхронизма.	4	
4	Лабораторная работа №3. Автоматический ввод резерва. Автоматическое резервное включение секционного выключателя понизительной подстанции. Ознакомление с основными принципами резервирования, реализация их в различных схемах, расчет уставок и выяснение действия автоматики при различных видах ненормальных режимов в сети.	4	
7	Лабораторная работа №4. Устройства АРВ для высокочастотной системы возбуждения и систем возбуждения на основе генераторов	4	

	постоянного тока. Автоматическое регулирование частоты вращения синхронного генератора. Изучить принципы автоматического управления приводным двигателем, особенности автоматического регулирования частоты и активной и реактивной мощности в режимах холостого хода и параллельной работы с сетью.		
9	Лабораторная работа №5. Автоматическое регулирование уровней напряжения и потоков реактивной мощности на электростанциях. Автоматическое регулирование возбуждения синхронного генератора. Изучить принципы автоматического регулирования возбуждения синхронных машин, изучить влияние автоматического регулирования возбуждения на предел статической устойчивости синхронного генератора.	4	
12	Лабораторная работа №6. Современные требования по организации регулирования режима работы по частоте и активной мощности. Автоматическая синхронизация генератора с сетью. Изучить принцип действия устройства точной автоматической синхронизации генератора с сетью.	4	
	Итого за 8 семестр:	24	
	Итого:	24	

4. Содержание лабораторных работ

Лабораторная работа №1. Автоматическое повторное включение.

Автоматическое повторное включение линии электропередачи с односторонним питанием.

Цель работы: Ознакомление с принципом работы автоматического повторного включения линии и ускорения действия релейной защиты до АПВ. Изучение конструкции реле РПВ-58, РПВ-258. Расчет уставок и уяснение работы устройства АПВ и ускорения действия релейной защиты до и после АПВ.

Основы теории:

Автоматическое повторное включение (АПВ) — одно из средств релейной защиты, направленное на увеличение надёжности электроснабжения. Заключается в автоматическом включении отключенного с помощью аварийной автоматики или по ошибке участка электросети.

Все повреждения в электрической сети можно условно разделить на два типа: устойчивые и неустойчивые. К устойчивым повреждениям относятся такие, для устранения которых требуется вмешательство оперативного персонала или аварийной бригады. Такие повреждения не самоустраняются со временем, эксплуатация поврежденного участка сети невозможна. К таким повреждениям относятся обрывы проводов, повреждения участков линий, опор ЛЭП, повреждения электрических аппаратов.

Преобладающая часть аварийных отключений воздушных линий электропередачи является следствием неустойчивых повреждений.

Неустойчивыми называют такие повреждения, которые самоустраняются после снятия напряжения, т.е. после отключения линии. Обычно такие нарушения возникают при перекрытиях изоляции из-за атмосферных перенапряжений, при «набросах» на провода, схлестывании и по другим причинам. В этом случае после обратного включения под напряжение линии, на которой произошло неустойчивое повреждение, восстанавливается нормальный режим работы энергосистемы и потребителей. Такое включение называется повторным включением, а специальные автоматические устройства, выполняющие данную операцию, - устройствами автоматического повторного включения (АПВ). АПВ, после которого восстанавливается нормальный режим работы, называется успешным. Практика показывает, что доля неустойчивых повреждений составляет 50-90 % от числа всех повреждений.

Наибольшее распространение получило однократное повторное включение. Двукратное АПВ применяется значительно реже, обычно на тупиковых линиях, когда его применение диктуется требованиями повышенной надежности электроснабжения потребителей.

Требования к УАПВ и расчет их параметров. Несмотря на указанные различия, все устройства АПВ должны удовлетворять следующим основным требованиям:

1. Они должны находиться в состоянии постоянной готовности к действию и срабатывать при всех случаях аварийного отключения выключателя, кроме случаев отключения выключателя релейной защитой после включения его дежурным персоналом; не должны приходить в действие при оперативных отключениях выключателя дежурным персоналом, что обеспечивается пуском устройств АПВ от несоответствия положений выключателя и его ключа управления, которое возникает всегда при любом автоматическом отключении выключателя. В эксплуатации используется также пуск устройства АПВ при срабатывании релейной защиты. Однако такой пуск не обеспечивает действия АПВ при аварийных отключениях, не сопровождающихся срабатыванием релейной защиты, поэтому его рекомендуется применять лишь в некоторых частных случаях. Схемы АПВ должны допускать возможность автоматического вывода их из действия при срабатывании тех или иных защит.

2. Устройства АПВ должны иметь минимально возможное время срабатывания $t_{АПВ1}$ для того, чтобы сократить продолжительность перерыва питания потребителей. Практически можно выполнить АПВ действующим без замедления. Однако эта возможность ограничивается рядом условий. Для успешного действия АПВ необходимо, чтобы время срабатывания $t_{АПВ1}$ было больше: времени $t_{г.п}$, необходимого для восстановления готовности привода к работе на включение (для применяемых типов приводов с учетом условий их работы $t_{г.п} \approx 0,1..0,3$ с); времени $t_{д.с}$, необходимого для деионизации среды в точке повреждения (для установок напряжением до 220 кВ $t_{д.с} \approx 0,2$ с); времени готовности выключателя $t_{г.в}$, необходимого для восстановления отключающей способности выключателя после отключения им тока к. з. Для однократного АПВ время $t_{г.в}$ всегда меньше суммы времени $t_{г.в}$ и времени включения выключателя $t_{в.в}$. Поэтому определяющим обычно является условие $t_{АПВ1} > t_{г.п}$.

При этом с учетом времени запаса $t_{зап} = 0,4..0,5$ с время срабатывания УАПВ для линий с односторонним питанием

$$t_{АПВ1} > t_{г.п.} + t_{зап} = 0,5..0,8 \text{ с.}$$

В отдельных случаях для воздушных линий, когда велика вероятность их повреждения при падении деревьев и по другим аналогичным причинам, для

эффективности АПВ его выдержку времени целесообразно принимать несколько повышенной — около нескольких секунд. В этом случае также уменьшается вероятность неселективного перегорания предохранителей при неуспешном АПВ, установленных на элементах систем электроснабжения, расположенных ближе к источнику питания, чем рассматриваемый выключатель с устройством АПВ. Схема УАПВ во всех случаях должна быть выполнена так, чтобы продолжительность воздействия на включение выключателя была достаточной. Реле времени, используемое в схемах УАПВ для создания выдержки времени $t_{АПВ1}$ имеет погрешности, зависящие от температуры среды.

3. Автоматически с заданной выдержкой времени устройства АПВ должны возвращаться в состояние готовности к новому действию после включения в работу выключателя. При выборе выдержки времени $t_{АПВ2}$ на возврат устройства АПВ в состояние готовности к действию должны выполняться следующие требования:

– устройство не должно производить многократные включения выключателя на неустранившееся короткое замыкание, что обеспечивается при условии, если релейная защита с максимальной выдержкой времени $t_{с.з.МАХ}$ успеет отключить выключатель, включенный на короткое замыкание, раньше, чем устройство АПВ вернется в состояние готовности к новому действию, т. е. должно быть

$$t_{АПВ2} \geq t_{АПВ1} + t_{в.в.} + t_{с.з.МАХ} + t_{о.в.} + t_{зап},$$

где $t_{зап}$ - время, принимаемое равным ступени селективности защиты линии;

– устройство должно быть готовым к действию не раньше, чем это допускается по условиям работы выключателя после успешного включения его в работу устройством АПВ.

Опыт показывает, что для однократного АПВ оба указанных в пункте 3 требования выполняются, если принять $t_{АПВ2} = 15... 25$ с. Для УАПВ двукратного действия время возврата в состояние готовности после второго цикла принимается равным $t_{АПВ2} = 60...100$ с.

В ПУЭ указано, что устройствами АПВ должны в обязательном порядке снабжаться все воздушные и кабельно-воздушные линии с рабочим напряжением 1кВ и выше. Кроме того, устройствами АПВ снабжаются трансформаторы, сборные шины подстанций и электродвигатели.

Виды АПВ

В зависимости от количества фаз, на которые действуют устройства АПВ, их разделяют на:

- однофазное АПВ — включает одну отключенную фазу (при отключении из-за однофазного короткого замыкания)
- трёхфазное АПВ — включает все три фазы участка цепи.

– комбинированные — включает одну или три фазы в зависимости от характера повреждения участка сети.

Трёхфазные АПВ могут в зависимости от условий работы сети разделяться на:

- простые (ТАПВ)
- несинхронные (НАПВ)
- быстродействующие (БАПВ)
- с проверкой наличия напряжения (АПВНН)
- с проверкой отсутствия напряжения (АПВОН)
- с ожиданием синхронизма (АПВОС)
- с улавливанием синхронизма (АПВУС)
- в сочетании с самосинхронизацией генераторов и синхронных компенсаторов (АПВС)

По типу защищаемого оборудования АПВ разделяются соответственно на АПВ линий, АПВ шин, АПВ электродвигателей и АПВ трансформаторов.

Принцип действия и схема устройства АПВ линий с односторонним питанием АПВ может быть однократным и двукратным. Схема однократного АПВ на базе реле РПВ-58 приведена на рисунке 1.

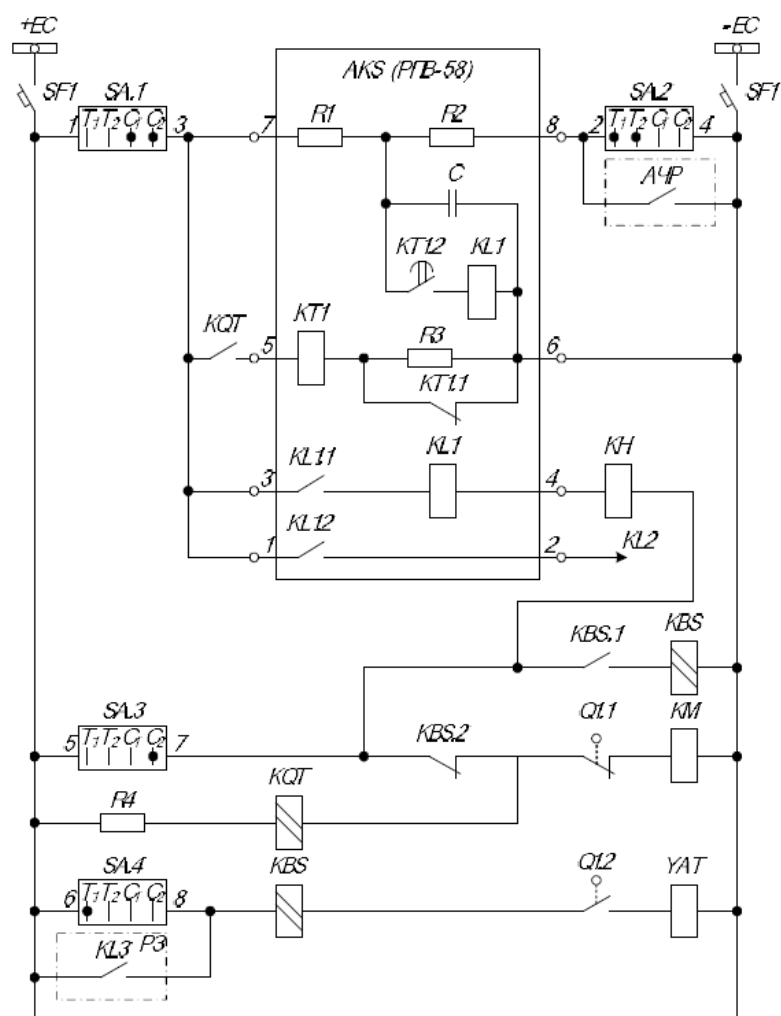


Рисунок 1 – Схема однократного АПВ на базе реле РПВ-58

Дистанционное управление выключателем производится ключом управления SA, у которого предусмотрена фиксация положения последней операции, и таким образом после включения ключ остается в положении «Включено» (C2), а после отключения – в положении «Отключено» (T2). Когда выключатель включен и ключ управления находится в положении «Включено», к конденсатору C подводится «плюс» оперативного тока через контакты ключа и зарядный резистор R1, а «минус» – через клемму 6. При этом конденсатор заряжен, и схема АПВ готова к действию.

При включенном выключателе реле положения «Отключено» KQT, осуществляющее контроль исправности цепи включения, током не обтекается и контакт его в цепи пуска АПВ разомкнут. Пуск АПВ происходит при отключении выключателя под действием релейной защиты в результате несоответствия между положением ключа, которое не изменилось, и положением выключателя, который теперь отключен. Это несоответствие характеризуется тем, что через контакты ключа 1-3 на схему АПВ по-прежнему подается «плюс» оперативного тока, а ранее разомкнутый вспомогательный

контакт (блок-контакт) выключателя Q1.1 переключается и замыкает цепь обмотки реле KQT, которое, срабатывая, подает «плюс» на обмотку реле времени KT1.

При срабатывании реле времени размыкается его мгновенный размыкающий контакт KT1.1, вводя в цепь обмотки реле дополнительное сопротивление (резистор R3). Это приводит к уменьшению тока в обмотке реле, благодаря чему обеспечивается его термическая стойкость при длительном прохождении тока.

По истечении установленной выдержки времени реле KT1 замыкает контакт KT1.2 и подключает параллельную обмотку реле KL1 к конденсатору С. Реле KL1 при этом срабатывает от тока разряда конденсатора и, самоудерживаясь через свою вторую обмотку, включенную последовательно с катушкой КМ, подает импульс на катушку промежуточного контактора КМ; последний, срабатывая, контактами КМ.1 и КМ.2 замыкает цепь питания соленоида включения YAC выключателя Q1 – рисунок 2. Благодаря последовательной обмотке реле KL1 обеспечивается необходимая длительность импульса для надежного включения выключателя, поскольку параллельная обмотка этого реле обтекается током кратковременно при разряде конденсатора. Выключатель включается, размыкается его вспомогательный контакт Q1.1 и возвращаются в исходное положение реле KQT, KL1 и KT1.

Если повреждение на линии было неустойчивым, она останется в работе. После размыкания контакта реле времени KT1.2 конденсатор С начнет заряжаться через зарядный резистор R1. Сопротивление этого резистора выбирается таким, чтобы время заряда составляло 20 – 25 с. Таким образом, спустя указанное время схема АПВ будет автоматически подготовлена к новому действию.

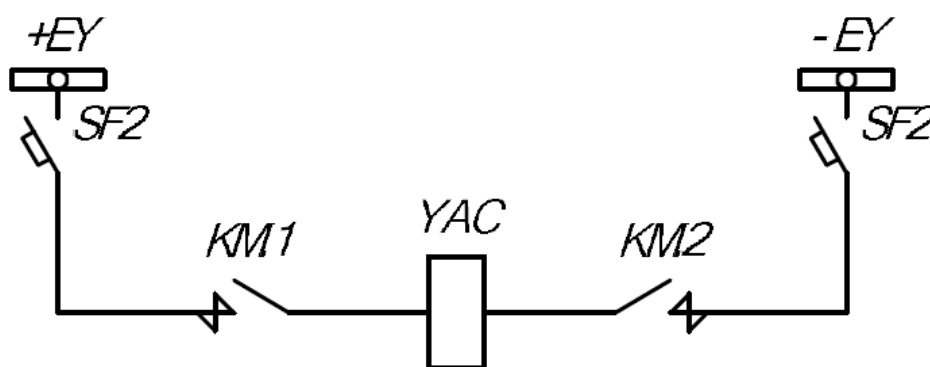


Рисунок 3 – Цепи соленоида включения выключателя

Если повреждение было устойчивым, выключатель, включившись, вновь отключится защитой и опять сработают реле KQT и KT1. Реле KL1, однако, при этом второй раз работать не будет, так как конденсатор С был разряжен при первом действии

АПВ и зарядиться еще не успел. Таким образом, рассмотренная схема обеспечивает однократное действие при устойчивом КЗ на линии.

При оперативном отключении выключателя ключом управления SA несоответствия между положением ключа управления и выключателя не возникает и АПВ не действует, так как одновременно с подачей импульса на отключение выключателя (контактами ключа 6-8) размыкаются контакты 1-3, чем снимается «плюс» оперативного тока со схемы АПВ. Поэтому срабатывает только реле KQT, а реле KT1 и KL1 не сработают. Одновременно со снятием оперативного тока контактами 1-3 ключа КУ замыкаются контакты 2-4, конденсатор С разряжается через резистор R2. При оперативном включении выключателя ключом управления готовность АПВ к действию наступает после заряда конденсатора С через 20 – 25 с. Поэтому при оперативном включении выключателя отключать АПВ не требуется.

При отключении линии устройством автоматики, когда действия АПВ не требуется (например, АЧР), через резистор R2 производится разряд конденсатора С.

Чтобы предотвратить многократное включение выключателя на устойчивое КЗ, что могло бы иметь место при «залипании» контактов реле KL1 в замкнутом состоянии, в схеме управления (рисунок 2) устанавливается специальное промежуточное реле KBS (типа РП-232) с двумя обмотками – рабочей последовательной и удерживающей параллельной. Реле KBS срабатывает при прохождении тока по катушке отключения выключателя и удерживается в сработавшем положении до снятия команды на включение. При этом цепь КМ Разомкнута размыкающим контактом KBS.2, чем предотвращается включение выключателя.

Совместное использование устройств АПВ и релейной защиты позволяет сократить время отключения КЗ и тем самым повысить надежность работы энергосистемы и потребителей. Достигается это путем автоматического ускорения действия релейной защиты, т.е. путем уменьшения или же полного исключения выдержки времени защиты.

В эксплуатации применяются два способа ускорения действия релейной защиты – до АПВ и после АПВ.

Принцип действия ускорения до АПВ следующий. Повреждения, возникающие на любом участке линии, отключаются без выдержки времени, а неселективное действие защиты «исправляется» с помощью устройства АПВ. Ускорение после АПВ заключается в том, что вначале (перед АПВ) действует селективная защита и производит отключение поврежденного участка сети, а к моменту повторного включения выключателя ее выдержка времени автоматически устраняется на некоторое время. В случае неуспешного АПВ защита действует без выдержки времени, сохраняя свою селективность.

Если АПВ успешное, то через определенное время ускорение автоматически выводится и новое повреждение будет отключаться селективно.

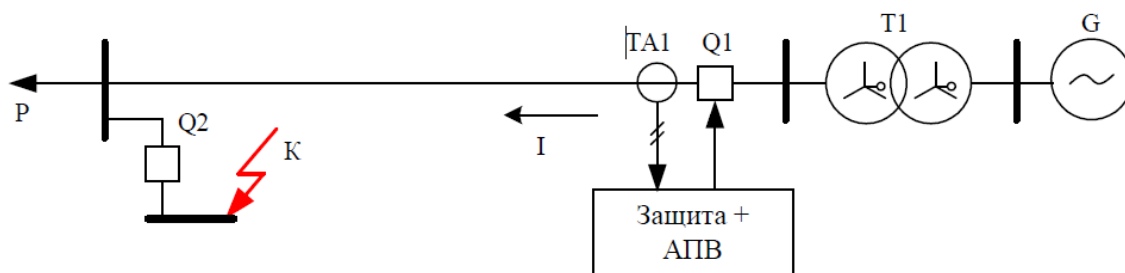


Рисунок 4 – Схема лабораторной работы

В данном эксперименте используется линия электропередачи (см. рис), подключенная к источнику G через трансформатор T1 и выключатель Q1. От шин линии получает питание активная нагрузка P. В начале линии установлен трансформатор тока TA1. Короткое замыкание K устраивается в конце линии.

Выключатель Q2, работающий в автоматическом режиме, используется для нормирования времени короткого замыкания.

Токовая защита и устройство АПВ моделируются на компьютере с помощью специальной программы. Защита работает с независимой выдержкой времени и может иметь ускорение до и (или) после АПВ. АПВ может быть однократным или двукратным. В уставках программы задаются ток и время срабатывания защиты, наличие или отсутствие ускорений, кратность и времена действия АПВ и общее время существования короткого замыкания.

Указание по технике безопасности:

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

Указания по выполнению лабораторной работы:

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините гнезда «ТК» источника G1.
- Соедините гнезда защитного заземления устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «РЕ» источника G1.
- Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений.

– Тумблеры делителей напряжения коннектора А9 установите в положение «1:1». Тумблер выбора режима работы общей точки аналоговых входов коннектора А9 установите в положение «AIGND». Тумблеры выбора режима работы цифровых входов/выходов блока А10 ввода-вывода цифровых сигналов установите в положение «выход» (тумблер вниз) для контактов DIO0...DIO3, в положение «вход» (тумблер вверх) для контактов DIO4...DIO7.

– Переключатели режимов работы трехполюсных выключателей А2 и А7 установите в положение «АВТ.», выключателя А6 – в положение «РУЧН.». Номинальные напряжения обмоток трансформаторов блока А1 выставьте равными, например, 127/230 В. Параметры линий электропередачи А3 и А4 переключателями установите, например, следующими: $R = 0$ Ом, $L/RL=0,9/24$ Гн/Ом, $C1=C2=0$ мкФ. Выберите мощность активной нагрузки А5, например, 80% от 50 Вт во всех трех фазах.

– Приведите в рабочее состояние персональный компьютер А12 и запустите прикладную программу «АПВ линии электропередачи с односторонним питанием».

– Задайте уставки защиты и АПВ, нажав на соответствующую виртуальную кнопку. Например, используйте уставки по умолчанию.

– Включите выключатели «СЕТЬ» выключателей А2, А6, А7, блока А10 ввода-вывода цифровых сигналов.

– Включите источник G1. О наличии напряжений на его выходе должны сигнализировать светящиеся лампочки.

– Нажмите на виртуальную кнопку «Запустить» и смоделируйте короткое замыкание, включив выключатель А6. После того, как автоматика завершит свою работу, остановите запись. Нажмите на виртуальную кнопку «Отобразить записанный процесс» и проанализируйте осциллограмму токов линии, а также информацию о последовательности произошедших событий.

– При работе с программой следует пользоваться ее возможностями:

– Масштабирование осциллограммы производится путем нажатия на графике левой клавиши мыши и, не отпуская ее, перемещения манипулятора слева направо и сверху вниз. Возврат к начальному масштабу осуществляется обратным перемещением манипулятора – справа налево и снизу вверх.

– Двигать график осциллограммы относительно осей координат можно путем нажатия и удержания на нем правой кнопки мыши и ее одновременного перемещения в нужную сторону.

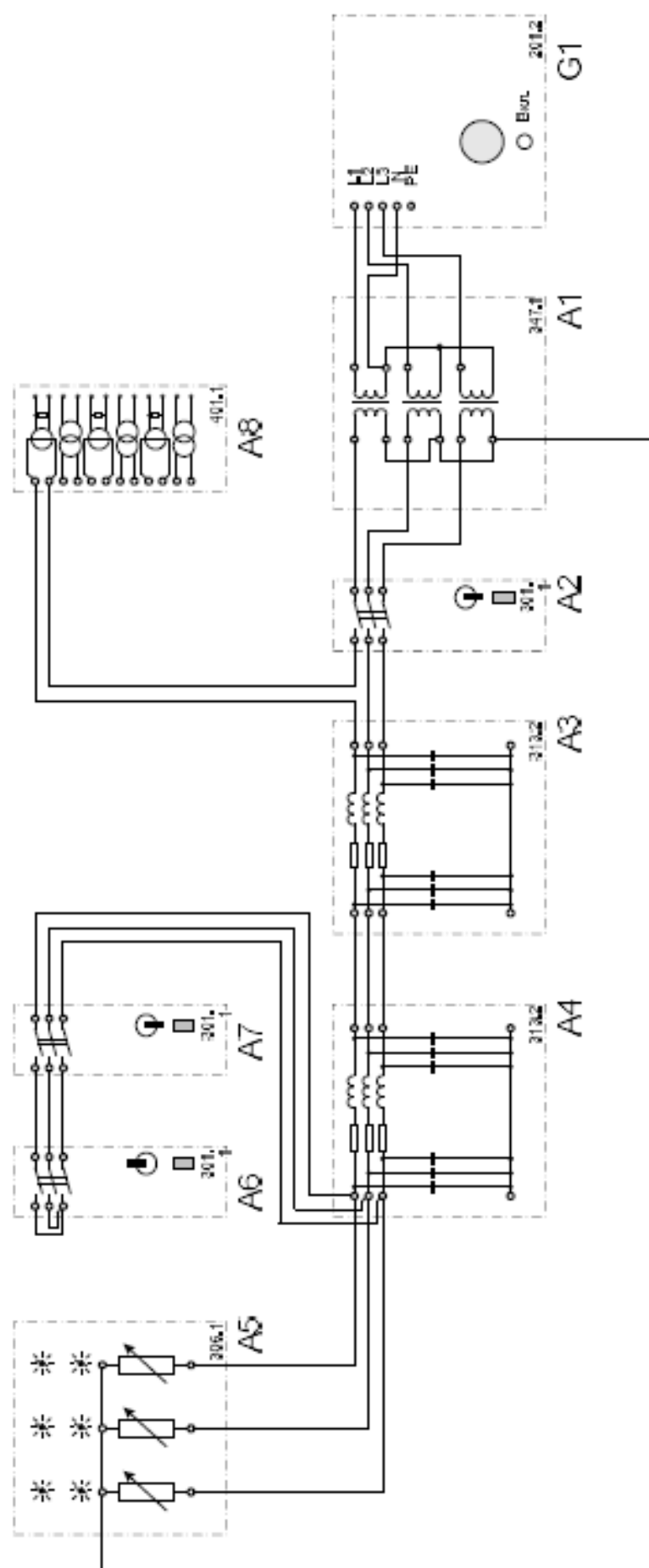
– Для удобства определения значений величин по графикам в нижней части экрана отображаются текущие координаты указателя мыши.

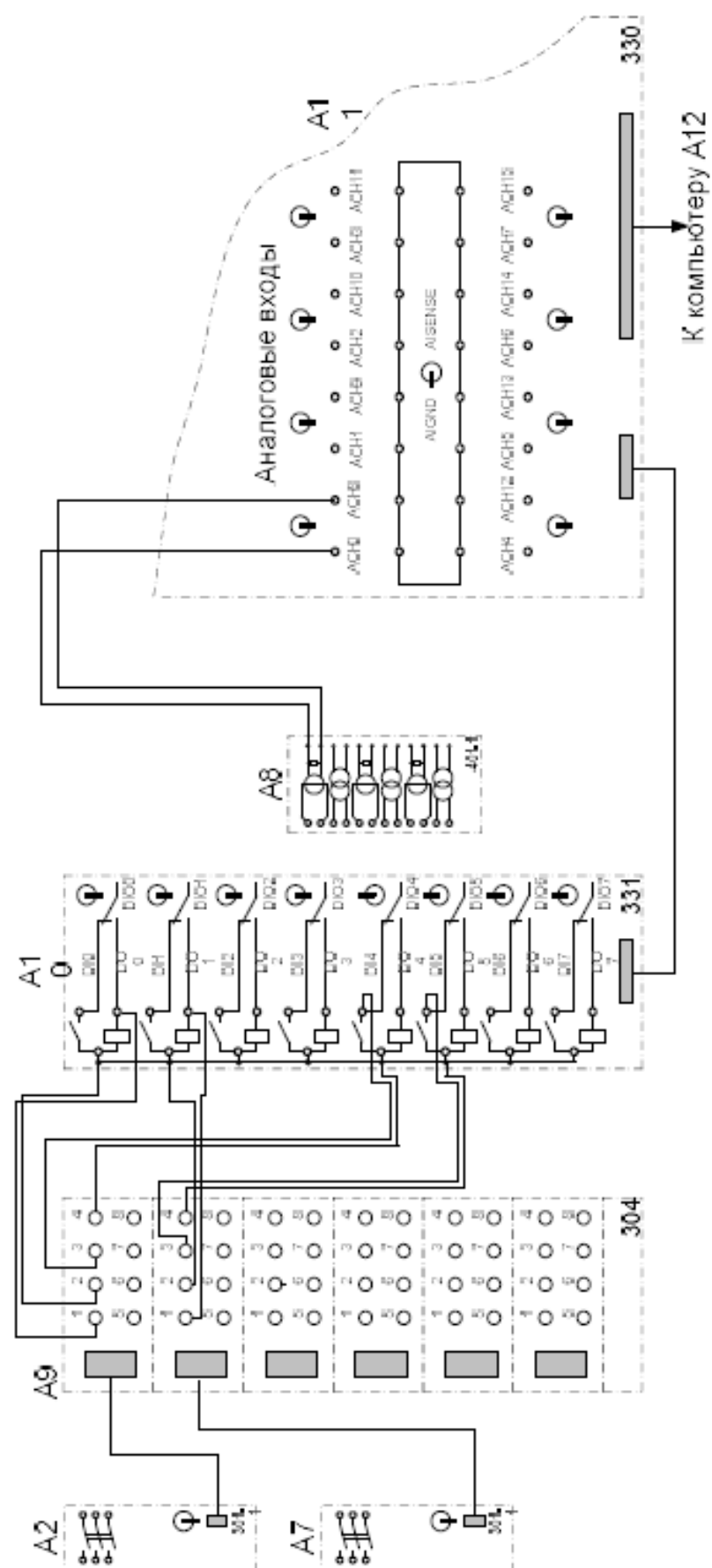
– Если защита «запустилась», то на экране красным шрифтом отображается время, оставшееся до ее срабатывания. Время, оставшееся до срабатывания АПВ1 (АПВ2), отображается синим (зеленым) шрифтом.

– Уставку тока следует задавать действующими значениями.

– Запись электромагнитных процессов в схеме производится программой в циклический буфер. Его длина составляет 15 секунд.

По завершении экспериментов отключите источник G1 и выключатели «СЕТЬ» блоков А2, А6, А7 и А10.





Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Что такое устойчивые повреждения (примеры)?
2. Как осуществляется пуск устройств АПВ?
3. Что такое время готовности привода, время деионизации среды и время готовности выключателя?
4. Требования, которые необходимо учитывать при определении выдержки времени на возврат устройства АПВ в состояние готовности?
5. Где устанавливаются УАПВ?
6. Виды АПВ?
7. Анализ схемы однократного АПВ на базе реле РПВ-58.
8. Два способа ускорения действия релейной защиты.

Лабораторная работа №2. Автоматическое повторное включение.
Автоматическое повторное включение линии электропередачи с двусторонним питанием.

Цель работы: Ознакомление с особенностями работы автоматического повторного включения на линии с двусторонним питанием. Расчет уставок и уяснение работы устройства АПВ с контролем наличия и отсутствия напряжения, а также - устройств контроля синхронизма.

Основы теории:

Устройства трехфазного автоматического повторного включения (ТАПВ), в дальнейшем именуемые устройствами АПВ, имеют назначение автоматически включать отключившийся элемент энергосистемы для восстановления работы потребителей или схемы их электропитания.

1. Успешность автоматического повторного включения характеризуется отношением числа случаев обратных включений, после которых вновь не произошло немедленного отключения объекта от устройства релейной защиты, к общему числу случаев повторного включения объекта устройством АПВ.

Успешность АПВ определяется тем, что причина, вызвавшая отключение, за время обесточения присоединения часто самоустраняется (например, прекращается схлестывание проводов и восстанавливается изоляция, погасает дуга, вызванная грозовым разрядом, устраняется перегрузка, приведшая к срабатыванию устройства релейной защиты, и т. п.).

2. Правильная и неправильная работа устройств АПВ определяется правильной (безотказной) работой, как релейной части аппаратуры, так и коммутационного аппарата (выключателя), которым производится обратное включение электрической цепи. Неправильная работа обуславливается отказом устройства АПВ как такового (неправильная работа аппаратуры устройства АПВ) или выключателя (отказ в повторном включении выключателя из-за его неисправности).

3. Эффективность применения устройства АПВ определяется размером возможного народнохозяйственного ущерба, предотвращённого работой устройства АПВ за год эксплуатации. Затраты на осуществление и текущее обслуживание устройств АПВ ничтожны по сравнению с размером предотвращенного народнохозяйственного ущерба и при оценке экономического эффекта могут не учитываться.

Наибольшую эффективность имеют устройства АПВ, устанавливаемые на выключателях воздушных линий электропередачи, по которым осуществляется

одностороннее питание нагрузки и для которых не предусмотрена автоматическая подача напряжения от резервного источника электроснабжения. Определяется это тем, что потребители после кратковременного перерыва питания чаще всего могут продолжать свою работу, в особенности, если предусмотрены мероприятия по обеспечению самозапуска нагрузки.

Весьма эффективна работа устройств АПВ для воздушных линий электропередачи во время грозовой деятельности. Подавляющее число перекрытий в это время устраняется после отключения линии электропередачи, и после действия устройства АПВ линия остается в работе.

Опыт эксплуатации показал высокую эффективность АПВ шин, поскольку КЗ на шинах также бывают неустойчивыми. В силу указанных причин установка устройств АПВ для повторной подачи напряжения на линии, шины и трансформаторы является обязательной. При установке устройств АПВ на линиях с двусторонним питанием необходимо учитывать, что для восстановления работоспособности поврежденной линии требуется её отключение и включение с двух сторон. В связи с этим устройства АПВ следует устанавливать на выключателях обоих концов защищаемого элемента. Необходимо также учитывать возможность несинхронного повторного включения и в ряде случаев принимать специальные меры, чтобы не допускать такое включение. Это достигается с помощью специальных органов, состоящих из реле, контролирующего наличие напряжения на линии, и реле контроля синхронизма. Устройства АПВ, дополненные этими органами, называются УАПВ с контролем синхронизма.

Иногда можно отказаться от мер, предотвращающих несинхронное включение, и применять АПВ без контроля синхронизма. Это допустимо в следующих случаях:

а) при наличии большого числа параллельных связей, когда отключение одной из линий не сопровождается нарушением синхронизма (в этом случае применяют обычные устройства АПВ);

б) если имеется быстродействующая защита и быстродействующие выключатели, позволяющие обеспечить полное время цикла АПВ (отключение – включение) не более $t_{АПВ1} = 0,25 \dots 0,5$ с. при повреждении в любой точке защищаемой линии; за указанное время векторы ЭДС разделившихся источников не успевают разойтись на значительный угол, поэтому повторное включение сопровождается допустимыми толчками тока и завершается успешным вхождением в синхронизм; устройства АПВ с таким временем действия называются быстродействующими;

в) если включение на несинхронную работу при любых углах между ЭДС разделившихся источников не представляет опасности для оборудования и обеспечивается

быстрое восстановление синхронизма; такое устройство АПВ называется несинхронным. В системах с глухозаземленными нейтралями наряду с трехфазным применяется также однофазное автоматическое повторное включение (ОАПВ). Устройства ОАПВ имеют определенные преимущества перед трехфазными УАПВ. Однако они значительно сложнее, и требуют пофазного управления выключателями. Имеются также схемы совместного согласованного действия устройств ТАПВ и ОАПВ.

Ускорение защиты после АПВ. Повторное включение на устойчивое повреждение линии, не имеющей быстродействующей защиты, вредно отражается на работе потребителей, усиливает повреждения в месте КЗ и усугубляет опасность нарушения устойчивости параллельной работы электростанций. Поэтому перед повторным включением выключателя линии производится ускорение действия ее защиты, т.е. автоматическое снижение или полное исключение выдержки времени.

Ускорение защиты после АПВ предусматривается директивными материалами не только для линий, не имеющих быстродействующей защиты, но и для линий, имеющих сложные быстродействующие защиты, как мера повышения надежности защиты линии в целом. На кабельных линиях ускорение защиты после АПВ необходимо применять для предотвращения повреждения кабелей из-за перегрева при длительном прохождении тока.

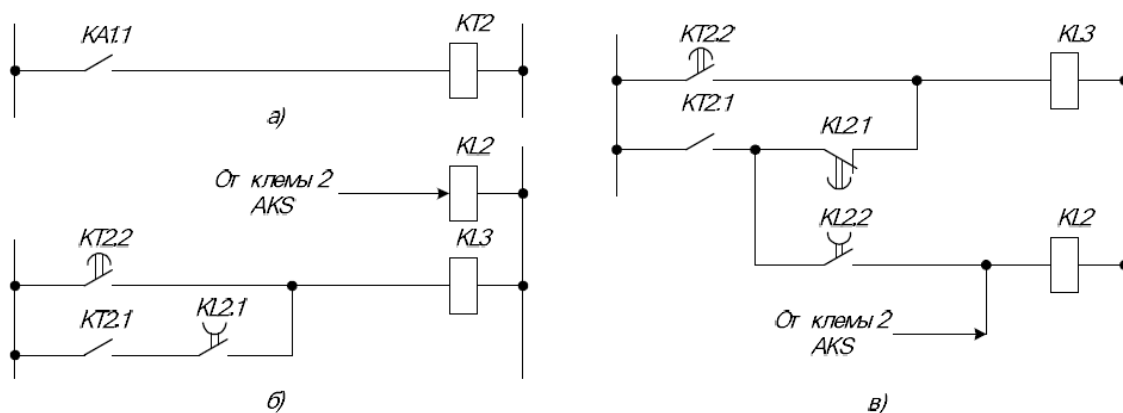


Рисунок 2 – Ускорение действия релейной защиты при АПВ

На рисунке 2.1(б) показана схема выполнения ускорения максимальной токовой защиты после АПВ. Ускоренное действие защиты осуществляется через мгновенный контакт KT2.1 реле времени KT2. Цепь ускоренного действия нормально разомкнута контактом промежуточного реле ускорения KL2, которое срабатывает перед повторным включением выключателя и, имея замедление на возврат, держит свой контакт замкнутым в течение 0,7 – 1 с.

Поэтому, если повторное включение происходит на устойчивое КЗ, защита второй раз подействует без выдержки времени по цепи ускорения через контакт реле KL2, в качестве которого обычно используется реле типа РП-752.

Ускорение защиты до АПВ позволяет ускорить отключение КЗ и обеспечить селективную ликвидацию повреждений. В сети максимальная токовая защита МТ31, установленная на линии W1, по условию селективности должна иметь выдержку времени больше, чем максимальная токовая защита МТ32 линии W2. Одним из способов, обеспечивающих быстрое отключение повреждений на линии W1 без применения сложных защит, является ускорение максимальной токовой защиты этой линии до АПВ. С этой целью защита МТ31 выполняется так, что при возникновении КЗ она первый раз действует без выдержки времени независимо от того, на какой из линий произошло КЗ, а после АПВ действует с нормальной выдержкой времени.

В случае КЗ на линии W1 срабатывает защита МТ31 (закрывается контакт КА1.1 и запускает реле времени КТ2). Первым закрывается контакт КТ2.1 в цепи ускорения и отключает эту линию без выдержки времени – рисунок 4в. После АПВ, если повреждение устранено, линия остается в работе; если же повреждение оказалось устойчивым, линия вновь отключится, но уже с выдержкой времени: при срабатывании выходного реле АПВ (KL1) произойдет пуск реле ускорения KL2, у которого переключаются контакты KL2.1 и KL2.2.

Контактом KL2.1 разрывается цепь ускорения, а контактом KL2.2 реле KL2 будет удерживаться в сработавшем положении, пока не отключится КЗ и не разомкнутся контакты реле защиты.

На микропроцессорной базе наибольшее распространение получили реле РПВ-01 и РПВ-02. Они выполнены на интегральных микросхемах и на унифицированной конструкции. Для гальванического отделения цепей реле от источников входных сигналов и выходных цепей включения выключателя используются электромагнитные реле с герметизированными контактами (герконы) и выходное реле с двумя обычными контактами.

В функциональной схеме автоматического устройства РПВ-01 (рисунок 2.2) различаются элементы формирования (контактами) дискретных потенциальных сигналов, а именно: пуска ЭП контактом KL1, запрета действия ЗД, разрешения подготовки к новому действию — возврату в исходное состояние РВ, защитного сигнала, предотвращающего ложные действия РПВ при перерывах его питания от источника постоянного напряжения ЕП (элемент ЗП), элемент управления ЭУ выходным реле KL2 и элемент информации о действии РПВ (сигнализации) ИЭ.

Схема РПВ-01 содержит элементы формирования сигналов включения выключателей без выдержки времени БАПВ и АПВ с выдержкой времени, элемент однократности действия (запрета) ЭОД, элемент подготовки к новому действию ПД и элемент выдержек времени ЭВ срабатывания t_c и подготовки к новому действию (возврата) t_B .

Функции названных элементов, кроме контактных, выполняются взаимодействующими дискретными интегральными микросхемами DX (И) серий, K176, реализующими логические операции совпадения сигналов (логических единиц) и их отрицания DX (И-НЕ). На функциональной схеме показан, например, синтезированный из двух микросхем DX1 и DU (НЕ) элемент логического перемножения (конъюнкции) дискретных потенциальных сигналов DX1.

Элемент выдержки времени выполнен на пассивных RC-интеграторах и активном элементе сравнения постоянного напряжения, получаемого от источника питания, с напряжением на заряжающемся конденсаторе релейного действия на основе интегрального операционного усилителя типа K553УД1 в дифференциальном включении, охваченного положительной обратной связью.

Заряд конденсаторов от транзисторных источников токов обеспечивает линейное нарастание напряжений на них и, следовательно, более высокую, чем при экспоненциальном нарастании, четкость срабатывания бесконтактного реле времени. Источники токов включаются и отключаются дискретно изменяющимися напряжениями на выходах логических интегральных микросхем.

Элемент запрета ЭОД, обеспечивающий однократность действия РПВ, содержит интегральные триггеры DS для запоминания сигнала.

В элемент управления ЭУ выходным электромагнитным реле KL2 входит выходной транзистор VT, переключаемый в открытое состояние дискретно изменяющимся током, возбуждаемым напряжением на выходе логической интегральной микросхемы DX 2. Реле KL2 имеет две обмотки, вторая из них (токовая) — удерживающая — включается последовательно в цепь управляющего воздействия UB на возбуждение контактора электромагнита включения выключателя линии электропередачи, трансформатора, шин электростанции. Информационный элемент ИЭ выполнен на интегральных транзисторных переключателях и светодиодах.

На вход РПВ поступают дискретные потенциальные сигналы от цепей управления выключателем: сигнал пуска СП возникает при несоответствии положений ключа управления (включено) и выключателя (отключен); сигнал на разрешение подготовки к включению СРВ — от ключа управления включением выключателя; сигналы запрета СЗ

действия РПВ — от ключа управления отключением выключателя, от устройств релейной защиты, срабатывающих только при внутренних повреждениях трансформатора, от дифференциальной защиты шин электростанции (кроме РПВ выключателя, предназначенного для их опробования). На вход элемента ЗП защиты от неправильного действия при перерывах питания схемы поступает напряжение ЕП от источника оперативного тока. При его наличии РПВ готово к действию, т.е. находится в состоянии ожидания (геркон ЗП разомкнут).

При поступлении сигнала пуска срабатывает реле KL1 элемента ЭП и возбуждает элемент БАПВ, выходной дискретный сигнал которого проходит через логическую микросхему DX 2 элемента управления ЭУ, благодаря поступлению на второй ее вход сигнала от ЭП. Появляющееся напряжение относительно отрицательного потенциала эмиттера VT на выходе DX 2 (нулевой потенциал) возбуждает ток через эмиттерный переход транзистора, переключающий его в открытое состояние; выходное реле KL2 срабатывает и возбуждает соответствующую цепь УВ управления воздушным выключателем линии электропередачи, осуществляющим БАПВ.

Элемент БАПВ одновременно переключает триггер DS сигналом, поступающим на его вход записи S, напряжение на выходе которого, появляющееся с небольшой задержкой t_3 , убирает, воздействуя на инверсный вход DX1 (ЗАПРЕТ), выходной сигнал БАПВ, обеспечивая однократность его действия.

Если выключатель масляный, то его АПВ производится с выдержкой времени.

При этом цепь БАПВ выводится из действия, как условно показано на схеме накладкой SX. По сигналу ЭП срабатывает элемент АПВ и запускает реле выдержки времени срабатывания t_c . Сигнал пуска поступает также на один из двух входов микросхем DX1 и DX 2. После срабатывания релейного элемента времени t_c его сигнал поступает на второй вход микросхемы DX1 и разрешает прохождение пускового сигнала на вход S записи триггера DS элемента однократности действия ЭОД и второй вход микросхемы DX 2, которая переключается до нулевого потенциала 0 — положительного относительно отрицательного потенциала эмиттера транзистора VT. Напряжением, возбуждающим ток эмиттерного перехода, транзистор VT открывается, реле KL2 срабатывает. Его контакт, соединенный последовательно со второй (удерживающей) обмоткой, замыкает цепь возбуждения контактора цепи электромагнита включения масляного выключателя.

Выходной сигнал элемента DX1, как указывалось, поступает на вход записи S триггера DS, выходное напряжение которого с небольшой задержкой t_B производит (через DX 2) запрет действия АПВ, обеспечивая однократное повторное включение выключателя.

Как видно из схемы, пусковой сигнал ЭП через элемент подготовки к новому действию ПД запрещает запуск (микросхема DX 3) элемента ЭВ выдержки времени t_V возврата схемы в исходное состояние. После исчезновения СП и истечения времени t_V (не менее 10 с) выходным сигналом ЭВ, проходящим через DX2, благодаря наличию на втором его входе сигнала от ПД, и поступающим на вход считывания R триггера DS снимается запрет действия АПВ. Схема в целом приходит в исходное состояние.

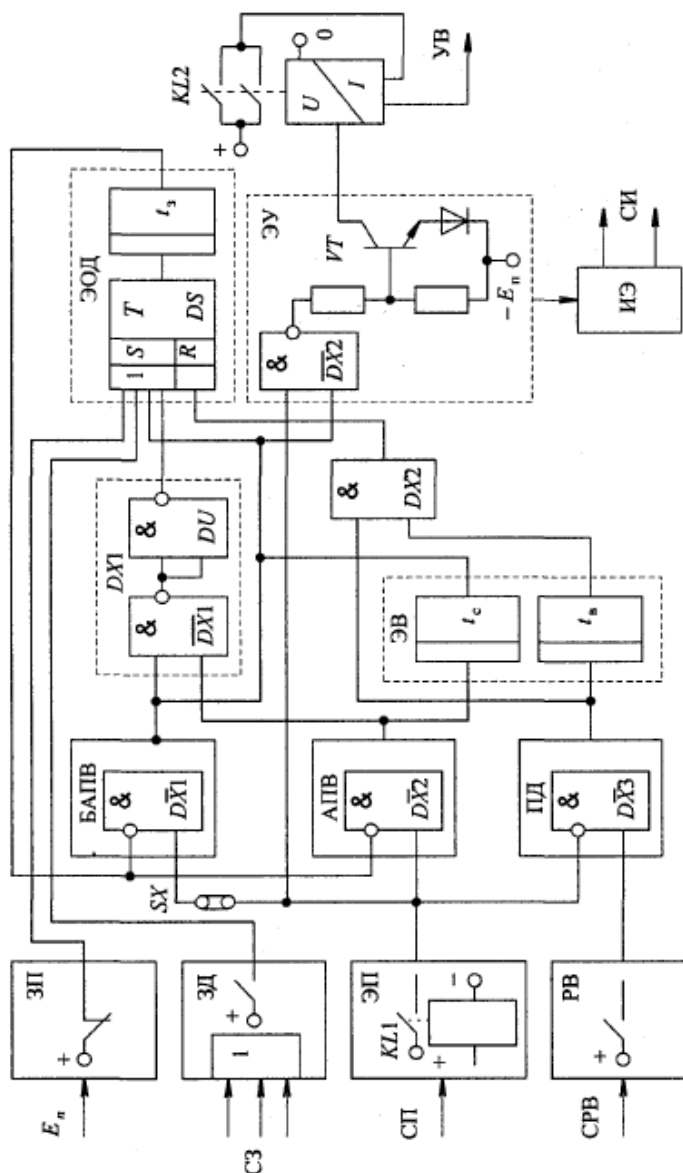
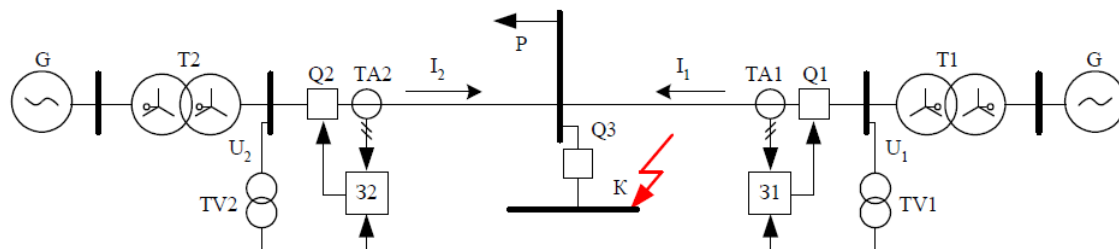


Рисунок 2 – Функциональная схема реле РРВ-01

Обычно во избежание двукратного включения на устойчивое КЗ от двух устройств АПВ, расположенным по концам линии, производится сначала ее опробование путем включения с одной стороны (АПВ с контролем отсутствия напряжения). Если напряжение на линии восстановилось, т.е. повреждение устранилось, действует второй комплект АПВ (АПВ с контролем наличия напряжения).

В тех случаях, когда синхронизм нарушается, на линиях применяются в зависимости от конкретных условий различные типы устройств АПВ: несинхронное (НАПВ), быстродействующее (БАПВ), с ожиданием синхронизма (АПВОС), с улавливанием синхронизма (АПВУС), с самосинхронизацией синхронных генераторов, компенсаторов и двигателей (АПВС).



В данном эксперименте используется линия электропередачи с двусторонним питанием (см. рис). От середины линии получает питание активная нагрузка P , на шинах которой устраивается короткое замыкание K .

Выключатель $Q3$, работающий в автоматическом режиме, используется для ограничения времени этого короткого замыкания.

Токовые защита и устройства АПВ моделируются на компьютере с помощью специальной программы. Предполагается, что нарушения синхронной работы источников питания не происходит.

Указание по технике безопасности:

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

Указания по выполнению лабораторной работы:

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
 - Соедините гнезда «ТК» источника G1.
 - Соедините гнезда защитного заземления устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «РЕ» источника G1.
 - Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений.
 - Тумблеры делителей напряжения коннектора A12 установите в положение «1:1».
- Тумблер выбора режима работы общей точки аналоговых входов коннектора A12 установите в положение «AIGND». Тумблеры выбора режима работы цифровых входов/выходов блока A11 ввода-вывода цифровых сигналов установите в положение

«выход» (тумблер вниз) для контактов DIO0...DIO3, в положение «вход» (тумблер вверх) для контактов DIO4...DIO7.

- Переключатели режимов работы трехполюсных выключателей A2, A5 и A7 установите в положение «АВТ.», выключателя A6 – в положение «РУЧН.».

- Номинальные напряжения обмоток трансформаторов блока A1 выставьте равными, например, 127/230 В. Параметры линий электропередачи A3 и A4 переключателями установите, например, следующими: $R = 200 \text{ Ом}$, $L/RL = 1,2/32 \text{ Гн/Ом}$, $C1 = C2 = 0 \text{ мкФ}$. Выберите мощность активной нагрузки A8, например 80% от 50 Вт во всех трех фазах.

- Приведите в рабочее состояние персональный компьютер A13 и запустите прикладную программу «АПВ линии электропередачи с двусторонним питанием».

- Задайте уставки защиты и АПВ, нажав на соответствующую виртуальную кнопку. Например, используйте уставки по умолчанию.

- Включите выключатели «СЕТЬ» выключателей A2, A5, A6, A7, блока A11 ввода-вывода цифровых сигналов.

- Включите источник G1. О наличии напряжений на его выходе должны сигнализировать светящиеся светодиоды.

- Нажмите на виртуальную кнопку «Запустить» и смоделируйте короткое замыкание, включив выключатель A6. После того, как автоматика завершит свою работу, остановите запись. Нажмите на виртуальную кнопку «Отобразить записанный процесс» и проанализируйте осциллограммы токов и напряжений, а также информацию о последовательности произошедших событий.

- При работе с программой следует пользоваться ее возможностями:

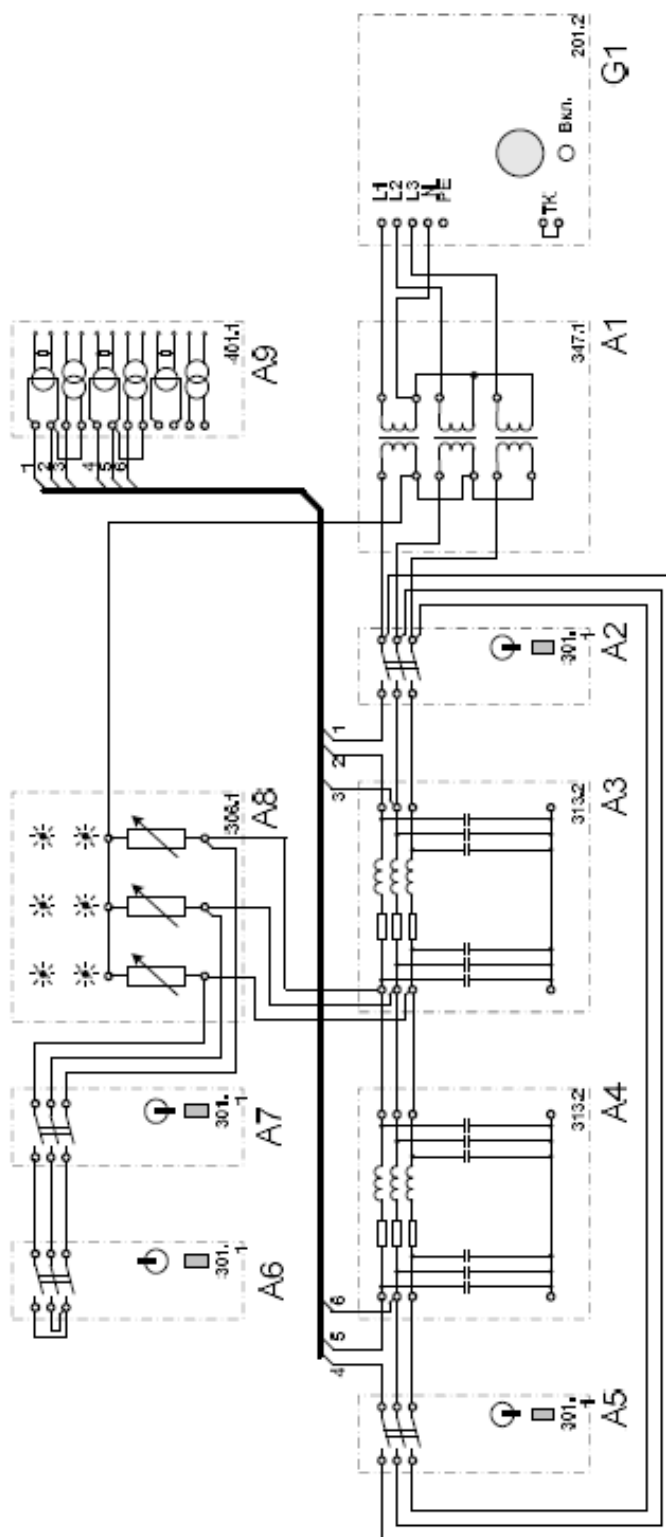
- Масштабирование осциллограмм производится путем нажатия на графике левой клавиши мыши и, не отпуская ее, перемещения манипулятора слева направо и сверху вниз. Возврат к начальному масштабу осуществляется обратным перемещением манипулятора – справа налево и снизу-вверх.

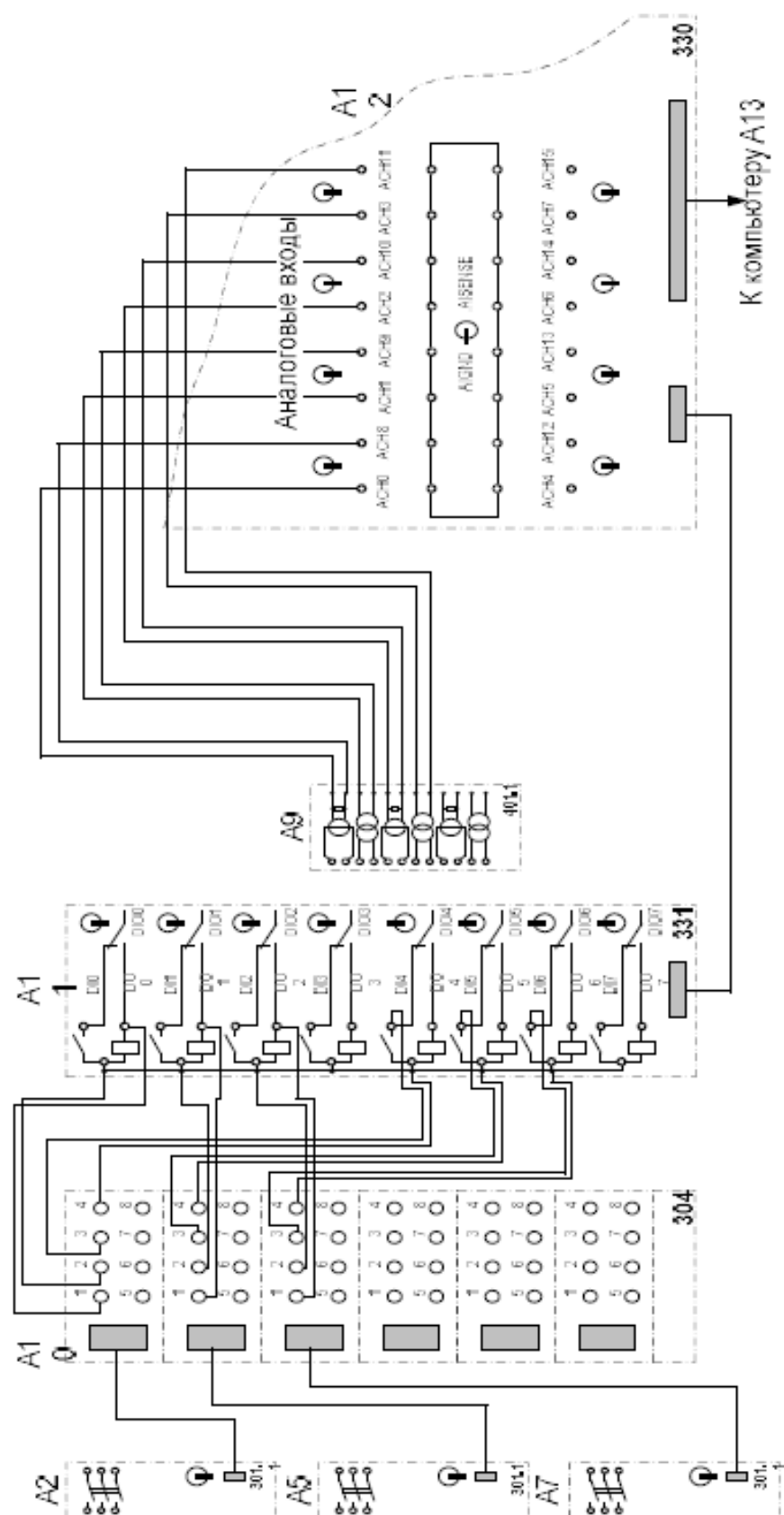
- Двигать график осциллограмм относительно осей координат можно путем нажатия и удержания на нем правой кнопки мыши и ее одновременного перемещения в нужную сторону.

- Для удобства определения значений величин по графикам в нижней части экрана отображаются текущие координаты указателя мыши.

- Если защита «запустилась», то на экране красным шрифтом отображается время, оставшееся до ее срабатывания. Время, оставшееся до срабатывания АПВ, отображается синим шрифтом.

- Уставку тока следует задавать действующими значениями.
- Запись электромагнитных процессов в схеме производится программой в циклический буфер. Его длина составляет 15 секунд.
- По завершении экспериментов отключите источник G1 и выключатели «СЕТЬ» блоков A2, A5, A6, A7 и A11.





Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Что такое успешность автоматического повторного включения?
2. Где обязательно устанавливать АПВ для повторной подачи напряжения?
3. То такое несинхронное повторное включение?
4. Когда можно отказаться от мер, предотвращающих несинхронное включение?
5. Когда применяется однофазное автоматическое повторное включение (ОАПВ)?
6. Ускорение защиты после АПВ.
7. Ускорение защиты до АПВ.
8. Принцип работы РПВ-01?
9. Что такое триггер?
10. Осуществление БАПВ на РПВ-01?

Лабораторная работа №3. Автоматический ввод резерва. Автоматическое резервное включение секционного выключателя понизительной подстанции.

Цель работы: Ознакомление с основными принципами резервирования, реализация их в различных схемах, расчет уставок и выяснение действия автоматики при различных видах ненормальных режимов в сети.

Основы теории:

Для надежного электроснабжения потребителей в энергосистемах и электроустановках создаются специальные схемы электрических соединений, обеспечивающие повышенную надежность.

Высокую степень надежности электроснабжения обеспечивают схемы питания подстанций одновременно от двух и более источников питания, поскольку при таких схемах аварийное отключение одного из источников не нарушает питания потребителей.

Несмотря на эти очевидные преимущества многостороннего питания потребителей, большое количество подстанций воздушных и кабельных сетей, имеющих два и более источников питания, работают по схеме одностороннего питания. Одностороннее питание имеют также секции собственных нужд электростанций.

При развитии сетей одностороннее питание часто является единственно возможным решением, так как ранее установленное оборудование и релейная защита не позволяют осуществить параллельную работу источников питания.

Недостатком одностороннего питания является то, что аварийное отключение рабочего источника приводит к прекращению питания потребителей, т.е. к аварии.

Этот недостаток может быть в значительной степени устранен быстрым автоматическим включением резервного источника или включением выключателя, на котором производится деление сети. Для выполнения этой операции широко используются специальные автоматические устройства, получившие наименование автоматов включения резерва (АВР).

Автоматический ввод резерва — один из методов релейной защиты, направленный на повышение надежности работы сети электроснабжения. Заключается в автоматическом подключении к системе дополнительных источников питания в случае потери системой электроснабжения из-за аварии. Согласно ПУЭ все потребители электрической энергии делятся на три категории: I категория — к потребителям этой группы относятся те, нарушение электроснабжения которых может повлечь за собой опасность для жизни людей,

значительный материальный ущерб, опасность для безопасности государства, нарушение сложных технологических процессов и пр. II категория

к этой группе относят электроприёмники, перерыв в питании которых может привести к массовому недоотпуску продукции, простоя рабочих, механизмов, промышленного транспорта. III категория — все остальные потребители электроэнергии.

Таким образом, кроме неудобств в повседневной жизни человека, длительный перерыв в электропитании может привести к угрозе жизни и безопасности людей, материальному ущербу и другим, не менее серьезным последствиям. Бесперебойное питание можно реализовать, осуществив электропитание каждого потребителя от двух источников одновременно (для потребителей I категории так и делают), однако подобная схема имеет ряд недостатков:

- 1) токи короткого замыкания при такой схеме гораздо выше, чем при раздельном питании потребителей;
- 2) в питающих трансформаторах выше потери электроэнергии;
- 3) релейная защита сложнее, чем при раздельном питании;
- 4) необходимость учета перетоков мощности вызывает трудности, связанные с выработкой определенного режима работы системы.

В некоторых случаях не получается реализовать схему из-за того, что нет возможности осуществить параллельную работу источников питания из-за ранее установленной релейной защиты и оборудования.

В связи с этим возникает необходимость в раздельном электроснабжении и быстром восстановлении электропитания потребителей. Решение этой задачи и выполняет АВР. АВР может подключить отдельный источник электроэнергии (генератор, аккумуляторная батарея) или включить выключатель, разделяющий сеть, при этом перерыв питания может составлять всего 0.3 — 0.8 секунд (это время срабатывания выключателя).

При проектировании схемы АВР, допускающей включение секционного выключателя, важно учитывать пропускную способность питающего трансформатора и мощность источника энергии, питающих параллельную систему. В противном случае может получиться так, что переключение на питание от параллельной системы выведет из строя и её, так как источник питания не сможет справиться с суммарной нагрузкой обеих систем. В случае если невозможно подобрать такой источник питания, обычно предусматривают такую логику защиты, которая отключит наименее важных потребителей тока обеих систем. АВР разделяют на:

- АВР одностороннего действия. В таких схемах присутствует одна

рабочая секция питающей сети, и одна резервная. В случае потери питания рабочей секции АВР подключит резервную секцию.

- АВР двухстороннего действия. В этой схеме любая из двух линий может быть как рабочей, так и резервной.

Все устройства АВР должны удовлетворять следующим основным требованиям.

1. Схема АВР должна приходить в действие при исчезновении напряжения на шинах потребителя по любой причине, в том числе при аварийном, ошибочном или самопроизвольном отключении выключателей рабочего источника питания, а также при исчезновении напряжения на шинах, от которых осуществляется питание рабочего источника. Включение резервного источника часто допускается также при КЗ на шинах потребителя.

2. Для того чтобы уменьшить длительность перерыва питания потребителей, включение резервного источника питания должно производиться сразу же после отключения рабочего источника.

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

4. Схема АВР не должна приходить в действие до отключения выключателя рабочего источника, чтобы избежать включения резервного источника на КЗ в неотключившемся рабочем источнике. Выполнение этого требования исключает также в отдельных случаях несинхронное включение двух источников питания.

5. Для того чтобы схема АВР действовала при исчезновении напряжения на шинах, питающих рабочий источник, когда его выключатель остается включенным, схема АВР должна дополняться специальным пусковым органом минимального напряжения,

6. Для ускорения отключения резервного источника при его включении на неустановившееся КЗ должно предусматриваться ускорение защиты резервного источника после АВР. Это особенно важно в тех случаях, когда потребители, потерявшие питание, подключаются к другому источнику, несущему нагрузку. Ускоренная защита обычно действует по цепи ускорения без выдержки времени. В установках же собственных нужд, а также на подстанциях, питающих большое число электродвигателей, ускорение защиты осуществляется до 0,5 с. Такое замедление ускоренной защиты необходимо, чтобы предотвратить ее неправильное срабатывание в случае кратковременного замыкания контактов токовых реле в момент включения выключателя под действием толчка тока, обусловленного сдвигом по фазе между напряжением энергосистемы и затухающей ЭДС тормозящихся электродвигателей, который может достигать 180° .

Принцип действия

В качестве измерительного органа для АВР в высоковольтных сетях служат реле минимального напряжения, подключённые к защищаемым участкам через трансформаторы напряжения. В случае снижения напряжения на защищаемом участке электрической сети реле даёт сигнал в схему АВР.

Однако, условие отсутствия напряжения не является достаточным для того, чтобы устройство АВР начало свою работу. Как правило, должен быть удовлетворён еще ряд условий:

На защищаемом участке нет неустранённого короткого замыкания. Так как понижение напряжения может быть связано с коротким замыканием, включение дополнительных источников питания в эту цепь нецелесообразно и недопустимо.

Вводной выключатель включён. Это условие проверяется, чтобы АВР не сработало, когда напряжение исчезло из-за того, что вводной выключатель был отключён намеренно.

На соседнем участке, от которого предполагается получать питание после действия АВР, напряжение присутствует. Если обе питающие линии находятся не под напряжением, то переключение не имеет смысла.

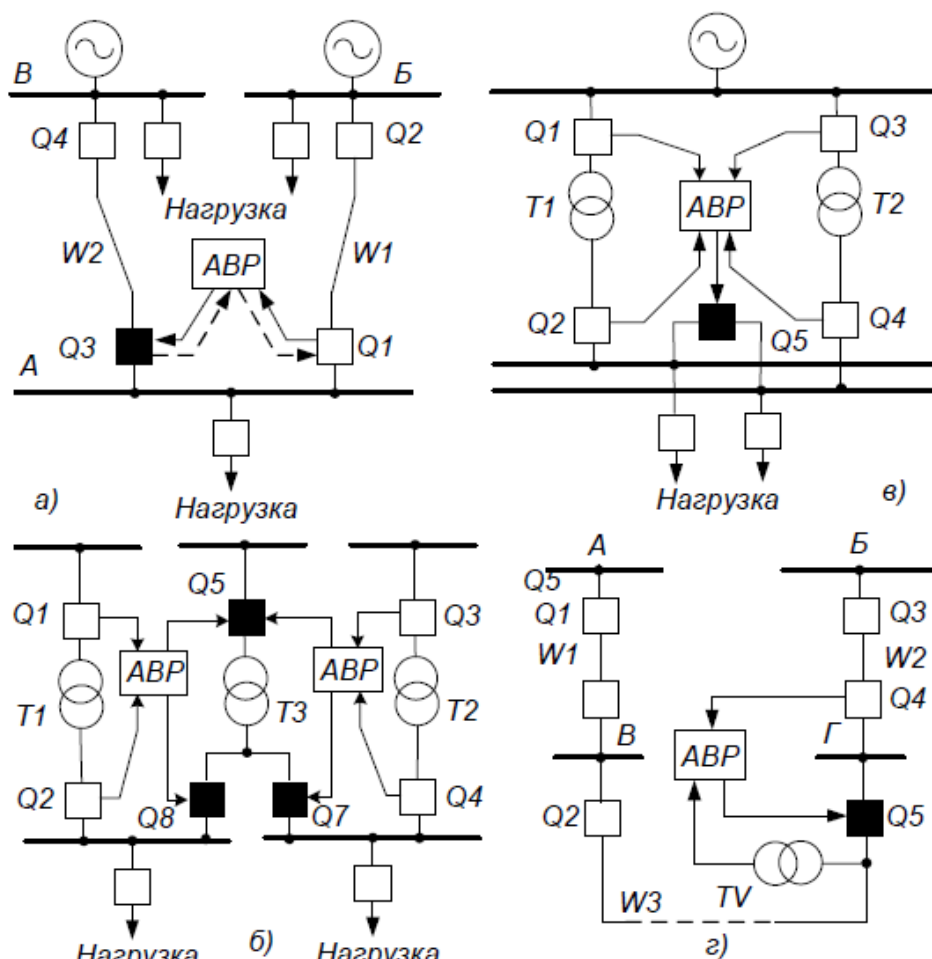


Рисунок 3 - Принципы осуществления АВР при разных схемах питания потребителей.

После проверки выполнения всех этих условий логическая часть АВР даёт сигнал на отключение вводного выключателя обесточенной части электрической сети и на включение межлинейного (или секционного) выключателя. Причём, межлинейный выключатель включается только после того, как вводной выключатель отключился.

В низковольтных сетях одновременно в качестве измерительного и пускового органа могут служить магнитные пускатели.

Используются две основные схемы одностороннего питания потребителей при наличии двух или более источников.

В первой схеме один источник, включен и питает потребителей, а второй отключен и находится в резерве. Соответственно этому первый источник называется рабочим, а второй — резервным (рис. 3.1 а, б). Во второй схеме все источники нормально включены, но работают раздельно на выделенных потребителях. Деление осуществляется на одном из выключателей (рис. 3.1 в, г).

Рассмотрим принципы использования АВР на примере схем, приведенных на рис. 3.1.

1. Питание подстанции А (рис. 3.1, а) осуществляется по рабочей линии W1 от подстанции Б. Вторая линия, приходящая с подстанции В, является резервной и находится под напряжением (выключатель Q3 линии W2 нормально отключен). При отключении линии W1 автоматически от устройства АВР включается выключатель Q3 и таким образом вновь подается питание потребителям подстанции А. Схемы АВР могут иметь одностороннее или двустороннее действие. При одностороннем АВР линия W1 всегда должна быть рабочей, а линия W2— всегда резервной. При двустороннем АВР любая из этих линий может быть рабочей и резервной.

2. Питание электродвигателей и других потребителей собственных нужд каждого агрегата электростанции осуществляется обычно от отдельных рабочих трансформаторов (Т1 и Т2 на рис. 3.1, б). При отключении рабочего трансформатора автоматически от схемы АВР включаются выключатель Q5 и один из выключателей — Q8 (при отключении Т1) или Q7 (при отключении Т2)—резервного трансформатора Т3.

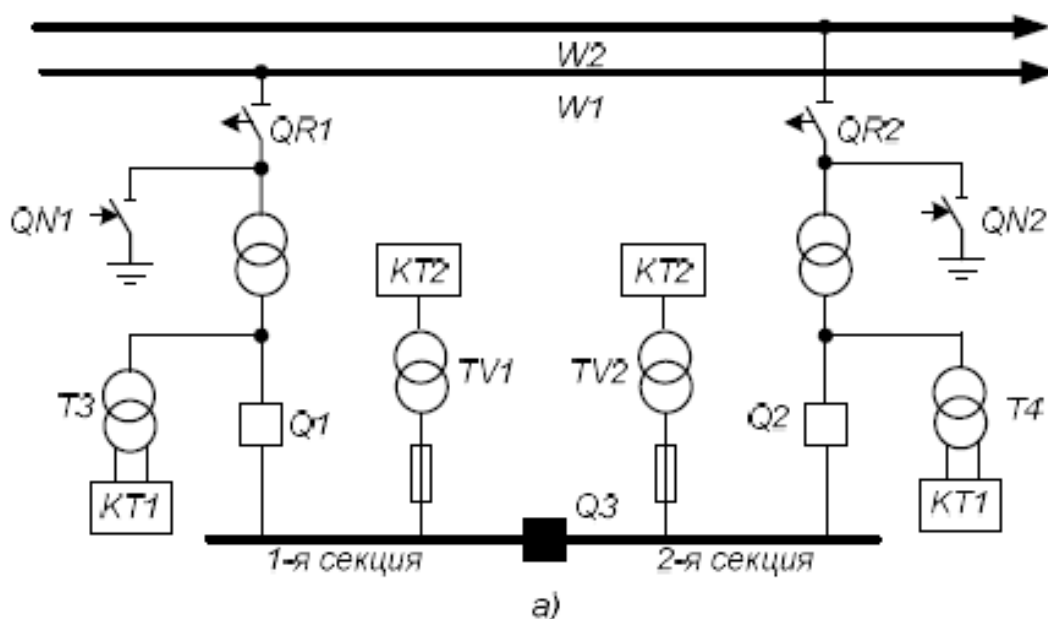
3. Трансформаторы Т1 и Т2 включены на разные системы шин (рис. 3.1, б). Шиносоединительный выключатель Q5 нормально отключен. При аварийном отключении любого из рабочих трансформаторов автоматически от схемы АВР включается выключатель Q5, подключая нагрузку шин, потерявших питание, к оставшемуся в работе трансформатору. Если мощность одного трансформатора недостаточна для питания всей нагрузки подстанции, при действии АВР должны приниматься меры для отключения части наименее ответственных потребителей.

4. Подстанции В и Г (рис. 3.1, г) нормально питаются радиально от подстанций А и Б соответственно. Линия W3 находится под напряжением со стороны подстанции В, а выключатель Q5 нормально отключен. При аварийном отключении линии W2 устройство АВР, установленное на подстанции Г, включает выключатель Q5, в результате чего питание с подстанции Г переводится на подстанцию В по линии W3. При отключении линии W1 подстанция В и вместе с ней линия W3 остаются без напряжения.

Исчезновение напряжения на трансформаторе напряжения TV также приводит в действие устройство АВР на подстанции Г, которое включением выключателя Q5 подает напряжение на подстанцию В от подстанции Г.

Опыт эксплуатации показывает, что АВР является очень эффективным средством повышения надежности электроснабжения. Успешность АВР составляет 90— 95 %. Простота схем и высокая эффективность обусловили широкое применение АВР на электростанциях и в электрических сетях.

На рис. 3.2 приведена схема АВР на переменном оперативном токе для секционного выключателя подстанции с двумя трансформаторами, питающимися без выключателей на стороне высшего напряжения от двух линий. Секционный выключатель Q3 нормально отключен. Оперативный ток для питания схемы автоматики подается от трансформаторов собственных нужд ТЗ и Т4. Особенностью схемы является то, что при исчезновении напряжения на одной из линий (W1 или W2) устройство АВР включает секционный выключатель Q3, а при восстановлении напряжения на линии автоматически восстанавливает нормальную схему подстанции.



напряжение с обмотки реле времени КТЗ типа ЭВ-248. Это реле при снятии с его обмотки напряжения мгновенно возвращается в исходное положение, а при подаче напряжения срабатывает с установленной выдержкой времени.

Если действием схемы АПВ линии напряжение на подстанции восстановлено не будет, то с установленной выдержкой времени (большей времени АПВ линии) замкнутся контакты реле времени КТ1.2 и К.Т2.2 и создадут цепь на катушку отключения YAT1 выключателя Q1 трансформатора Т1. При отключении выключателя Q1 замкнется его вспомогательный контакт SQ1.1 (рис. 3.2, в) в цепи катушки включения YAC3 секционного выключателя Q3 через еще замкнутый контакт KQC1. 1 реле однократности включения.

Секционный выключатель включится и подаст напряжение на 1-ю секцию подстанции, при этом подтянется реле времени КТ2, замкнет контакт КТ2.1 и разомкнет К.Т2.2. Реле КТ1 останется без напряжения, поэтому его контакт КТ1. 1 останется разомкнутым, а реле времени КТЗ будет по-прежнему находиться в исходном положении, держа разомкнутыми все свои контакты.

При восстановлении напряжения на линии W1 напряжение появится и на трансформаторе Т1, поскольку его отделитель оставался включенным. Получив напряжение, реле КТ1 подтянется, замкнет контакт КТ1. 1 и разомкнет контакт КТ1.2. При замыкании контакта КТ1. 1 начнет работать реле времени КТЗ, которое своим проскальзывающим контактом КТЗ.2 создаст цепь на включение выключателя Q1, а конечным контактом КТЗ. 3 — цепь на отключение секционного выключателя Q3, при этом автоматически будет восстановлена исходная схема подстанции. Цепь на отключение в рассматриваемом случае секционного выключателя создается лишь при условии, что включен выключатель Q2 трансформатора Т2. Если включение выключателя Q3 будет неуспешным вследствие наличия устойчивого повреждения на 1-й секции, она должна быть выведена в ремонт. После окончания ремонта питание 1-й секции восстанавливается от Т1 или от 2-й секции и она автоматически вводится в работу. Схема автоматики, аналогичная приведенной на рис. 3.2, обеспечивает действие АВР Т2.

В данном эксперименте моделируется схема понизительной подстанции (см. рис. 3.3). В нормальном режиме работы выключатели Q1 и Q2 включены, секционный выключатель Q3 — отключен. При «аварийном» отключении выключателя Q1 (т.е. при исчезновении напряжения на шинах подстанции), сначала срабатывает защита минимального напряжения, отключающая выключатель Q2, а затем — устройство АВР, которое включает выключатель Q3.

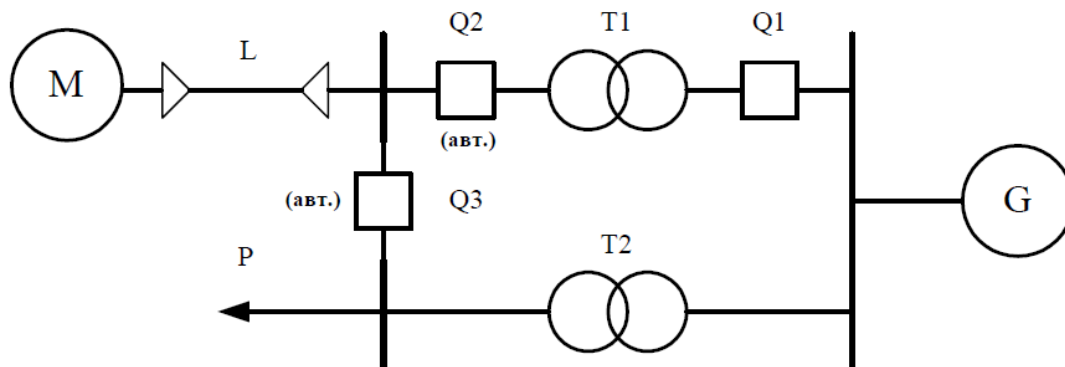


Рисунок 3.3 - Схема понижительной подстанции, моделируемая в эксперименте.

Защита минимального напряжения и устройство АВР моделируются на компьютере с помощью специальной программы. Пуск устройства АВР происходит в случае исчезновения (снижения до значения уставки) напряжения на шинах подстанции.

Указание по технике безопасности:

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

Указания по выполнению лабораторной работы:

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соберите схему тепловой защиты машины переменного тока (стр. 7).
- Соедините гнезда защитного заземления устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «РЕ» источника G1.
- Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений.
- Тумблеры делителей напряжения коннектора A12 установите в положение «1:1» для всех входов, кроме АСН1-АСН9, который установите в положение «1:10». Тумблер выбора режима работы общей точки аналоговых входов коннектора A12 установите в положение «AIGND». Тумблеры выбора режима работы цифровых входов/выходов блока A11 ввода-вывода цифровых сигналов установите в положение «выход» (тумблер вниз) для контактов DIO0...DIO3, в положение «вход» (тумблер вверх) для контактов DIO4...DIO7.
- Переключатели режимов работы трехполюсных выключателей A4 и A8 установите в положение «АВТ.», выключателя A2 – в положение «РУЧН.». Номинальные напряжения обмоток трансформаторов блоков A3 и A6 равными 127/230 В. Параметры линий электропередачи A1 и A5 переключателями установите следующими: $R = 0 \text{ Ом}$, $L/RL=0,3/8$

Гн/Ом, $C1=C2=0$ мкФ. Выберите мощность активной нагрузки А7, например 80% от 50 Вт во всех трех фазах.

- Приведите в рабочее состояние персональный компьютер А13 и запустите прикладную программу «Автоматическое включение резерва».

- Задайте уставки защиты и АВР, нажав на соответствующую виртуальную кнопку. Например, используйте уставки по умолчанию.

- Включите выключатели «СЕТЬ» выключателей А2, А4, А8, блока А11 ввода-вывода цифровых сигналов, указателя частоты вращения Р1.

Включите источник G1. О наличии напряжений на его выходе должны сигнализировать светящиеся светодиоды.

- Включите выключатель А2 нажатием кнопки «ВКЛ» на его передней панели.

- Нажмите на виртуальную кнопку «Запустить» и дождитесь разгона двигателя М1. Смоделируйте исчезновение напряжения, отключив выключатель А2. Защита минимального напряжения должна отключить выключатель А4, после чего устройство АВР должно включить выключатель А8.

- Отключите двигатель М1 нажатием на виртуальную кнопку «Отключить все выключатели».

- Нажмите на виртуальную кнопку «Отобразить записанный процесс» и проанализируйте осциллограммы, а также информацию о последовательности произошедших событий.

- При работе с программой следует пользоваться ее возможностями:

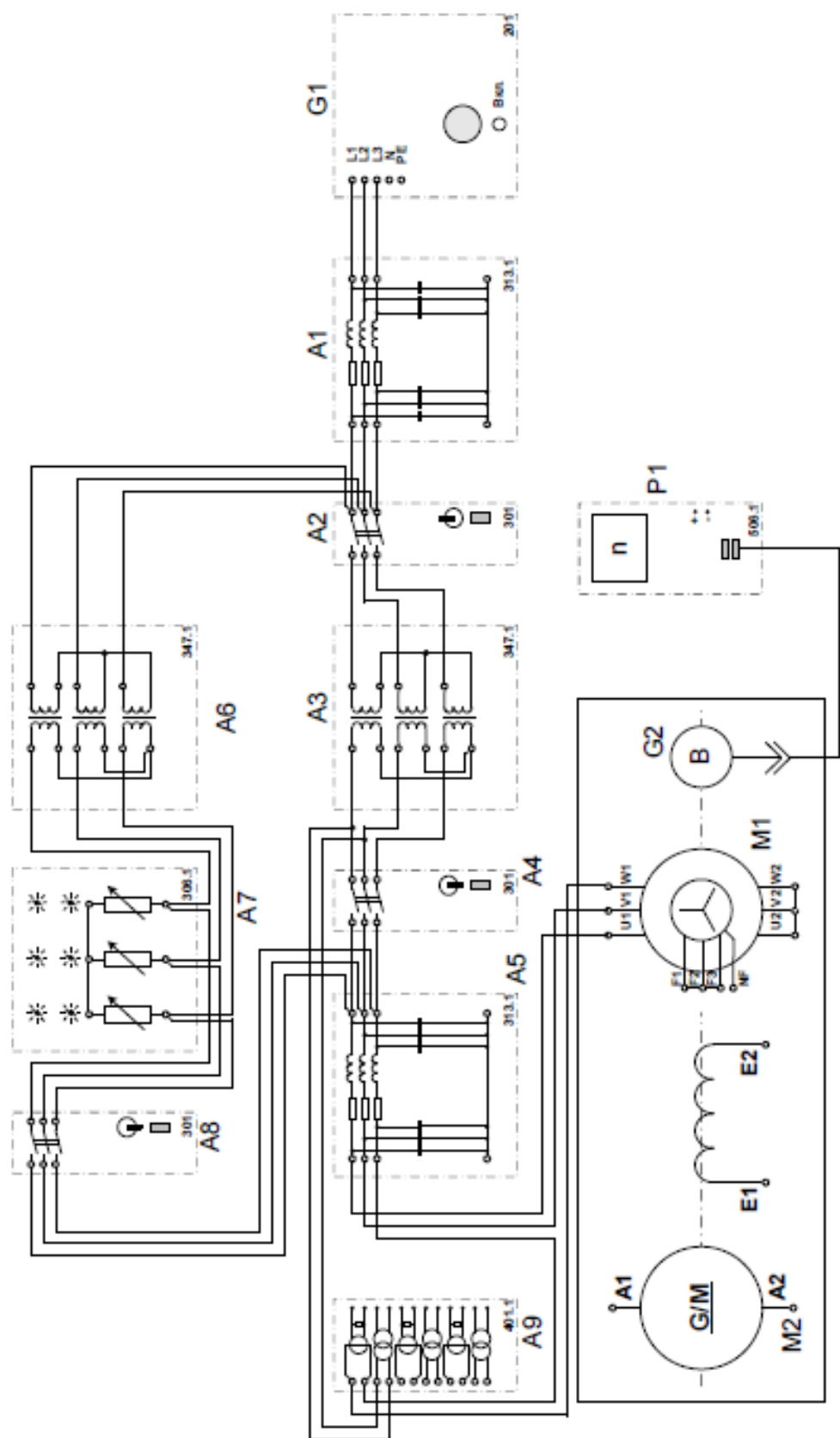
Масштабирование осциллограмм производится путем нажатия на графике левой клавиши мыши и, не отпуская ее, перемещения манипулятора слева направо и сверху вниз. Возврат к начальному масштабу осуществляется обратным перемещением манипулятора – справа налево и снизу-вверх.

- Двигать график осциллограмм относительно осей координат можно путем нажатия и удержания на нем правой кнопки мыши и ее одновременного перемещения в нужную сторону.

- Для удобства определения значений величин по графикам в нижней части экрана отображаются текущие координаты указателя мыши.

- Запись электромагнитных процессов в схеме производится программой в циклический буфер.

- По завершении экспериментов отключите источник G1 и выключатели «СЕТЬ» блоков А2, А4, А8, А11 и Р1.



Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Каким образом можно обеспечить высокую надёжность схемы электроснабжения?
2. Для какой категории потребителей необходимо осуществлять бесперебойное питание и каким образом можно это осуществить?
3. Что необходимо учитывать при проектировании схемы АВР, допускающей включение секционного выключателя?
4. Виды АВР?
5. Основные требования устройств АВР?
6. Принцип действия АВР?
7. Принципы осуществления АВР при разных схемах питания потребителей?
8. АВР секционного выключателя?

Лабораторная работа №4. Устройства АРВ для высокочастотной системы возбуждения и систем возбуждения на основе генераторов постоянного тока.
Автоматическое регулирование частоты вращения синхронного генератора.

Цель работы: Изучить принципы автоматического управления приводным двигателем, особенности автоматического регулирования частоты и активной и мощности в режимах холостого хода и параллельной работы с сетью.

Основы теории:

Автоматическое регулирование частоты и активной мощности (АРЧМ) обеспечивает выполнение баланса активной мощности в энергосистеме в каждый момент времени при относительном постоянстве частоты. При отсутствии устройств АРЧМ баланс активной мощности обеспечивается за счет свойства саморегулирования энергосистемы, которое в основном определяется регулирующим эффектом нагрузки. Так, при дефиците активной мощности, электромагнитный момент нагрузки синхронных генераторов преобладает над вращающим моментом, создаваемым турбинами, в результате чего частота вращения машин снижается, снижается частота напряжения в сети. Поскольку, активная мощность потребителей зависит от частоты питающего напряжения (регулирующий эффект нагрузки), снижение частоты приводит к снижению суммарной мощности потребителей, т. е. к уменьшению величины дефицита активной мощности.

Не трудно заметить, что данный процесс снижения частоты будет продолжаться до тех пор, пока мощность потребителей уменьшится на величину первичного дефицита активной мощности. Баланс мощности будет установлен, но при новой частоте, меньшей чем номинальная. Аналогичная ситуация будет наблюдаться при избытке активной мощности, что приведет к повышению частоты напряжения в сети. Главным недостатком свойства саморегулирования энергосистемы является изменение частоты в широком диапазоне, что недопустимо в соответствии с ГОСТ. Автоматические регуляторы частоты и мощности обеспечивают статическое (или астатическое) регулирование мощности синхронных генераторов при изменении частоты в энергосистеме, таким образом, что при снижении частоты мощность генераторов увеличивается, а при увеличении — снижается. Это приводит к тому, что изменения частоты в энергосистеме при нарушениях баланса мощности, происходит в значительно меньшем диапазоне.

Указание по технике безопасности:

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

Указания по выполнению лабораторной работы:

1) Собрать схему лабораторных испытаний рис.3 (ВСЕ модули стенда должны быть ОТКЛЮЧЕНЫ!). Измерительный канал по току А1 модуля ввода включен последовательно в фазу А силового трансформатора Т2 со стороны сборных шин. Измерительный канал по напряжению А4 модуля ввода-вывода подключен параллельно между фазой А и нейтралью силового трансформатора Т2.

2) Перевести переключатель SA2 режима управления выключателем Q7 (модуль трехфазной сети) в положение «Руч». Переключатель SA2 режима управления выключателем Q3 (модуль синхронизации) перевести в положение «Авт».

3) Перевести переключатель SA1 режима управления модулем возбуждения в положение «Руч». Потенциометр RP1 установить в крайнее левое положение.

4) Перевести переключатель SA2 режима управления модулем частотного преобразователя в положение «Авт». Потенциометр RP1 установить в крайнее левое положение. Переключатель SA1 разрешения работы частотного преобразователя установить в среднее положение.

5) Включить питание стенда. Включить питание модулей: измерителя скорости, синхронизации, трехфазной сети.

6) Включить выключатель Q7 модуля трехфазной сети (кнопка SB1).

7) На персональном компьютере запустить программный комплекс «DeltaProfi» (Пуск – Программы – Лабораторный комплекс – DeltaProfi). Открыть лабораторную работу командой «Работы – Автоматика ЭЭС – Работа №3 Автоматическое регулирование частоты вращения СТ».

8) Запустить программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление – Пуск» или горячей клавишей F5.

9) Подать команду дистанционного включения выключателя приводного двигателя щелчком левой кнопки мыши (ЛКМ) по изображению выключателя Q1 на мнемосхеме.

10) Включить питание модуля возбуждения и плавно увеличивая ток возбуждения выровнять по показаниям вольтметров V1 и V2 напряжения со стороны генератора и со стороны сети.

11) Изменяя значение уставки регулятора по частоте (регулятор «Задание по частоте, об./мин.» в окне настройки параметров АРЧМ) выровнять частоту вращения электромашинного агрегата с частотой в сети.

12) При необходимости, повторить п.11 и п.12 для выравнивания напряжений и частот.

13) По показаниям синхроскопа подать команду дистанционного включения модуля синхронизации (щелчок ЛКМ по изображению выключателя Q3 на мнемосхеме) в момент совпадения векторов по фазе (момент погасания контрольных ламп).

14) Изменяя значение уставки регулятора по мощности (регулятор «Задание по мощности, Вт» в окне настройки параметров АРЧМ) убедиться в ее реальном изменении по показаниям универсального измерителя мощности. ВНИМАНИЕ! Регулирование осуществлять в небольшом диапазоне (не более $0.5P_{ном}$), так как автоматическое регулирование возбуждения в данном случае отсутствует и предел мощности генератора занижен.

15) Проверить работу регулятора при изменении частоты. Для этого, изменяя уставку регулятора по мощности, установить по показаниям измерителя мощности режим выдачи активной мощности в сеть на уровне 70Вт (при этом, значение уставки условно и может не соответствовать действительной мощности, так как регулятор не производит непосредственное измерение мощности и фактическая мощность будет зависеть от регулировочной характеристики электромашинного агрегата). Поскольку, изменить частоту в сети не представляется возможным, предлагается изменять уставку регулятора по частоте. Так, если уставка по частоте равна частоте в сети (1500 об./мин.), реальная мощность генератора определяется уставкой регулятора по мощности. При уставке регулятора по частоте 1400 об./мин. Частота в сети превышает заданную, поэтому АРЧМ снижает мощность генератора в соответствии с заданным коэффициентом статизма по частоте (реальная мощность генератора меньше заданной). При уставке регулятора по частоте 1600 об./мин.

Частота в сети ниже заданной, поэтому АРЧМ повышает мощность генератора в соответствии с заданным коэффициентом статизма по частоте (реальная мощность генератора становится больше заданной). Исследовать (снять зависимость) изменения активной мощности генератора от разности синхронной частоты (частота вращения агрегата при выполненной синхронизации, например, 1487 об./мин.) и частоты уставки в диапазоне от -30 до +30 об./мин. Построить статическую частотную характеристику генератора.

16) Дистанционно отключить генератор от сети щелчком ЛКМ по изображению выключателя Q3 на мнемосхеме. Снизить ток возбуждения генератора до нуля, отключить

17) Отключить питание стенда. Оформить отчет по лабораторной работе.



Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Объясните назначение устройств автоматического регулирования частоты и мощности?
2. В чем разница между статическим и астатическим законом регулирования?
3. Для чего необходимо регулирование мощности с статизмом по частоте?
4. Что такое статическая частотная характеристика генератора?

**Лабораторная работа №5. Автоматическое регулирование уровней
напряжения и потоков реактивной мощности на электростанциях.
Автоматическое регулирование возбуждения синхронного генератора.**

Цель работы: Изучить принципы автоматического регулирования возбуждения синхронных машин, изучить влияние автоматического регулирования возбуждения на предел статической устойчивости синхронного генератора.

Основы теории:

Автоматическое регулирование возбуждения (АРВ) в нормальном режиме обеспечивает поддержание заданного напряжения на выводах синхронного генератора, обеспечивает удобство регулирования напряжения в узлах сети и создания необходимых режимов по перетокам реактивной мощности. В аварийном режиме работы энергосистемы (при близких коротких замыканиях) АРВ обеспечивает повышение статической и динамической устойчивости синхронных генераторов. Принцип действия автоматического регулятора возбуждения основан на изменении тока возбуждения синхронной машины при изменении ее нагрузки. В качестве контролируемых параметров в АРВ используются измерение напряжения и/или тока статорной обмотки синхронного генератора.

Автоматическая система управления (АСУ) с обратной связью по току называется устройством компаундирования возбуждения синхронной машины, а АСУ с обратной связью по напряжению — корректором напряжения. Современные системы АРВ как правило, реализуют и то и другое, кроме того, АРВ также обеспечивает форсировку возбуждения синхронного генератора при близких коротких замыканиях. Различают АРВ пропорционального и сильного действия. В АРВ пропорционального действия управляющее воздействие (изменение тока возбуждения) формируется с учетом отклонения контролируемых параметров, в АРВ сильного действия учитывается также скорость изменения тока и напряжения синхронной машины. В данной лабораторной работе исследуется простейшее АРВ пропорционального действия с обратной связью по напряжению.

Указание по технике безопасности:

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

Указания по выполнению лабораторной работы:

1) Собрать схему лабораторных испытаний рис.3 (ВСЕ модули стенда должны быть ОТКЛЮЧЕНЫ!). Измерительный канал по току А1 модуля ввода включен последовательно в фазу А силового трансформатора Т2 со стороны сборных шин. Измерительный канал по напряжению А4 модуля ввода-вывода подключен параллельно между фазой А и нейтралью силового трансформатора Т2.

2) Перевести переключатели SA2 режима управления выключателями Q3 (модуль синхронизации) и Q7 (модуль трехфазной сети) в положение «Руч».

3) Перевести переключатель SA1 режима управления модулем возбуждения в положение «Авт». Потенциометр RP1 установить в крайнее левое положение.

4) Перевести переключатель SA2 режима управления модулем частотного преобразователя в положение «Руч». Потенциометр RP1 установить в крайнее левое положение. Переключатель SA1 разрешения работы частотного преобразователя установить в среднее положение.

5) Включить питание стенда. Включить питание модулей: измерителя скорости, синхронизации, возбуждения, трехфазной сети.

6) Включить выключатель Q7 модуля трехфазной сети (кнопка SB1).

7) На персональном компьютере запустить программный комплекс «DeltaProfi» (Пуск – Программы – Лабораторный комплекс – DeltaProfi). Открыть лабораторную работу командой «Работы – Автоматика ЭЭС – Работа №4 Автоматическое регулирование возбуждения СГ».

8) Запустить программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление – Пуск» или горячей клавишей F5.

9) Включить модуль частотного преобразователя. Для этого, перевести переключатель SA1 на лицевой панели модуля в положение «Вперед». Изменяя положение потенциометра RP1 установить частоту вращения электромашинного агрегата на уровне 1500 об./мин. (по показаниям измерительного прибора модуля измерителя скорости).

10) Подать команду дистанционного включения выключателя модуля возбуждения щелчком левой кнопки мыши (ЛКМ) по изображению выключателя Q2 на мнемосхеме.

11) Открыть окно настройки параметров АРВ (двойной щелчок ЛКМ по прямоугольнику АРВ на мнемосхеме). Плавно изменяя значение регулятора «Задание по напряжению, В» выровнять напряжение генератора с напряжением сети по показаниям приборов измерительного модуля.

12) При необходимости, скорректировать частоту вращения электромашинного агрегата для достижения допустимой с точки зрения синхронизации частоты скольжения.

13) По показаниям синхроскопа включить выключатель Q3 модуля синхронизации (кнопка SB1 на лицевой панели модуля) в момент совпадения векторов по фазе (момент погасания контрольных ламп).

14) Медленно изменяя положение потенциометра RP1 модуля частотного преобразователя увеличивать величину активной мощности выдаваемой ПК). Определить предел статической устойчивости синхронного генератора (максимальное значение активной мощности, предшествовавшее выпадению генератора из синхронизма) при наличии АРВ.

15) Ресинхронизировать генератор сбросом активной мощности (потенциометр RP1 модуля частотного преобразователя). Снизить мощность синхронного генератора до нуля. Отключить генератор от сети (кнопка SB2 на лицевой панели модуля синхронизации). Отключить возбуждение синхронного генератора (выключатель Q2 на мнемосхеме ПК). Остановить работу программы кнопкой «Стоп».

16) Перевести переключатель режима управления модулем возбуждения в положение «Руч.». Изменяя ток возбуждения синхронного генератора выровнять напряжение генератора и напряжение сети. Включить выключатель Q3 модуля синхронизации с контролем условий синхронизма (включение в момент погасания сигнальных ламп модуля синхронизации). Медленно увеличивая мощность синхронного генератора (потенциометр RP1 на лицевой панели модуля частотного

преобразователя) определить предел статической устойчивости генератора при отсутствии АРВ. Ресинхронизировать генератор с сетью, снизить активную мощность до нуля, отключить генератор от сети, снять ток возбуждения, остановить приводной двигатель.

17) Отключить питание стенда. Оформить отчет по лабораторной работе.

Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Объясните назначение устройств автоматического регулирования возбуждения?
2. В чем разница между АРВ пропорционального и сильного действия?
3. Как влияет наличие АРВ на статическую устойчивость синхронного генератора?
4. Как влияет наличие АРВ на динамическую устойчивость синхронного генератора?

Лабораторная работа №6. Современные требования по организации регулирования режима работы по частоте и активной мощности. Автоматическая синхронизация генератора с сетью.

Цель работы: Изучить принцип действия устройства точной автоматической синхронизации генератора с сетью.

Основы теории:

Устройства точной автоматической синхронизации генераторов получили широкое распространение, так как:

- 1) позволяют избежать аварийных ситуаций, вызванных ошибочными действиями оперативного персонала при ручной синхронизации;
- 2) обеспечивают более быстрое включение генератора в сеть;
- 3) обеспечивают более точное выполнение условий синхронизации, что позволяет включать генераторы в сеть без бросков уравнительного тока и синхронных качаний.

Как правило, автоматические синхронизаторы обеспечивают не только контроль условий синхронизации, но и формируют управляющие воздействия на изменение уставок автоматического регулятора возбуждения (АРВ) и автоматического регулятора частоты вращения (АРЧВ) синхронного генератора для автоматической подгонки частоты и напряжения генератора.

Точная синхронизация выполняется при соблюдении трех условий синхронизации:

- 1) разность частот вращения синхронного генератора и частоты в сети должна быть в допустимом диапазоне;
- 2) разность напряжений со стороны генератора и сети не должна превышать допустимого значения;
- 3) угол между векторами напряжений одноименных фаз выключателя на котором осуществляется синхронизация должен быть равен нулю в момент включения генератора в сеть.

Контроль всех трех условий синхронизации осуществляется по одному параметру, а именно, огибающей напряжения скольжения (напряжение между полюсами одноименных фаз выключателя на котором осуществляется синхронизация). Так, длительность периода изменения огибающей напряжения скольжения обратно-пропорциональна разности частот вращения генератора и сети. Минимум огибающей напряжения скольжения определяет разность напряжений генератора и сети по величине (при снижении огибающей до нуля напряжения генератора и сети равны). Момент совпадения векторов напряжений

одноименных фаз по фазе соответствует моменту перехода огибающей напряжения скольжения через минимум. Поскольку, выключатель на котором осуществляется синхронизация обладает собственным временем включения (т. е. является инерционным элементом) команда на включение выключателя подается с некоторым опережением.

В этой ситуации возможна реализация автоматических синхронизаторов двумя способами:

- 1) синхронизатор с постоянным углом опережения включения;
- 2) синхронизатор с постоянным временем опережения включения.

Синхронизатор с постоянным углом опережения включения реализуется наиболее просто, так как команда на включение формируется в момент времени, когда угол между векторами напряжений одноименных фаз снижается до заранее заданной уставки. Так как величина угла между векторами соответствует величине напряжения скольжения, фактически сравнивается текущее значение напряжения скольжения с напряжением опережения включения, являющемся уставкой автоматического синхронизатора.

Недостатком такого синхронизатора является его ограниченная точность, так как время опережения включения будет зависеть от разности частот генератора и сети, т. е. включение может сопровождаться небольшими бросками уравнивающего тока.

Синхронизатор с постоянным временем опережения включения обеспечивает большую точность, так как команда на включение выключателя формируется с углом опережения включения, рассчитанным по текущей разности частот и заданному времени опережения включения. Таким образом, включение всегда происходит в момент совпадения векторов напряжений по фазе вне зависимости от текущей частоты скольжения.

Недостатком таких синхронизаторов является сложность реализации, требующая применения полупроводниковой или современной микропроцессорной элементной базы. В данной лабораторной работе исследуется синхронизатор с постоянным углом опережения включения.

Формирование управляющих воздействий на автоматическое изменение частоты вращения и напряжения на выводах генератора не предусмотрено.

Указание по технике безопасности:

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

Указания по выполнению лабораторной работы:

1) Собрать схему лабораторных испытаний рис.4 (ВСЕ модули стенда должны быть ОТКЛЮЧЕНЫ!). Измерительный канал по напряжению А6 модуля ввода-вывода подключен на напряжение скольжения синхронного генератора (между полюсами одноименных фаз выключателя модуля синхронизации).

2) Перевести переключатель SA2 режима управления выключателем Q7 (модуль трехфазной сети) в положение «Руч».

3) Перевести переключатель SA2 режима управления выключателем Q3 (модуль синхронизации) в положение «Авт».

4) Перевести переключатель SA1 режима управления модулем возбуждения в положение «Руч». Потенциометр RP1 установить в крайнее левое положение.

5) Перевести переключатель SA2 режима управления модулем частотного преобразователя в положение «Руч». Потенциометр RP1 установить в крайнее левое положение. Переключатель SA1 разрешения работы частотного преобразователя установить в среднее положение.

6) Включить питание стенда. Включить питание модулей: измерителя скорости, синхронизации, трехфазной сети.

7) Включить выключатель Q7 модуля трехфазной сети (кнопка SB1).

8) На персональном компьютере запустить программный комплекс «DeltaProfi» (Пуск – Программы – Лабораторный комплекс – DeltaProfi). Открыть лабораторную работу командой «Работы – Автоматика ЭЭС – Работа №5 Автоматическая синхронизация генератора с сетью».

9) Запустить программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление – Пуск» или горячей клавишей F5.

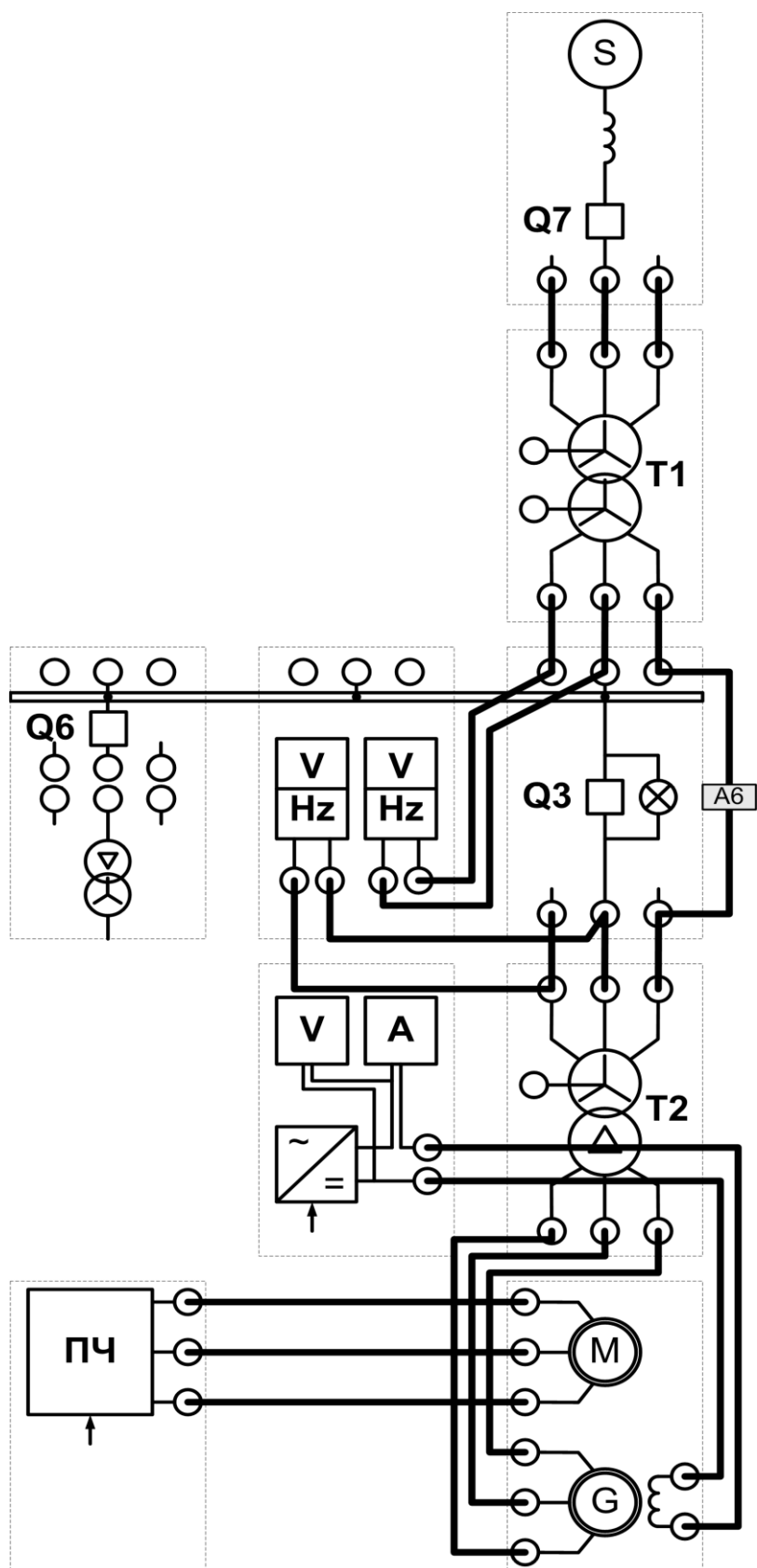
10) Включить модуль частотного преобразователя. Для этого, перевести переключатель SA1 на лицевой панели модуля в положение «Вперед». Изменяя положение потенциометра RP1 установить частоту вращения электромашинного агрегата на уровне 1500 об./мин. (по показаниям измерительного прибора модуля измерителя скорости).

11) Включить питание модуля возбуждения и плавно изменяя положение регулятора RP1 на лицевой панели модуля возбуждения выровнять напряжение генератора с напряжением сети по показаниям приборов измерительного модуля.

12) Изменяя положение потенциометра RP1 модуля частотного преобразователя выровнять частоты вращения генератора и сети.

13) Открыть окно настройки параметров автоматического синхронизатора (двойной щелчок ЛКМ по прямоугольнику ТАС на мнемосхеме ПК). Индикаторы «Разность частот в допустимом диапазоне» и «Разность напряжений в допустимом диапазоне» в группе

«Индикация» должны иметь зеленый цвет. Если это не так, необходимо скорректировать значение напряжения и/или частоты вращения генератора регуляторами RP1 на лицевых панелях модуля возбуждения и модуля частотного преобразователя. Обратите внимание, что индикаторы достаточно инерционные (до 20с), поэтому регулирование необходимо осуществлять очень медленно.



14) Подать команду на включение генератора переключением ключа управления SB3 на мнемосхеме ПК в положение «Вкл.». Обратить внимание на то, что реальное включение происходит в момент погасания контрольных ламп модуля синхронизации. Отключить генератор от сети (переключением ключа управления SB3 на мнемосхеме ПК в положение «Откл.»).

15) Повторить предыдущий пункт несколько раз, наблюдая за правильностью включения генератора в сеть по контрольным лампам модуля синхронизации.

16) Проверить контроль автоматическим синхронизатором двух других условий синхронизации. Для этого, изменить напряжение и/или частоту вращения синхронного генератора до тех пор, пока индикатор «Разность частот в допустимом диапазоне» и/или «Разность напряжений в допустимом диапазоне» в группе «Индикация» окна параметров автоматического синхронизатора будет иметь красный цвет и подать команду на включение генератора в сеть (щелчок ЛКМ по изображению выключателя Q3 на мнемосхеме ПК). Выключатель не должен включиться, так как не выполняется одно или несколько условий синхронизации.

Снять команду на включение генератора в сеть (щелчок ЛКМ по изображению выключателя Q3 на мнемосхеме ПК).

17) Снизить ток возбуждения синхронного генератора до нуля и отключить модуль возбуждения. Остановить приводной двигатель переводом переключателя SA1 на лицевой панели модуля частотного преобразователя в нейтральное положение. Остановить работу программы кнопкой «Стоп».

18) Отключить все выключатели. Отключить питание стенда. Оформить отчет по лабораторной работе.

Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Объясните назначение устройств автоматической синхронизации?
2. Перечислите условия точной синхронизации с сетью?
3. Что такое напряжение скольжения?
4. Каким образом контролируются все три условия точной синхронизации по единственному параметру — напряжению скольжения?
5. В чем разница между синхронизатором с постоянным углом опережения включения и постоянным временем опережения включения?
6. Что такое самосинхронизация, когда она применяется?

5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

5.1 Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины

5.1.2 Перечень основной литературы:

1. Карпов, А.Г. Цифровые системы автоматического регулирования: учебное пособие / А.Г. Карпов; Министерство образования и науки Российской Федерации, Томский Государственный Университет Систем Управления и Радиоэлектроники (ТУСУР). – Томск: ТУСУР, 2015. – 216 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=480640>
2. Осинцев, А. А. Локальные устройства противоаварийной автоматики : учебно-методическое пособие / А. А. Осинцев. — Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2019. — 68 с. — ISBN 978-5-7782-3838-1. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/99186.html>

5.1.3 Перечень дополнительной литературы:

1. Шойко, В.П. Автоматическое регулирование в электрических системах : учебное пособие / В.П. Шойко. — Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2012. — 195 с. — Режим доступа: по подписке. — URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=228798>
2. Автоматика управления режимами электроэнергетических систем : учебное пособие / составители А. Н. Козлов. — 2-е изд. — Благовещенск : Амурский государственный университет, 2017. — 64 с. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/103838.html>

5.2 Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

1. Методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Системная автоматика и автоматическое регулирование в электроэнергетических системах».
2. Методические указания по выполнению расчетно-графических работы по дисциплине «Системная автоматика и автоматическое регулирование в электроэнергетических системах».

3. Методические указания по организации и проведению самостоятельной работы по дисциплине «Системная автоматика и автоматическое регулирование в электроэнергетических системах».

5.3 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины

1. <http://www.biblioclub.ru> -ЭБС "Университетская библиотека онлайн"
2. <http://www.iprbookshop.ru/> - Электронно- библиотечная система IPRbooks

Указание по технике безопасности

До начала работы студенты обязаны изучить правила техники безопасности при работе с электроустановками. Об изучении правил техники безопасности и получении инструктажа студенты расписываются в специальном журнале. Студенты, не изучившие правила техники безопасности и не прошедшие инструктаж, к выполнению лабораторных работ не допускаются.

Учебная группа (или подгруппа) разбивается на бригады, число которых указывается преподавателем, а состав бригад комплектуется студентами на добровольных началах. Список группы (подгруппы), разбитой на бригады, староста предоставляет преподавателю, ведущему лабораторные занятия.

Каждая из бригад выполняет лабораторную работу в соответствии с графиком, находящемся в лаборатории.

Перед каждым занятием студент обязан подготовиться к выполнению лабораторной работы по данному методическому пособию и рекомендуемой литературе. Перед началом работы преподаватель проверяет знания студентов по содержанию выполняемой работы. Плохо подготовленные студенты к выполнению лабораторной работы не допускаются.

Работая в лаборатории, необходимо соблюдать следующие правила:

К выполнению лабораторной работы следует приступать только после полного уяснения ее содержания и получения допуска к ней.

2. Начинать работу следует с ознакомления с приборами и оборудованием, применяемыми в данной работе.

3. На лабораторном столе должны находиться только предметы, необходимые для выполнения данной работы.

4. Расположение аппаратуры на рабочем столе должно быть таким, чтобы схема соединений получилась наиболее простой, наглядной и работа с аппаратурой была удобной.

5. Желательно, чтобы схему собирал один из членов бригады, а другие контролировали.

6. При сборке сложных схем следует вначале соединить главную, последовательную цепь, начиная сборку от одного зажима источника тока и заканчивая на другом, а затем уже подключить параллельные цепи.

7. После того, как схема будет собрана, необходимо убедиться в правильной установке движков реостатов, автотрансформаторов и рукояток других регулирующих устройств.

8. Собранная схема обязательно должна быть проверена преподавателем или старшим лаборантом и только с их разрешения может быть включена под напряжение.

9. При включении схемы особое внимание следует обратить на показания амперметров и других измерительных приборов. В случае резкого движения стрелки амперметра к концу шкалы схему необходимо немедленно отключить от источника напряжения.

10. Необходимо бережно относиться к аппаратуре, используемой в работе. Обо всех замеченных неисправностях или повреждениях студент должен немедленно сообщить преподавателю или лаборанту.

11. После выполнения работы студент обязан, не разбирая схемы показать полученные данные преподавателю. Если результаты измерений верны, то преподаватель их подписывает. Эксперимент с неправильными результатами следует повторить.

12. Схему следует разбирать только после ее отключения от сети.

13. Категорически запрещается:

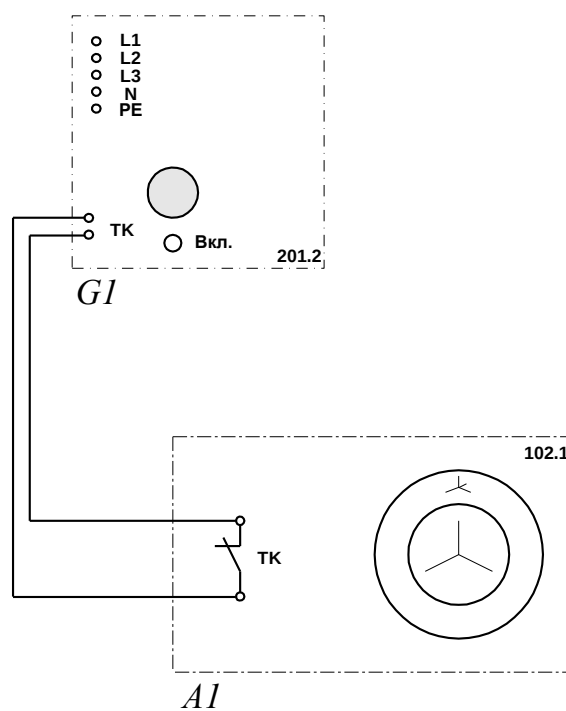
- трогать руками оголенные провода и части приборов, находящиеся под напряжением, даже если оно невелико;
- производить изменения в схеме при подключенном источнике питания;
- заменять или брать оборудование, или приборы с других рабочих мест
- без разрешения преподавателя или лаборанта;
- отходить от приборов и машин, находящихся под напряжением или оставлять схему под напряжением при обработке результатов измерений;
- перегружать приборы током или напряжением, превышающим номинальное значение.

Проверку наличия, подаваемого к схеме или элементам схемы напряжения необходимо производить только контрольной лампочкой или вольтметром, соблюдая правила техники безопасности.

При работе в лаборатории следует строго соблюдать меры предосторожности, так как электрический ток, проходящий через тело человека, величиной в 0,025 А уже является опасным для жизни.

Приложение Б

Электрическая схема соединений тепловой защиты машины переменного тока



Перечень аппаратуры:

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
A1	Машина переменного тока	102.1	100 Вт / 230 В ~ / 1500 мин ⁻¹
G1	Трехфазный источник питания	201.2	400 В ~ / 16 А

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Пятигорский институт (филиал) СКФУ

Методические указания
по выполнению расчетно-графической работы
по дисциплине «СИСТЕМНАЯ АВТОМАТИКА И АВТОМАТИЧЕСКОЕ
РЕГУЛИРОВАНИЕ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ»
для студентов направления подготовки
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Пятигорск 2026 г.

Содержание

№ п/п		Стр.
	Введение	
1.	Цель, задачи и реализуемые компетенции дисциплины	
2.	Формулировка задания и ее объем	
3.	Общие требования к написанию и оформлению работы	
4.	Рекомендации по выполнению задания	
5.	План-график выполнения задания	
6.	Критерии оценивания работы	
7.	Порядок защиты работы	
8	Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины	
8.1	Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины	
8.2	Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине	
8.3	Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины	

Введение

Одним из основных видов занятий по курсу дисциплины «Системная автоматика и автоматическое регулирование в электроэнергетических системах» является выполнение контрольной работы. Предлагаемые в методическом указании задания охватывают весь основной материал курса и соответствуют утвержденной программе.

1. Цель, задачи и реализуемые компетенции дисциплины

Целью дисциплины «Системная автоматика и автоматическое регулирование в электроэнергетических системах» является изучение основных устройств автоматического управления в электроэнергетических системах: автоматика синхронизации синхронных машин, автоматика повторного включения, автоматика включения резервного питания, автоматика частотной разгрузки, автоматика регулирования напряжения и реактивной мощности в энергосистеме, автоматика регулирования частоты и активной мощности, противоаварийная режимная автоматика специального назначения..

Задачи изучения дисциплины:

- изучение принципов построения алгоритмов подсистем автоматики электрических станций и подстанций как составных частей электроэнергетических систем, схем, основного оборудования и устройств автоматики электрических станций и подстанций, цепей контроля и управления электроустановок;
- освоение методов расчета параметров и выбора оборудования, устройств и комплексов автоматики электрических станций и подстанций;
- освоение методов оптимизации режимов работы электроэнергетических систем (электростанций и подстанций), методов управления технологическими процессами производства, передачи и распределения электроэнергии;
- изучение структуры специализированного программного обеспечения для разработки АСУ электротехническим оборудованием.

При выполнении контрольной работы реализуются следующий перечень планируемых результатов обучения по дисциплине

Код, формулировка компетенции	Код, формулировка индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов
ПК-2 Способен анализировать режимы работы систем электроснабжения объектов	ИД-1 _{ПК-2} Рассчитывает параметры электрооборудования систем электроснабжения	Знает общие сведения об АСУ ТП, функции, состав и структура АСУ ТП, особенности построения и функционирования систем диспетчерского управления электроэнергетическими системами с помощью мнемосхемы, структуру специализированного программного обеспечения для разработки АСУ

		электротехническим оборудованием, принципы построения автоматики электрических станций и подстанций, элементную базу, характеристики, эксплуатационные требования и регулировочные свойства современных средств автоматики электрических станций и подстанций. Умеет применять электромеханические, электронные и микропроцессорные средства автоматики для контроля значений электрических величин с целью управления электроэнергетическими объектами, выбирать и реализовывать эффективные режимы работы средств автоматики по заданным методикам, выбрать и рассчитать устройства автоматики для отдельных элементов энергосистемы. Владеет методами расчета параметров и характеристик средств автоматики электроэнергетических систем, методами разработки технического и программного обеспечения АСУ электростанций и подстанций, навыками проведения стандартных испытаний и регулировки автоматики электроэнергетических систем
--	--	--

2. Формулировка задания и ее объем

Задание №1

Определить основные характеристики автоматической точной синхронизации и динамические воздействия на СГ при включении на параллельную работу.

Таблица 1 – Варианты заданий

№ варианта	Тип генератора
1	ТВФ-63-2
2	ТВФ-110-2
3	ТВВ-160-2
4	ТГВ-200
5	ТГВ-500-4
6	ТВМ-300
7	ТВВ-1000-4
8	СГК2-538/160-70
9	СВ-712/227-24
10	СВО-733/130-36
11	СВФ-1285/275-42
12	СВФ-1690/175-64
13	СВО-1170/190-36
14	СВ-1070/145-52
15	ВГС-1190/215-48

Задание №2

Для системы, изображенной на рис. 2, определить запас статической устойчивости:

- при отсутствии АРВ;
- при АРВ пропорционального действия;
- при АРВ сильного действия.

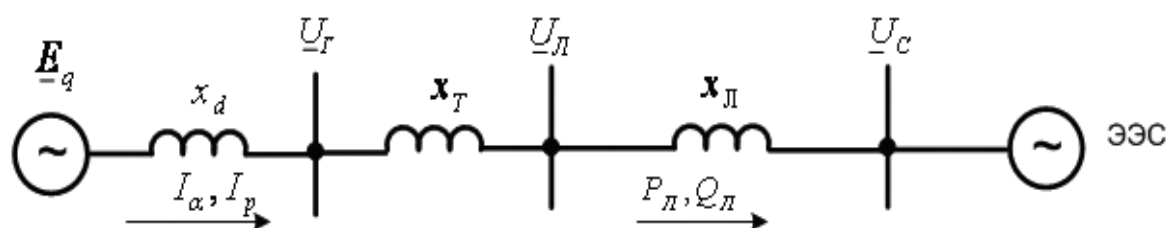


Рисунок 2 – Схема замещения электропередачи

Исходные данные:

Таблица 2 – Варианты заданий

№ варианта	P_L	Q_L	x_d	x'_d	x_T	x_L
1	0,6	0,4	0,9	0,31	0,12	0,45
2	0,61	0,39	1,0	0,33	0,13	0,44
3	0,62	0,38	1,1	0,35	0,14	0,43

4	0,63	0,37	1,2	0,37	0,15	0,42
5	0,64	0,36	1,3	0,39	0,16	0,41
6	0,65	0,35	1,4	0,41	0,17	0,4
7	0,66	0,34	1,5	0,43	0,18	0,39
8	0,67	0,33	1,6	0,44	0,19	0,38
9	0,68	0,32	1,7	0,46	0,2	0,37
10	0,69	0,31	1,8	0,48	0,21	0,36
11	0,7	0,3	1,9	0,5	0,22	0,35
12	0,71	0,29	2,0	0,27	0,23	0,34
13	0,72	0,28	2,1	0,3	0,24	0,33
14	0,73	0,27	2,2	0,36	0,25	0,32
15	0,74	0,26	2,3	0,34	0,26	0,31

Задание №3

В энергосистеме в исходном состоянии соблюдается баланс генерации и потребления при номинальной частоте. Определить изменение частоты в энергосистеме с мощностью нагрузки РНО при возникновении дефицита мощности РДО, если коэффициент регулирующего эффекта нагрузки составляет K_N :

- а) без АЧР;
- б) после действия АЧР-1;
- в) после действия АЧР-1 и АЧР-2.

Таблица 3 – Варианты заданий

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$P_{НО}$, МВт	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	1050
$P_{ДО}$, МВт	70	100	90	75	165	120	260	90	150	240	170	100	140	170	200
K_N ,	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,3	2,4	2,5	2,3	2,1	1,9	1,7	1,5

3. Общие требования к написанию и оформлению работы

Основные требования к работе

При выполнении и оформлении контрольной по ГОСТу надо учитывать общие требования, которые предъявляются к работе:

- студент должен придерживаться заданной тематики;
- запрещено менять тему самостоятельно без обращения к преподавателю;
- при оформлении работы нужно учитывать нормы и ГОСТы;
- контрольная выполняется на основании не менее семи источников, выбранных автором;
- работа должна быть авторской, в ней должны содержаться собственные выводы студента;
- текст контрольной должен иметь объем не менее 7 листов.

Оформление по ГОСТу текста контрольной

Когда работа выполнена, ее необходимо привести в соответствующий вид согласно ГОСТам:

- контрольную набирают в Word или другом текстовом редакторе с аналогичным функционалом;
- при наборе нужно использовать шрифт Times New Roman;
- интервал между строк — полуторный;
- размер шрифта — 14;
- текст выравнивается по ширине;
- в тексте делают красные строки с отступом в 12,5 мм;
- нижнее и верхнее поля страницы должны иметь отступ в 20 мм;
- слева отступ составляет 30 мм, справа — 15 мм;
- контрольная всегда нумеруется с первого листа, но на титульном листе номер не ставят;
- номер страницы в работе всегда выставляется в верхнем правом углу;
- заголовки работы оформляются жирным шрифтом;
- в конце заголовков точка не предусмотрена;
- заголовки набираются прописными буквами;
- все пункты и разделы в работе должны быть пронумерованы арабскими цифрами;
- названия разделов размещаются посередине строки, подразделы — с левого края;
- работа распечатывается в принтере на листах А4;

– текст должен располагаться только на одной стороне листа.

Работа имеет такую структуру:

1. Титульный лист;
2. Оглавление и введение;
3. Основной текст и расчет контрольной;
4. Заключительная часть работы;
5. Перечень использованной литературы и источников;
6. Дополнения и приложения.

Если в работе есть приложения, о них надо упоминать в оглавлении.

Ссылки нумеруются арабскими цифрами, при этом учитывают структуру работы (разделы и подразделы).

4. Рекомендации по выполнению задания

Указание к решению задачи №1

Назначение.

Выполнение без участия человека операций по включению синхронных генераторов (СГ) на параллельную работу с синхронно вращающимися генераторами электростанций и электроэнергетической системы (ЭЭС) для исключения последствий возможных ошибок оператора и ограничения воздействий на СГ допустимыми значениями, предотвращающими повреждение или преждевременный износ.

Условия включения.

Идеальные условия включения СГ заключаются в выполнении следующих требований:

частота генератора ω_g и сети ω_c равны:

$$\omega_g = \omega_c$$

ЭДС генератора E_g и системы E_c равны по амплитуде и фазе:

$$E_g = E_c \text{ или } \Delta U = E_g - E_c = 0;$$

чередование фаз генератора и системы одинаково.

В таких условиях СГ не испытывает динамических воздействий со стороны системы. На практике допускаются отклонения от идеальных условий, что вызывает толчки тока включения и электромагнитного момента на валу СГ. Поэтому операция включения на параллельную работу является ответственной, требующей расчета и соблюдения допустимых условий выполнения.

Способы включения. Различают два вида автоматического включения СГ:

- автоматическая точная синхронизация (АТС);
- автоматическая самосинхронизация (АСС).

При АТС специальным устройством – автоматическим синхронизатором – условия включения максимально приближаются к идеальным. После этого автоматически выбирается момент подачи команды на включение таким образом, чтобы сдвиг фаз напряжений (угловая ошибка синхронизации) в момент замыкания выключателя не превосходил расчетного значения. АТС является нормальным способом включения СГ на всех электростанциях.

При АСС генератор разворачивается до разности частот 1,0–1,5 Гц и включается невозбужденным (практически при отсутствии ЭДС ЕГ). Затем автоматически подается возбуждение и нарастающим синхронизирующим моментом втягивается в синхронизм за время 1,0–2,0 с после нескольких циклов асинхронного хода. Самосинхронизация требует

значительно меньше времени, чем точная синхронизация, но сопровождается появлением переходных токов, в несколько раз превышающих номинальный ток СГ. Обычно АСС применяется, когда бросок тока не превышает $3,5 \cdot I_{ном}$, и только для ускоренного пуска резервных гидрогенераторов при понижениях частоты.

Динамические воздействия на СГ при включении на параллельную работу. На рис. 1 приведены схемы замещения и векторная диаграмма для случая включения СГ с углом δ_B при равенстве ЭДС генератора и системы

$$E_G = E_q'' = E_C = E.$$

В момент включения в контуре СГ–система возникает напряжение

$$\Delta U = 2 * E * \sin(\delta_B/2)$$

которое вызывает бросок тока включения.

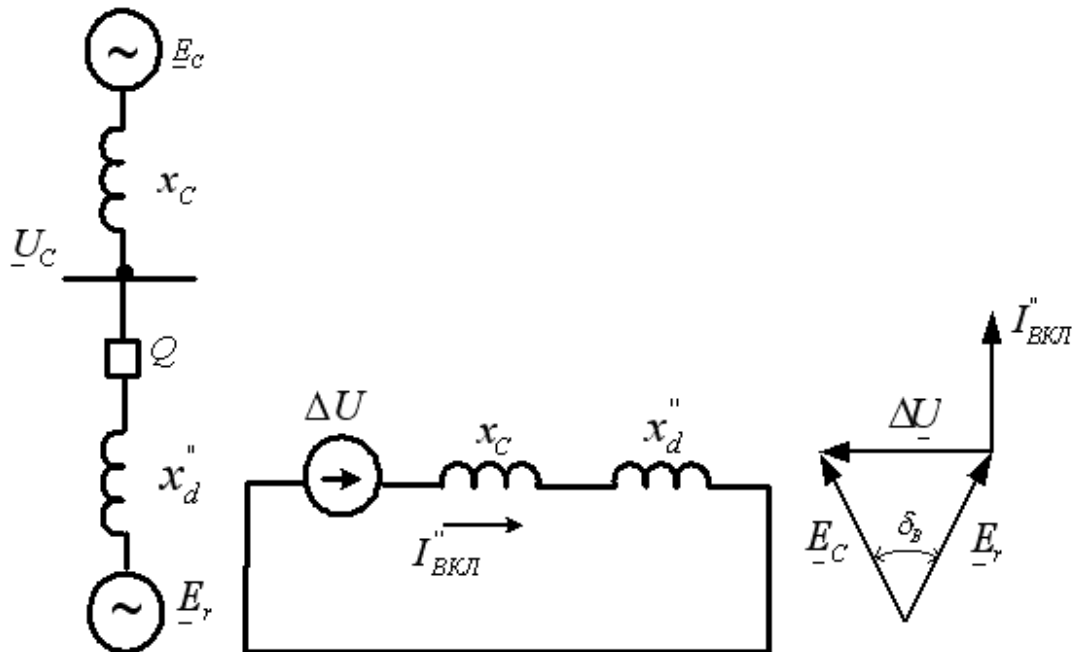


Рисунок 26 – Схемы замещения и векторная диаграмма включения возбужденного СГ

Начальное действующее значение периодической составляющей тока включения равно при допущении $x_d'' = x_q''$

$$I''_{BKL} = \frac{2 * E * \sin(\delta_B/2)}{x_d'' + x_q''}$$

где x_d'' , x_q'' – сверхпереходное сопротивление генератора и сопротивление системы соответственно, приведенные к мощности генератора.

Ток $I''_{\text{вкл}}$ оказывает динамическое воздействие на обмотки статора СГ. Возникающий при включении СГ ударный электромагнитный момент составит в пренебрежении скольжением и затуханием свободных токов статора и ротора.

$$M_{\text{max}} = \frac{E^2}{x_d'' + x_q} * (\sin \delta_B + 2 * \sin \delta_B / 2)$$

Наибольшее значение максимального момента имеет место при включении с углом $\delta_B = \pm 120^\circ$ для турбогенераторов и $\delta_B = \pm 135^\circ$ для гидрогенераторов.

Допустимость включения с данным углом δ_B и суммарным сопротивлением $(x_d'' + x_q)$ проверяется сопоставлением тока включения и электромагнитного момента на валу с максимальными значениями этих величин при трехфазном КЗ на выводах генератора при ЭДС $E_q'' = 1.05$.

Начальное значение периодической составляющей тока КЗ на выводах генератора

$$I_k'' = 1.05 / x_d''$$

Максимальное значение электромагнитного момента на валу СГ наступает в первом полупериоде после возникновения КЗ при $\omega r t = \pi/2$ и равно

$$M_{K\text{max}} = (1.05)^2 / x_d''$$

Условия допустимости включения СГ на параллельную работу определяются максимально допустимыми значениями $I''_{\text{доп}}$ тока включения и $M_{\text{доп}}$ электромагнитного момента

$$I''_{\text{доп}} = \frac{I_k''}{K_I} = \frac{1.05}{K_I * x_d''}$$

$$M_{\text{доп}} = \frac{M_{K\text{max}}}{K_M} = \frac{(1.05)^2}{K_M * x_d''}$$

где K_I , K_M – коэффициенты запаса по току и моменту, величина которых больше единицы.

Т. е. воздействие электромагнитного момента, является более жестким для СГ и поэтому определяющим, поскольку при данном значении K_M значение K_I всегда оказывается больше. Значение коэффициента запаса по моменту обычно выбирается в диапазоне $K_M = 1,4-4,0$. Большее значение K_M следует принимать для нормальных, а меньшее – для аварийных включений.

Включение СГ по способу самосинхронизации в первый момент эквивалентно КЗ за сопротивлением x_d'' и сопровождается током включения

$$I''_{\text{вкл}} = \frac{E_c}{x_d'' + x_q} \leq I_k''$$

Без учета затухания апериодических токов и скольжения максимальный электромагнитный момент равен

$$M_{max} \cong 2 * M_{Kmax} * \frac{x_d''}{x_d + x_c} * (1 - \frac{x_d'' + x_q}{x_q'' + x_c})$$

и имеет место при включении с углами $\delta_B = \pi(2n - 1 + 4s)/4$, где n – целое положительное число; s – скольжение.

Момент включения меньше момента при КЗ, поскольку всегда выполняется неравенство

$$\frac{x_d''}{x_d + x_c} * (1 - \frac{x_d'' + x_q}{x_q'' + x_c}) \leq 0.5$$

Поэтому в качестве расчетно-экспериментального критерия допустимости самосинхронизации используется соотношение

$$I_{вкл}'' = \frac{E_c}{x_d'' + x_q} \leq 3.5$$

Автоматическая точная синхронизация. Процедура АТС характеризуется следующими основными параметрами:

- угол опережения $\delta_{оп}$, равный разности фаз ЭДС генератора и напряжения системы в момент подачи команды на включение выключателя;
- время опережения $t_{оп} = \delta_{оп}/\omega_s$ момента совпадения фаз ЭДС генератора и напряжения системы;
- угловая частота скольжения $\omega_s = \omega_G - \omega_C$, равная разности угловых частот генератора и системы;
- время включения t_B , равное сумме времен включения выключателя и реле управления выключателем;
- угол поворота $\delta_P = \omega_s t_B$ вектора ЭДС генератора за время от момента подачи команды на включение выключателя до момента замыкания контактов;
- угловая ошибка синхронизации $\delta_{ош} = \delta_P - \delta_{оп}$;
- максимально допустимые значения угловой ошибки синхронизации $\delta_{ош\max}$, угловой частоты скольжения $\omega_{с\max}$, тока включения $I_{доп}''$ и электромагнитного момента $M_{доп}$.

Расчет АТС. Расчет проводится для определения максимально допустимых значений угловой ошибки синхронизации $\delta_{ош\max}$ и угловой частоты скольжения $\omega_{с\max}$. В качестве исходных данных принимаются значения ЭДС генератора и системы $E_G = E_q'' = E_c = 1$, сопротивления генератора (x_d'') и системы (x_c).

1. Максимально допустимые значения угловой ошибки синхронизации определяются с помощью выражений:

$$\delta_{\text{ОШмд}} = I_{\text{доп}}'' * (x_q'' + x_c),$$

$$\delta_{\text{ОШмд}} = 0,275 * \frac{x_q'' + x_c}{x_q''}$$

При $x_q'' \leq 0,275$ (генераторы средней мощности) принимается $I_{\text{доп}}'' = 1$, и для расчета максимально допустимого значения угловой ошибки синхронизации необходимо использовать выражение (1.10).

При $x_q'' \leq 0,275$ (мощные генераторы) коэффициент запаса по моменту принимается $K_M = 2$, и для расчета максимально допустимого значения угловой ошибки синхронизации необходимо использовать выражение (1.11).

2. Максимально допустимое значение угловой частоты скольжения $\omega_{\text{смд}}$ при синхронизации с постоянным углом опережения $\delta_{\text{оп}} = \text{const}$.

В этом случае включение с нулевой ошибкой возможно только при скольжении

$$\omega_{\text{ст.в.}} = \frac{\delta_{\text{оп}}}{t_B}$$

которое называют скольжением точного включения.

Для реализации данного вида синхронизации угол опережения выбирается $\delta_{\text{оп}} = \delta_{\text{ОШмд}}$, а максимально допустимое значение угловой частоты скольжения равным $\omega_{\text{смд}} = 2 * \omega_{\text{ст.в}}$

В настоящее время синхронизация с постоянным углом опережения применяется только в устройствах АПВ линий с двухсторонним питанием.

3. Максимально допустимое значение угловой частоты скольжения $\omega_{\text{смд}}$ при синхронизации с постоянным временем опережения $t_{\text{оп}} = \text{const}$. В этом случае угол опережения вычисляется по выражению.

$$\delta_{\text{оп}} = \omega_s * t_B + \frac{d\omega_s}{dt} * \frac{t_B^2}{2}$$

при этом осуществляется включение теоретически без угловой ошибки при любых значениях угловой частоты скольжения ω_s .

В действительности из-за разброса Δt_B времени включения выключателя и аппаратурных погрешностей устройства АТС в задании угла $\Delta \delta_{\text{оп}}$ и времени $\Delta t_{\text{оп}}$ опережения возникает угловая погрешность

$$\delta_{\Sigma} = \Delta \delta_{\text{оп}} + \omega_s * (\Delta t_B + \Delta t_{\text{оп}})$$

Тогда максимально допустимая угловая частота скольжения определится из выражения (1.14) при $\delta_{\Sigma} = \delta_{\text{ОШмд}}$ и $\omega_s = \omega_{\text{смд}}$.

$$\omega_{\text{смп}} = \frac{\delta_{\text{ошмп}} - \Delta\delta_{\text{оп}}}{t_B * (\Delta t_B^* + \Delta t_{\text{оп}}^*)}$$

где $\Delta t_B^* = \Delta t_B / t_B$, $\Delta t_{\text{оп}}^* = \Delta t_{\text{оп}} / t_B$ – относительные значения разброса времени включения выключателя и погрешности определения времени опережения.

Указание к решению задачи №2

Основные задачи автоматического регулирования возбуждения (АРВ), напряжения и реактивной мощности СГ

- повышение статической устойчивости электропередач в нормальных режимах работы;
- повышение динамической устойчивости электроэнергетической системы в аварийных режимах;
- обеспечение рациональных потоков реактивной мощности в процессе передачи электрической энергии от электрических станций к потребителям;
- обеспечение требуемого уровня напряжения у потребителей.

Характеристики мощности СГ. Необходимость автоматического регулирования напряжения и реактивной мощности обусловлена особенностями процесса производства и распределения электрической энергии (рис. 2).

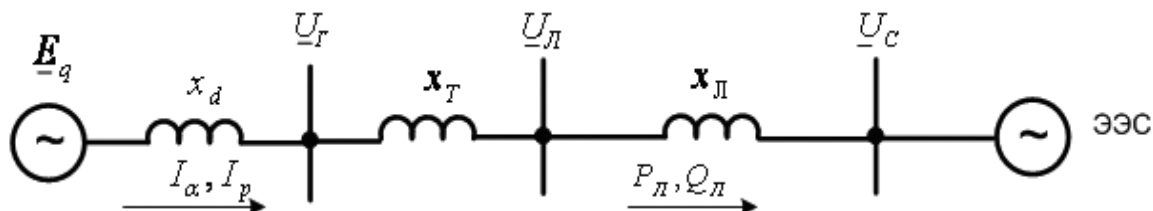


Рисунок 27 – Схема замещения электропередачи

Ток возбуждения определяет ЭДС генератора E_q , напряжение на шинах генератора $U_Г$, напряжение линии $U_Л$, электроэнергетической системы $U_С$, которые связаны между собой отношениями

$$E_q = \sqrt{(U_Г + I_p x_d)^2 + (I_a x_d)^2}$$

$$U_Г = \sqrt{(U_Л + I_p x_T)^2 + (I_a x_T)^2}$$

$$\underline{U}_Л = \underline{U}_С + I_p x_Л + j I_a x_Л = \underline{U}_С + \frac{Q_Л}{U_С x_Л} + j \frac{P_Л}{U_С x_Л}$$

где I_a, I_p – активная и реактивная составляющие тока СГ; P_L, Q_L – активная и реактивная мощности в линии; x_d – продольное синхронное индуктивное сопротивление СГ; x_T, x_L – индуктивные сопротивления трансформатора и линии.

При отсутствии автоматического регулирования возбуждения ЭДС генератора $E_q = const$ активная P_Γ и реактивная Q_Γ мощности генератора определяются выражениями

$$P_\Gamma = \frac{E_q * U_c}{x_d + x_c} * \sin \delta$$

$$Q_\Gamma = \frac{E_q * U_c}{x_d + x_c} * \cos \delta - \frac{U_c^2}{x_d + x_c}$$

где $x_c = x_T + x_L$, $\delta = (E_q, U_c)$ – угол сдвига вектора ЭДС $\underline{E_q}$, относительно вектора напряжения системы $\underline{U_c}$.

Наибольшее значение передаваемой активной мощности достигается при угле $\delta = \pi/2$.

При автоматическом регулировании, обеспечивающем неизменность потокоцепления обмотки возбуждения, является неизменной и переходная ЭДС генератора $E' = const$. Активная мощность P_E при этом увеличивается ($P_E \geq P_\Gamma$)

$$P_E = \frac{E' * U_c}{x'_d + x_c} * \sin \delta - \frac{U_c^2 * (x_d - x'_d)}{2 * (x_d + x_c) * (x'_d + x_c)} * \sin 2\delta$$

и достигает наибольшего значения при угле $\delta \geq \pi/2$, которое превышает предельную мощность при отсутствии регулирования возбуждения (здесь x'_d – продольное переходное индуктивное сопротивление СГ)

При автоматическом регулировании тока возбуждения, обеспечивающем неизменность напряжения генератора $U_\Gamma = const$, активная мощность $P_{U\Gamma}$ увеличивается ($P_{U\Gamma} \geq P_E$) и определяется выражением

$$P_{U\Gamma} = \frac{U_\Gamma * U_c}{x_c} * \sin \delta_\Gamma - \frac{U^2 x_d}{2 * x_c (x_d + x_c)} * \sin 2\delta_\Gamma$$

Наибольшая передаваемая мощность наступает при $\delta_\Gamma = (U_\Gamma, U_c) = \pi/2$ и на 50–80% превышает предельную активную мощность СГ при отсутствии АРВ.

Виды автоматического регулирования возбуждения. Рассмотренный результат влияния на пропускную способность и статическую устойчивость электропередач АРВ синхронных генераторов обеспечивается двумя основными видами автоматического регулирования возбуждения:

пропорционального действия (П-действия);

пропорционально-дифференциального действия (ПД-действия или «сильного» действия).

При пропорциональном регулировании управляющее воздействие определяется по отклонению напряжения генератора

$$\Delta U_{\Gamma} = U_{\Gamma} - U_{\Gamma.\text{пр}}$$

от предписанного значения $U_{\Gamma.\text{пр}}$. Внешняя характеристика синхронного генератора $U_{\Gamma}=f(I_{\Gamma})$ при П-регулировании получается наклонной (статической). Коэффициент статизма спрямленной внешней характеристики в номинальном режиме СГ

$$K_{\text{СТ}} = \frac{\Delta U_{\Gamma.\text{ном}}}{U_{\Gamma.\text{ном}}} = \Delta U_{\Gamma.\text{ном}}^*$$

определяет статическую погрешность автоматического регулирования напряжения, т. е. относительное отклонение напряжения $\Delta U_{\Gamma.\text{ном}}^*$. Наличие статической погрешности является принципиальным недостатком П-регулирования, которое используется только в СГ с электромашинными возбудителями.

При пропорционально-дифференциальном регулировании управляющее воздействие формируется как сумма воздействий, одно из которых обусловлено отклонением, а другое скоростью изменения напряжения генератора. В результате статическая погрешность ПД-регулирования значительно меньше, чем при П-регулировании.

АРВ сильного действия (АРВ СД) используется не только для поддержания $U_{\Gamma}=\text{const}$, но и для повышения статической и динамической устойчивости ЭЭС. Основным параметром, от которого зависит устойчивость электропередачи, является, как видно из (2.4) – (2.7), угол δ сдвига фаз между ЭДС E_q генератора и напряжением $\underline{U}_c$ электроэнергетической системы. Однако для определения угла δ необходима передача информации о векторе $\underline{U}_c$ приемного на передающий конец линии.

Системы телемеханики сложны и недостаточно надежны, поэтому угол δ сдвига фаз учитывается косвенно. Для этого в алгоритм АРВ СД вводят:

- отклонение напряжения генератора $\Delta U_{\Gamma} = U_{\Gamma} - U_{\Gamma.\text{пр}}$
- производную напряжения генератора $U'_{\Gamma} = dU_{\Gamma}/dt$
- отклонение частоты f_{Γ} напряжения генератора от синхронной частоты $\Delta f \approx d\delta/dt$;
- производную частоты генератора $f' = df/dt \approx d^2\delta/dt^2$
- производную тока возбуждения генератора $I'_B = dI_B/dt$

В результате регулирующее воздействие $U_{\text{рег}}$ при АРВ СД формируется в виде суммы

$$U_{\text{рег}} = K_u * \Delta U_{\Gamma} + K'_u * U'_{\Gamma} + K_f * \Delta f + K'_f * f' + K'_I * I'_B$$

которую удобнее представить в операторной форме

$$U_{\text{per}}(p) = (K_u + pK'_u) * \Delta U_r(p) + (K_f + pK'_f) * \Delta f(p) + pK'_I * I'_B(p)$$

где K_u – безразмерный коэффициент пропорциональности;

K'_u, K'_f, K'_I – коэффициенты регулятора с размерностью времени.

Сигнал отклонения напряжения ΔU_r необходим для обеспечения практически постоянного напряжения U_r при изменениях тока нагрузки синхронного генератора.

Сигнал производной напряжения U'_r обеспечивает демпфирование колебаний напряжения генератора в переходных процессах и устойчивость функционирования замкнутой системы АРВ в целом, в том числе при холостом ходе генератора.

Сигналы, отражающие изменение и производную частоты совместно с сигналами по производным напряжения и тока возбуждения, а соответственно, и ЭДС генератора, повышают устойчивость замкнутой автоматической системы регулирования, обеспечивая затухание электромеханических переходных процессов.

Виды возбудителей синхронных генераторов. К системам возбуждения СГ предъявляются следующие требования:

- надежное питание обмотки возбуждения в нормальных и аварийных режимах;
- устойчивое регулирование тока возбуждения при изменении нагрузки СГ;
- заданная скорость нарастания тока ротора;
- кратность форсировки по напряжению не менее 2,0 в течение времени, необходимого для восстановления нормального режима после ликвидации аварии.

Основные разновидности систем возбуждения СГ, используемых в ЭЭС:

- электромашинная система возбуждения, в которой возбудителем является генератор постоянного тока, механически соединенный с валом СГ.

Основным достоинством является автономность питания, поскольку ток возбуждения не зависит от напряжения ЭЭС. Основными недостатками являются низкая надежность и ограниченная пропускная способность по току щеточного коллектора, недостаточное для обеспечения устойчивой работы СГ в ряде режимов быстродействие, поскольку постоянная времени регулирования составляет 0,3–0,5 с. С электромашинными возбудителями постоянного тока возможна реализация только П-регулирования возбуждения СГ мощностью, как правило, до 300 МВт;

- высокочастотная система возбуждения, в которой возбудителем является высокочастотный (400 или 500 Гц) индукторный генератор, механически связанный с валом СГ. Индукторный генератор не имеет коллектора, что повышает надежность работы. Однако по быстродействию высокочастотная система возбуждения аналогична

электромашинной ($\sim 0,4$ с) и применяется обычно в турбогенераторах мощностью до 300 МВт;

– тиристорная система возбуждения, в которой возбудителем является трехфазный мостовой управляемый выпрямитель, подключенный к обмотке возбуждения СГ. Управляемый выпрямитель питается либо от специального синхронного генератора (независимое возбуждение), либо от трансформатора, присоединенного к выводам СГ (самовозбуждение). Тиристорная система возбуждения обеспечивает высокую кратность форсировки возбуждения (до 4) и обладает быстродействием, поскольку постоянная времени регулирования не превышает 0,02–0,04 с. Тиристорная система возбуждения широко используется на турбо- и гидрогенераторах мощностью более 200 МВт и полностью обеспечивает эффективность ПД-регулирования возбуждения;

– бесщеточная система возбуждения, в которой возбудителем является обращенный синхронный генератор (обмотка возбуждения размещена на статоре, обмотки переменного тока – на роторе), механически связанный с валом основного СГ. Питание обмотки возбуждения основного СГ осуществляется без применения контактных колец через вращающийся выпрямитель переменным током роторных обмоток обращенного синхронного генератора. Возбуждение последнего осуществляется от высокочастотного подвозбудителя, механически также связанного с валом основного СГ, через управляемый тиристорный выпрямитель. К недостаткам бесщеточной системы возбуждения следует отнести сложность конструктивного выполнения, а также затруднения с контролем тока и напряжения.

Указание к решению задачи №3

Назначение автоматической частотной разгрузки (АЧР) – автоматическое отключение части нагрузки при снижении частоты ЭЭС из-за аварийного дефицита активной мощности, которое производится для восстановления уровня частоты.

Основные требования, предъявляемые к АЧР:

- максимально быстрая ликвидация возникшего дефицита активной мощности, что достигается отключением нагрузки относительно небольшими дозами по мере снижения частоты;
- предотвращение даже кратковременного, например, в переходном процессе, уменьшения частоты ниже 45 Гц;
- обеспечение быстрого подъема частоты в зону 49,2–50 Гц, в которой дальнейший подъем частоты обеспечивается за счет автоматического частотного пуска резервных гидрогенераторов;

- способность правильного функционирования как при местных, так и при общесистемных дефицитах мощности, которые носят вероятностный характер.

Категории АЧР. Первая категория АЧР-1 предназначена для задержки снижения частоты и предотвращения уменьшения частоты ниже 45 Гц. АЧР-1 состоит из ряда очередей с частотами срабатывания, равномерно распределенными с интервалом 0,1 Гц в диапазоне частот 46,5–49 Гц. Суммарная мощность очередей принимается равной максимально возможному дефициту и распределяется по очередям равномерно.

Вторая категория АЧР-2 имеет ряд очередей с единой уставкой по частоте 49,2, действующих с нарастающими выдержками времени. АЧР-2 обеспечивает подъем частоты выше 49,2 Гц после действий категории АЧР-1.

Третья (дополнительная) категория АЧР используется в энергодефицитных районах, если АЧР-1 не в состоянии предотвратить уменьшение частоты ниже 45 Гц или требуется дополнительно отключить нагрузку для предотвращения лавины частоты.

Частотная статическая характеристика нагрузки. Определяет зависимость мощности нагрузки РН электроэнергетической системы от изменения частоты при постоянстве напряжения (рис. 3). Все известные виды нагрузки ЭЭС описываются выражением:

$$P_H = P_0 + P_1 * \left(\frac{f}{f_{\text{ном}}}\right) + P_2 * \left(\frac{f}{f_{\text{ном}}}\right)^2 + P_3 * \left(\frac{f}{f_{\text{ном}}}\right)^3 + P_4 * \left(\frac{f}{f_{\text{ном}}}\right)^4$$

в котором P_0 учитывает осветительную нагрузку, нагревательные приборы, выпрямительные установки; P_1 учитывает компрессоры, поршневые насосы, мельницы, металлорежущие станки; P_2 учитывает потери в сетях и специальные установки; P_3 – центробежные насосы и вентиляторы при малом статическом напоре; P_4 – то же, но при большом статическом напоре.

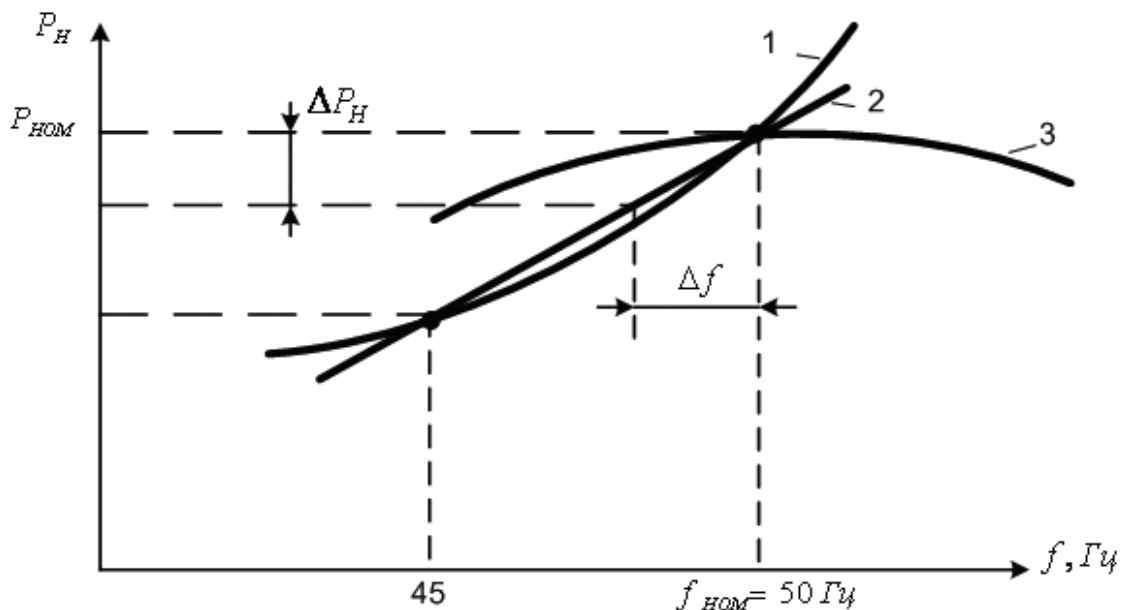


Рисунок 3 – Статическая частотная характеристика нагрузки (1 – истинная; 2 – спрямленная) и генерирующей части ЭЭС (линия 3)

В небольшом диапазоне частот 45–50 Гц частотная характеристика мощности нагрузки может быть спрямлена (линия 2 на рис. 28). Как видно, при понижении частоты мощность нагрузки уменьшается, а при повышении увеличивается. Таким образом, собственно нагрузка действует подобно автоматическому регулятору частоты. Это явление называется регулирующим эффектом нагрузки (РЭН) и оценивается коэффициентом регулирующего эффекта нагрузки по частоте

$$K_H \cong \Delta P / \Delta f$$

который в диапазоне спрямленной части характеристики сохраняет постоянное значение $K_H = const$. По экспериментальным данным, в ЭЭС типовые значения $K_H = 1,5–2,5$.

Статическая частотная характеристика генерирующей части ЭЭС в области 45–50 Гц близка к квадратичной параболе с максимумом при 50 Гц и крутизной меньше крутизны характеристики нагрузки (линия 3 на рис. 3). При отклонениях частоты менее 10% мощность генераторов меняется незначительно, поэтому определяющее значение имеет характеристика нагрузки, которая используется для расчета АЧР.

Динамическая частотная характеристика энергосистемы определяет изменения во времени частоты системы в условиях небаланса мощностей генераторов и нагрузки. В этом случае ЭЭС может рассматриваться как один эквивалентный агрегат с моментом инерции J , равным сумме моментов инерции генераторов и нагрузки. Дифференциальное уравнение движения эквивалентного агрегата в условиях небаланса мощностей генераторов и нагрузки имеет вид

$$J * \frac{d\omega}{dt} = M_{неб} = \frac{P_d}{\omega}$$

где $M_{неб} = M_G - M_{нагр}$ – разность вращающего момента M_G эквивалентного агрегата и момента сопротивления нагрузки $M_{нагр}$; P_d – мощность дефицита; ω – угловая частота вращения эквивалентного агрегата.

В результате решения дифференциального уравнения (3.2) определяется относительное отклонение частоты во времени

$$\Delta f^* = \frac{P_{д0}^*}{K_H} * (1 - e^{-t/T_f})$$

и установившееся отклонение частоты при отсутствии АЧР

$$\Delta f_{\infty} = \frac{P_{до} * f_{ном}}{P_{но} * K_H}$$

Последовательность расчета АЧР

1. Анализ возможных дефицитов мощности $P_{до}$, который должен учитывать:

- для отдельной электростанции – возможность отключения наиболее мощного генератора;
- для энергосистемы – возможность полного отключения наиболее мощной электростанции;
- возможность отключения генерирующей мощности с последующим отключением слабых связей вследствие увеличения передаваемой мощности сверх предела их статической устойчивости.

Расчетный дефицит $P_{до}$ принимается равным максимально возможному.

2. Выбор объема РАЧР категории АЧР-1 следует осуществлять в целях запаса на 5% больше расчетного дефицита мощности.

3. Уставки очередей АЧР-1 по частоте должны размещаться в диапазоне 46,5–49 Гц со ступенью 0,1 Гц и примерно равномерным распределением всего объема АЧР-1 по очередям.

4. Установившееся после действия АЧР-1 значение частоты f_{∞} оценивается с помощью выражения

$$f_{\infty} = \frac{P_{ГО} * f_{ном} - P_{но} * (f_{ном} - K_H * f_{ном} - n_{АЧР} * f_{нач})}{P_{но} * (K_H + n_{АЧР})}$$

$$n_{АЧР} = \frac{P_{АЧР} * f_{ном}}{(f_{нач} - f_{кон}) * P_{но}}$$

где $P_{ГО}$ – генерирующая мощность при номинальной частоте; $n_{АЧР1}$ –регулирующий эффект АЧР-1; $f_{нач}, f_{кон}$ – верхняя и нижняя границы уставок АЧР-1.

5. Объем категории АЧР-2 следует принимать равным 40% объема АЧР-1 при условии раздельного действия АЧР-1 и АЧР-2. Суммарный объем АЧР-1 и АЧР-2 составит

$$\sum P_{АЧР}^* \geq (P_{до}^* + 0,05) + 0,4(P_{до}^* + 0,05) = 1,4P_{до}^* + 0,07$$

При совместном действии АЧР-1 и АЧР-2 суммарный объем должен выбираться в соответствии с выражением

$$\sum P_{АЧР}^* \geq (P_{до}^* + 0,05) + 0,1 = P_{до}^* + 0,15$$

Всем очередям АЧР-2 задается единая уставка по частоте, равная 49,2 Гц. При этом начальная уставка АЧР-2 по времени составляет 5–10 с, а конечная выбирается равной 60 с.

5. План-график выполнения задания

Работа над расчетно-графической работой может быть представлена в виде выполнения следующих этапов:

№ п/п	Наименование этапа	Сроки выполнения
Очная форма обучения		
1.	Получения задания	На первом практическом занятии
2.	Первичная консультация с преподавателем	На первом практическом занятии
3.	Работа с информационными источниками	В течении семестра
4.	Написание контрольной работы	В течении семестра
5.	Предоставление контрольной работы на кафедру	В течении семестра
6.	Защита контрольной работы	На последнем практическом занятии
Заочная форма обучения		
1.	Получения задания	На первом практическом занятии
2.	Первичная консультация с преподавателем	На первом практическом занятии
3.	Работа с информационными источниками	В течении сессии
4.	Написание контрольной работы	В течении сессии
5.	Предоставление контрольной работы на кафедру	В течении сессии
6.	Защита контрольной работы	На последнем практическом занятии

6. Критерии оценивания работы

В целях повышения качества выполняемых расчетно-графических работ преподаватель руководствуется следующими критериями оценивания письменных работ студентов.

Оценка «зачтено (отлично)» выставляется, если студент:

- представил расчетно-графическую работу в установленный срок и оформил ее в строгом соответствии с изложенными требованиями;
- использовал рекомендованную и дополнительную учебную и страноведческую литературу;
- при выполнении упражнений показал высокий уровень знания лексико-грамматического и страноведческого материала по заданной тематике, проявил творческий подход при ответе на вопросы, умение глубоко анализировать проблему и делать обобщающие выводы;
- выполнил работу грамотно с точки зрения поставленной задачи, т.е. без ошибок и недочетов или допустил не более одного недочета.

Оценка «зачтено (хорошо)» выставляется, если студент:

- представил расчетно-графическую работу в установленный срок и оформил ее в соответствии с изложенными требованиями;
- использовал рекомендованную и дополнительную литературу;
- при выполнении упражнений показал хороший уровень знания лексико-грамматического и страноведческого материала по заданной тематике, практически правильно сформулировал ответы на поставленные вопросы, представил общее знание информации по проблеме;
- выполнил работу полностью, но допустил в ней: а) не более одной негрубой ошибки и одного недочета б) или не более двух недочетов.

Оценка «зачтено (удовлетворительно)» выставляется, если студент:

- представил работу в установленный срок, при оформлении работы допустил незначительные отклонения от изложенных требований;
- показал достаточные знания по основным темам контрольной работы;
- использовал рекомендованную литературу;
- выполнил не менее половины работы или допустил в ней а) не более двух грубых ошибок, б) или не более одной грубой ошибки и одного недочета, в) или не более двух-трех негрубых ошибок, г) или одной негрубой ошибки и трех недочетов, д) или при отсутствии ошибок, но при наличии 4-5 недочетов.

Оценка «незачтено (неудовлетворительно)» выставляется:

- когда число ошибок и недочетов превосходит норму, при которой может быть выставлена оценка «зачтено (удовлетворительно)» или если правильно выполнено менее половины работы;
- если студент не приступал к выполнению работы или правильно выполнил не более 10 процентов всех заданий.

7. Порядок защиты работы

Написанная студентом расчетно-графическая работа сдается на кафедру в срок для рецензирования. Студент защищает расчетно-графическую работу до экзамена (зачета) перед преподавателем. Без защиты РГР студент к экзамену (зачету) не допускается.

Работа не допускается к защите, если она не носит самостоятельного характера, списана из литературных источников или у других авторов, если основные вопросы не раскрыты, изложены схематично, фрагментарно, в тексте содержатся ошибки, научный аппарат оформлен неправильно, текст написан небрежно.

В ходе защиты контрольной работы задача студента — показать углубленное понимание вопросов конкретной темы, хорошее владение материалом по теме.

Защита расчетно-графической работы может проходить в различных формах по усмотрению преподавателя:

- в форме индивидуальной беседы студента с руководителем по основным положениям работы;
- в форме индивидуальной защиты в присутствии всей группы студентов;
- в форме групповой защиты – одновременной защиты контрольной работы по одному направлению. В этом случае каждый следит за ходом рассуждений товарищей, дополняет, уточняет их, что, несомненно, усиливает работу мысли и способствует развитию экономического мышления.

Любая форма защиты контрольной работы учит отстаивать свою точку зрения, убедительно аргументировать ее, что способствует перерастанию знаний в убеждения.

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

8.1 Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины

8.1.2 Перечень основной литературы:

1. Карпов, А.Г. Цифровые системы автоматического регулирования: учебное пособие / А.Г. Карпов; Министерство образования и науки Российской Федерации, Томский Государственный Университет Систем Управления и Радиоэлектроники (ТУСУР). – Томск: ТУСУР, 2015. – 216 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=480640>
2. Осинцев, А. А. Локальные устройства противоаварийной автоматики: учебно-методическое пособие / А. А. Осинцев. — Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2019. — 68 с. — ISBN 978-5-7782-3838-1. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/99186.html>

8.1.3 Перечень дополнительной литературы:

1. Шойко, В.П. Автоматическое регулирование в электрических системах : учебное пособие / В.П. Шойко. — Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2012. — 195 с. — Режим доступа: по подписке. — URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=228798>
2. Автоматика управления режимами электроэнергетических систем : учебное пособие / составители А. Н. Козлов. — 2-е изд. — Благовещенск : Амурский государственный университет, 2017. — 64 с. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/103838.html>

8.2 Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

1. Методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Системная автоматика и автоматическое регулирование в электроэнергетических системах».
2. Методические указания по выполнению расчетно-графических работы по дисциплине «Системная автоматика и автоматическое регулирование в электроэнергетических системах».

3. Методические указания по организации и проведению самостоятельной работы по дисциплине «Системная автоматика и автоматическое регулирование в электроэнергетических системах».

8.3 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины

1. <http://www.biblioclub.ru> -ЭБС "Университетская библиотека онлайн"
2. <http://www.iprbookshop.ru/> - Электронно- библиотечная система IPRbooks

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Пятигорский институт (филиал) СКФУ

Методические указания
по организации и проведению самостоятельной работы
по дисциплине «СИСТЕМНАЯ АВТОМАТИКА И АВТОМАТИЧЕСКОЕ
РЕГУЛИРОВАНИЕ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ»
для студентов направления подготовки
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Пятигорск 2026 г.

Содержание

Введение

- 1 Общая характеристика самостоятельной работы обучающегося при изучении дисциплины «Системная автоматика и автоматическое регулирование в электроэнергетических системах»
- 2 План-график выполнения самостоятельной работы
- 3 Контрольные точки и виды отчетности по ним
- 4 Методические рекомендации по изучению теоретического материала
- 5 Методические указания по подготовке к расчетно-графической работе
- 7 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Введение

Самостоятельная работа – планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа студентов, выполняемая во внеаудиторное (аудиторное) время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия (при частичном непосредственном участии преподавателя, оставляющем ведущую роль за работой студентов).

Самостоятельная работа студентов в ВУЗе является важным видом учебной и научной деятельности студента.

Ведущая цель организации и осуществления СРС должна совпадать с целью обучения студента – подготовкой бакалавра с высшим образованием. При организации СРС важным и необходимым условием становятся формирование умения самостоятельной работы для приобретения знаний, навыков и возможности организации учебной и научной деятельности.

Целью самостоятельной работы студентов является овладение фундаментальными знаниями, профессиональными умениями и навыками деятельности по профилю, опытом творческой, исследовательской деятельности. Самостоятельная работа студентов способствует развитию самостоятельности, ответственности и организованности, творческого подхода к решению проблем учебного и профессионального уровня.

Общая характеристика самостоятельной работы обучающегося при изучении дисциплины «Системная автоматика и автоматическое регулирование в электроэнергетических системах»

Самостоятельная работа - планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа студентов, выполняемая во внеаудиторное (аудиторное) время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия (при частичном непосредственном участии преподавателя, оставляющем ведущую роль за работой студентов).

Самостоятельная работа студентов в ВУЗе является важным видом учебной и научной деятельности студента. Самостоятельная работа студентов играет значительную роль в рейтинговой технологии обучения. В связи с этим, обучение в ВУЗе включает в себя две, практически одинаковые по объему и взаимовлиянию части – процесса обучения и процесса самообучения. Поэтому СРС должна стать эффективной и целенаправленной работой студента.

К современному специалисту общество предъявляет достаточно широкий перечень требований, среди которых немаловажное значение имеет наличие у выпускников определенных способностей и умения самостоятельно добывать знания из различных источников, систематизировать полученную информацию, давать оценку конкретной финансовой ситуации. Формирование такого умения происходит в течение всего периода обучения через участие студентов в практических занятиях, выполнение контрольных заданий и тестов, написание курсовых и выпускных квалификационных работ. При этом самостоятельная работа студентов играет решающую роль в ходе всего учебного процесса.

Ведущая цель организации и осуществления СРС должна совпадать с целью обучения студента – подготовкой специалиста и бакалавра с высшим образованием. При организации СРС важным и необходимым условием становятся формирование умения самостоятельной работы для приобретения знаний, навыков и возможности организации учебной и научной деятельности.

Формы самостоятельной работы студентов разнообразны. В соответствии с рабочей программой дисциплины предусмотрены следующие виды самостоятельной работы студента:

- самостоятельное изучение литературы;
- самостоятельное решение задач;
- выполнение курсового проекта.

Цель самостоятельного изучения литературы – самостоятельное овладение знаниями, опытом исследовательской деятельности.

Задачами самостоятельного изучения литературы являются:

- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развитие познавательных способностей и активности студентов.

Цель самостоятельного решения задач - овладение профессиональными умениями и навыками деятельности по профилю будущей деятельности.

Задачами самостоятельного решения задач являются:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- развитие исследовательских умений.

Целью самостоятельного выполнения расчетно-графической работы по дисциплине является овладение фундаментальными знаниями, профессиональными умениями и навыками деятельности по профилю, опытом творческой, исследовательской деятельности.

Задачами данного вида самостоятельной работы студента являются:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развитие познавательных способностей и активности студентов: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- развитие исследовательских умений;
- использование материала, собранного и полученного в ходе самостоятельных занятий на семинарах, на практических и лабораторных занятиях, при написании курсовой работы.

В результате освоения дисциплины формируются следующий перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы:

Код, формулировка компетенции	Код, формулировка индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов
ПК-2 Способен анализировать режимы работы систем электроснабжения объектов	ИД-1 _{ПК-2} Рассчитывает параметры электрооборудования систем электроснабжения	Знает общие сведения об АСУ ТП, функции, состав и структура АСУ ТП, особенности построения и функционирования систем диспетчерского управления электроэнергетическими системами с помощью мнемосхемы, структуру специализированного программного обеспечения для разработки АСУ электротехническим оборудованием, принципы построения автоматики электрических станций и подстанций, элементную базу, характеристики, эксплуатационные требования и регулировочные свойства современных средств автоматики электрических станций и подстанций. Умеет применять электромеханические, электронные и микропроцессорные средства автоматики для контроля значений электрических величин с целью управления электроэнергетическими объектами, выбирать и реализовывать эффективные режимы работы средств автоматики по заданным методикам, выбрать и рассчитать устройства автоматики для отдельных элементов энергосистемы.

		Владеет методами расчета параметров и характеристик средств автоматики электроэнергетических систем, методами разработки технического и программного обеспечения АСУ электростанций и подстанций, навыками проведения стандартных испытаний и регулировки автоматики электроэнергетических систем
--	--	--

План-график выполнения самостоятельной работы

Коды реализуемых компетенций, индикатора(ов)	Вид деятельности студентов	Средства и технологии оценки	Объем часов, в том числе		
			СРС	Контактная работа с преподавателем	Всего
Очная форма обучения					
8 семестр					
ПК-2 ИД-1ПК-2	Самостоятельное изучение литературы по темам №1-12	Собеседование	27,9	3,1	31
	Подготовка к лекциям	Собеседование	2,16	0,24	2,4
	Подготовка к лабораторным занятиям	Собеседование	5,94	0,66	6,6
	Выполнение расчетно-графической работы	Собеседование	18	2	20
Итого за 8 семестр:			54	6	60
Итого:			54	6	60
Заочная форма обучения					
8 семестр					
ПК-2 ИД-1ПК-2	Самостоятельное изучение литературы по темам №1-12	Собеседование	66,24	7,36	73,6
	Подготовка к лекциям	Собеседование	0,54	0,06	0,6
	Подготовка к лабораторным занятиям	Собеседование	1,62	0,18	1,8
	Выполнение расчетно-графической работы	Собеседование	18	2	20
Итого за 8 семестр:			86,4	9,6	96
Итого:			86,4	9,6	96

Контрольные точки и виды отчетности по ним

№ п/п	Вид деятельности студентов	Сроки выполнения	Количество баллов
8 семестр			
1.	Лабораторное занятие № 2	6 неделя	25
2.	Лабораторное занятие № 4	10 неделя	15
3.	Лабораторное занятие № 6	16 неделя	15
	Итого за 8 семестр		55
	Итого		55

Максимально возможный балл за весь текущий контроль Максимально возможный балл за весь текущий контроль устанавливается равным 55. Текущее контрольное мероприятие считается сданным, если студент получил за него не менее 60% от установленного для этого контроля максимального балла. Рейтинговый балл, выставляемый студенту за текущее контрольное мероприятие, сданное студентом в установленные графиком контрольных мероприятий сроки, определяется следующим образом:

Уровень выполнения контрольного задания	Рейтинговый балл (в % от максимального балла за контрольное задание)
Отличный	100
Хороший	80
Удовлетворительный	60
Неудовлетворительный	0

Рейтинговая система успеваемости студентов не предусмотрена для заочной формы обучения.

Методические рекомендации по изучению теоретического материала

Самостоятельная работа студента начинается с внимательного ознакомления с содержанием учебного курса.

Изучение каждой темы следует начинать с внимательного ознакомления с набором вопросов. Они ориентируют студента, показывают, что он должен знать по данной теме. Вопросы темы как бы накладываются на соответствующую главу избранного учебника или учебного пособия. В итоге должно быть ясным, какие вопросы темы учебного курса и с какой глубиной раскрыты в конкретном учебном материале, а какие вообще опущены. Требуется творческое отношение и к самому содержанию дисциплины.

Вопросы, составляющие ее содержание, обладают разной степенью важности. Есть вопросы, выполняющие функцию логической связки содержания темы и всего курса, имеются вопросы описательного или разъяснительного характера, а также исторического экскурса в область изучаемой дисциплины. Все эти вопросы не составляют сути понятийного, концептуального содержания темы, но необходимы для целостного восприятия изучаемых проблем.

Изучаемая дисциплина имеет свой категориально-понятийный аппарат. Научные понятия — это та база, на которой строится каждая наука. Понятия — узловые, опорные пункты как научного, так и учебного познания, логические ступени движения в учебе от простого к сложному, от явления к сущности. Без ясного понимания понятий учеба крайне затрудняется, а содержание приобретенных знаний становится тусклым, расплывчатым.

Студент должен понимать, что самостоятельное овладение знаниями является главным, определяющим. Высшая школа создает для этого необходимые условия, помогает будущему высококвалифицированному специалисту овладеть технологией самостоятельного производства знаний.

В самостоятельной работе студентам приходится использовать литературу различных видов: первоисточники, монографии, научные сборники, хрестоматии, учебники, учебные пособия, журналы и др. Изучение курса предполагает знакомство студентов с большим объемом научной и учебной литературы, что, в свою очередь, порождает необходимость выработки у них рационально-критического подхода к изучаемым источникам.

Чтобы не «утонуть» в огромном объеме рекомендованных ему для изучения источников, студент, прежде всего, должен научиться правильно их читать. Правильное чтение рекомендованных источников предполагает следование нескольким несложным, но весьма полезным правилам.

Предварительный просмотр книги включает ознакомление с титульным листом книги, аннотацией, предисловием, оглавлением. При ознакомлении с оглавлением необходимо выделить разделы, главы, параграфы, представляющие для вас интерес, бегло их просмотреть, найти места, относящиеся к теме (абзацы, страницы, параграфы), и познакомиться с ними в общих чертах.

Научные издания сопровождаются различными вспомогательными материалами — научным аппаратом, поэтому важно знать, из каких основных элементов он состоит, каковы его функции.

Знакомство с книгой лучше всего начинать с изучения аннотации — краткой характеристики книги, раскрывающей ее содержание, идейную, тематическую и жанровую направленность, сведения об авторе, назначение и другие особенности. Аннотация помогает составить предварительное мнение о книге.

Глубже понять содержание книги позволяют вступительная статья, в которой дается оценка содержания книги, затрагиваемой в ней проблематики, содержится информация о жизненной и творческой биографии автора, высказываются полемические замечания, разъясняются отдельные положения книги, даются комментарии и т.д. Вот почему знакомство с вступительной статьей представляется очень важным: оно помогает студенту сориентироваться в тексте работы, обратить внимание на ее наиболее ценные и важные разделы.

Той же цели содействует знакомство с оглавлением, предисловием, послесловием. Весьма полезными элементами научного аппарата являются сноски, комментарии, таблицы, графики, списки литературы. Они не только иллюстрируют отдельные положения книги или статьи, но и сами по себе являются дополнительным источником информации для читателя.

Если читателя заинтересовала какая-то высказанная автором мысль, не нашедшая подробного освещения в данном источнике, он может обратиться к тексту источника, упоминаемого в сноске, либо к источнику, который он может найти в списке литературы, рекомендованной автором для самостоятельного изучения.

Существует несколько форм ведения записей:

— план (простой и развернутый) — наиболее краткая форма записи прочитанного, представляющая собой перечень вопросов, рассматриваемых в книге или статье. Развернутый план представляет собой более подробную запись прочитанного, с детализацией отдельных положений и выводов, с выпиской цитат, статистических данных и т.д. Развернутый план — неоценимый помощник при выступлении с докладом на конкретную тему на семинаре, конференции;

— тезисы — кратко сформулированные положения, основные положения книги, статьи. Как правило, тезисы составляются после предварительного знакомства с текстом источника, при его повторном прочтении. Они помогают запомнить и систематизировать информацию.

Составление конспектов

Большую роль в усвоении и повторении пройденного материала играет хороший конспект, содержащий основные идеи прочитанного в учебнике и услышанного в лекции. Конспект — это, по существу, набросок, развернутый план связного рассказа по основным вопросам темы.

В какой-то мере конспект рассчитан (в зависимости от индивидуальных особенностей студента) не только на интеллектуальную и эмоциональную, но и на зрительную память, причем текст конспекта нередко ассоциируется еще и с текстом учебника или записью лекции. Поэтому легче запоминается содержание конспектов, написанных разборчиво, с подчеркиванием или выделением разрядкой ключевых слов и фраз.

Самостоятельно изученные темы предоставляются преподавателю в форме конспекта, по которому происходит собеседование. Теоретические темы курса (отдельные вопросы), выносимые на самостоятельное изучение, представлены ниже.

Типовые контрольные задания и иные материалы, характеризующие этапы формирования компетенций

Вопросы для собеседования

1. Оптовый и розничный рынки электроэнергии: инфраструктура, иерархия управления, участники.
2. Коммерческий и технический учет электроэнергии, активной и реактивной мощности.
3. Автоматизация учета потребления энергоресурсов на ПП.
4. Автоматизация учета электроэнергии в рыночных условиях.
5. АИИС КУЭ: основные функции и задачи, уровни иерархии, состав оборудования.
6. Архитектура программного обеспечения АИИС КУЭ.
7. Определение устойчивости по корням характеристического уравнения.
8. Формулировка критерия Вышнеградского.
9. Формулировка критерия Гурвица.
10. Формулировка критерия Найквиста.
11. Понятие об устойчивости.
12. Характеристическое уравнение.

13. Перенос сумматора через сумматор.
14. Понятие об устойчивости.
15. Характеристическое уравнение.
16. Перенос узла через звено.
17. Перенос сумматора через звено.
18. Перенос сумматора через узел.
19. Какие переходные процессы относят к монотонным процессам?
20. Контрольные вопросы по теме занятия
21. Как определить переуправление по графику переходного процесса?
22. Как определить время нарастания по графику переходного процесса?
23. Какие переходные процессы относят к апериодическим процессам?
24. Какие показатели качества относят к прямым показателям?
25. Какие показатели (критерии) качества относят к косвенным критериям?
26. Как определить время регулирования по графику переходного процесса?
27. Каким образом схема АЧП гидрогенераторов не подействует на пуск резервных агрегатов 2-й очереди, если в результате пуска агрегатов 1-й очереди частота в ЭЭС восстановилась?
28. Что означает запас статической устойчивости?
29. Анализ статической устойчивости нерегулируемой электрической системы.
30. Основные задачи АРВ.
31. Что такое синхронизация синхронного генератора, и какие существуют способы синхронизации?
32. Что такое напряжение биений?
33. Как будет выглядеть график изменения напряжения биений во времени при условии, что напряжение генератора не равно напряжению сети?
34. Какие основные элементы входят в состав автоматического синхронизатора?
35. Какие основные недостатки синхронизатора типа УБАС обусловили его замену на более совершенный СА–1?
36. Какие параметры учитываются при определении условия срабатывания узла опережения синхронизатора СА–1?
37. Какие параметры учитываются при работе узла контроля разности частот синхронизатора СА–1?
38. Какое назначение реле разности частот в устройстве полуавтоматической самосинхронизации?
39. Для чего применяется метод Акульшина?

40. В чем заключается сущность метода Акульшина?
41. Как рассчитывается рабочая частота?
42. Может ли подействовать АЧР II на данной электроустановке в случае совмещенных АЧР I и АЧР II, если произошло действие АЧР I, но частота в системе остается пониженной, соответствующей установке АЧР II?
43. Каким образом реализована с использованием только одного реле частоты схема АЧР с ЧАПВ, уставки срабатывания по частоте которых различаются?
44. Какая необходимость при аварийном снижении частоты в отделении части или всех генераторов ТЭС от энергосистемы?
45. Какое назначение АЧР I и АЧР II?
46. Как предотвращается ложное действие устройств АЧР при кратковременном отключении подстанции с синхронным компенсатором или синхронными электродвигателями?
47. Какое назначение ЧАПВ?
48. Измерение и контроль показателей качества электроэнергии.
49. Что такое «лавина частоты»?
50. Почему система АЧР выполняется ступенями?
51. Техническая эксплуатация, метрологическое и нормативное обеспечение АИИС КУЭ.
52. Микропроцессорные счетчики электроэнергии.
53. Организация коммерческого учета потоков электроэнергии в ЭЭС.

Методические указания по подготовке к расчетно-графической работе

Расчетно-графическая работа – это самостоятельная письменная работа студента, которая должна показать не только его владение теоретическим материалом, но и продемонстрировать практические умения проводить расчеты.

Цели выполнения к расчетно-графической работы заключаются:

- закрепить и систематизировать теоретические знания и практические навыки студента;
- научить работать с литературой – изучать, анализировать информацию из научных источников;

При выполнении контрольной работы реализуются следующие компетенции:

Код, формулировка компетенции	Код, формулировка индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов
ПК-2 Способен анализировать режимы работы систем электроснабжения объектов	ИД-1ПК-2 Рассчитывает параметры электрооборудования систем электроснабжения	Знает общие сведения об АСУ ТП, функции, состав и структура АСУ ТП, особенности построения и функционирования систем диспетчерского управления электроэнергетическими системами с помощью мнемосхемы, структуру специализированного программного обеспечения для разработки АСУ электротехническим оборудованием, принципы построения автоматики электрических станций и подстанций, элементную базу, характеристики, эксплуатационные требования и регулировочные свойства современных средств автоматики электрических станций и подстанций. Умеет применять электромеханические, электронные и микропроцессорные средства автоматики для контроля значений

		электрических величин с целью управления электроэнергетическими объектами, выбирать и реализовывать эффективные режимы работы средств автоматики по заданным методикам, выбрать и рассчитать устройства автоматики для отдельных элементов энергосистемы. Владеет методами расчета параметров и характеристик средств автоматики электроэнергетических систем, методами разработки технического и программного обеспечения АСУ электростанций и подстанций, навыками проведения стандартных испытаний и регулировки автоматики электроэнергетических систем
--	--	---

Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины

Перечень основной литературы:

1. Карпов, А.Г. Цифровые системы автоматического регулирования: учебное пособие / А.Г. Карпов; Министерство образования и науки Российской Федерации, Томский Государственный Университет Систем Управления и Радиоэлектроники (ТУСУР). – Томск: ТУСУР, 2015. – 216 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=480640>

2. Осинцев, А. А. Локальные устройства противоаварийной автоматики : учебно-методическое пособие / А. А. Осинцев. — Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2019. — 68 с. — ISBN 978-5-7782-3838-1. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/99186.html>

Перечень дополнительной литературы:

1. Шойко, В.П. Автоматическое регулирование в электрических системах : учебное пособие / В.П. Шойко. — Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2012. — 195 с. — Режим доступа: по подписке. — URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=228798>

2. Автоматика управления режимами электроэнергетических систем : учебное пособие / составители А. Н. Козлов. — 2-е изд. — Благовещенск : Амурский государственный университет, 2017. — 64 с. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/103838.html>

Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

1. Методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Системная автоматика и автоматическое регулирование в электроэнергетических системах».

2. Методические указания по выполнению расчетно-графических работы по дисциплине «Системная автоматика и автоматическое регулирование в электроэнергетических системах».

3. Методические указания по организации и проведению самостоятельной работы по дисциплине «Системная автоматика и автоматическое регулирование в электроэнергетических системах».

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины

1. <http://www.biblioclub.ru> -ЭБС "Университетская библиотека онлайн"
2. <http://www.iprbookshop.ru/> - Электронно- библиотечная система IPRbooks