ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

УПРАВЛЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Кафедра «Цифровые технологии и платформы в электроэнергетике»

# Методические указания

к практикуму по дисциплине

# Противоаварийная автоматика в энергетических системах

Автор

Шелест В.А.

Ростов-на-Дону, 2025

## Аннотация

Методические указания предназначены для подготовки бакалавров заочной формы обучения по направлению 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» и профилю «Электроэнергетические системы и сети».

## Автор

к.т.н., доцент кафедры «Цифровые технологии и платформы в электроэнергетике»
Шелест В.А.

# Оглавление

**ВВЕДЕНИЕ.....4**

ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ ПО ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ.....5

ПЗ №1. АВТОМАТИЧЕСКОЕ ПОВТОРНОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ ЛЭП С ОДНОСТОРОННИМ ПИТАНИЕМ...6

ПЗ №2. АВТОМАТИЧЕСКОЕ ПОВТОРНОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ ЛЭП С ДВУСТОРОННИМ ПИТАНИЕМ....12

ПЗ №3. АВТОМАТИЧЕСКОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ РЕЗЕРВА ПИТАЮЩЕГО ПРИСОЕДИНЕНИЯ.....19

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....29**

# ВВЕДЕНИЕ

В настоящих указаниях рассматриваются принципы работы общей противоаварийной автоматики, управляющей процессами производства, распределения и потребления электрической энергии.

Уделено внимание важному решению вопроса восстановления электроснабжения потребителей путем применения автоматического повторного включения после отключения релейной защитой линии односторонним питанием. Рассматривается успешное восстановление электроснабжения при самоустранении короткого замыкания.

Обращается внимание на сложность применения автоматического включения на линиях двусторонним питанием. Показана необходимость контроля синхронизма методами улавливания или ожидания синхронизма.

Изучаются методы автоматического восстановления электроснабжения потребителей путем включения резервных источников питания. Для поддержания непрерывности технологических процессов рассмотрено включение резервного оборудования (например, включение резервных питательных насосов на электростанции).

Успешному выполнению заданий по практическим занятиям способствует знание основ электротехники и электроники.

Применение компьютерных технологий позволяет ускорить анализ, исследования и расчеты по практическим заданиям. Рекомендуется использовать программу Microsoft Office.

Темы практических занятий соответствуют рабочей программе изучаемой дисциплины.

Методика проведения практических занятий содержит элементы научных исследований.

В методических указаниях обозначается цель выполняемой работы, даются общие сведения по теме практического занятия, подробно изложен порядок выполнения работы, указаны требования к содержанию отчета и приведены контрольные вопросы.

## ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ ПО ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ.

1.Выполнению заданий предшествует изучение теоретической части раздела «Общая противоаварийная автоматика» по дисциплине «Противоаварийная автоматика в энергосистемах».

2.Практические занятия состоят из 3 частей:

- Автоматическое повторное включение линии электропередачи с односторонним питанием.
- Автоматическое повторное включение линии электропередачи с двусторонним питанием.
- Автоматика включения резервного питания для восстановления электроснабжения и оборудования для поддержания непрерывности технологического процесса.

3.Индивидуальные задания по практическим занятиям выдаются преподавателем.

4.Рекомендуется выполненные задания печатать (формат А4). Текст и формулы набираются в редакторе Word. Рисунки и графики выполняются в графическом редакторе.

5.Необходимо использовать титульный лист установленного образца.

6.Результаты выполненных практических заданий печатаются в общем отчете.

7.При защите необходимо показать знание материала, изложенного в отчете.

Без защищенных выполненных заданий студент к экзамену не допускается.

Практическое занятие № 1

# АВТОМАТИЧЕСКОЕ ПОВТОРНОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ ЛЭП С ОДНОСТОРОННИМ ПИТАНИЕМ

## *1. Цель работы*

В процессе выполнения работы изучить требования к устройствам автоматического повторного включения (АПВ), схемы пуска АПВ, временную диаграмму событий неуспешного цикла АПВ и методику расчета параметров настройки АПВ.

## *2. Общие сведения*

При неустойчивых повреждениях отключение электроустановки и повторное ее включение через некоторое время, необходимое для деионизации, восстанавливает нормальный режим работы. Автоматическое отключение выполняется релейной защитой, автоматическое повторное включение – устройствами АПВ.

Опыт эксплуатации устройств АПВ показал, что этот вид восстановительной автоматики является эффективным средством повышения надежности энергосистемы.

Доля успешных АПВ на ВЛ составляет:

110 - 220 кВ – 75 – 80%;

330 кВ – 65 – 70%;

500 - 750 кВ – около 50%.

Время действия АПВ (от момента отключения выключателя до подачи команды на включение) обычно составляет от 0,5 с до нескольких секунд.

Согласно Правилам устройства электроустановок (ПУЭ) обязательно применение АПВ на всех воздушных и смешанных (кабельно-воздушных) линиях напряжением выше 1 кВ.

Требования к устройствам АПВ:

1. Устройство АПВ должно срабатывать во всех случаях автоматического, в том числе и самопроизвольного, отключения выключателя и не должно срабатывать при оперативных отключениях выключателя персоналом.

Для выполнения этого требования осуществляется пуск устройства АПВ, как правило, от несоответствия положения выключателя (“отключен”) предшествующей оперативной команде (“включить”).

Схемы пусковых цепей АПВ, реализующих указанный принцип, показаны на рис. 1.1, где SA – ключ управления выключателем с фиксацией положений “Включено”, “Отключено” – типа КФ (рис. 1.1,а) и без фиксации (с возвратом) – типа КВ (рис. 1.1,б); KQT, KQC – реле положения “Отключено” и “Включено” из схемы управления выключателем; KQQ – двустабильное реле фиксации оперативных команд; ТУ – контакт устройства телеуправления.

2. Устройство АПВ не должно срабатывать при автоматическом (от РЗ) отключении выключателя, когда это отключение произошло сразу же после его оперативного включения от ключа управления или от ТУ.

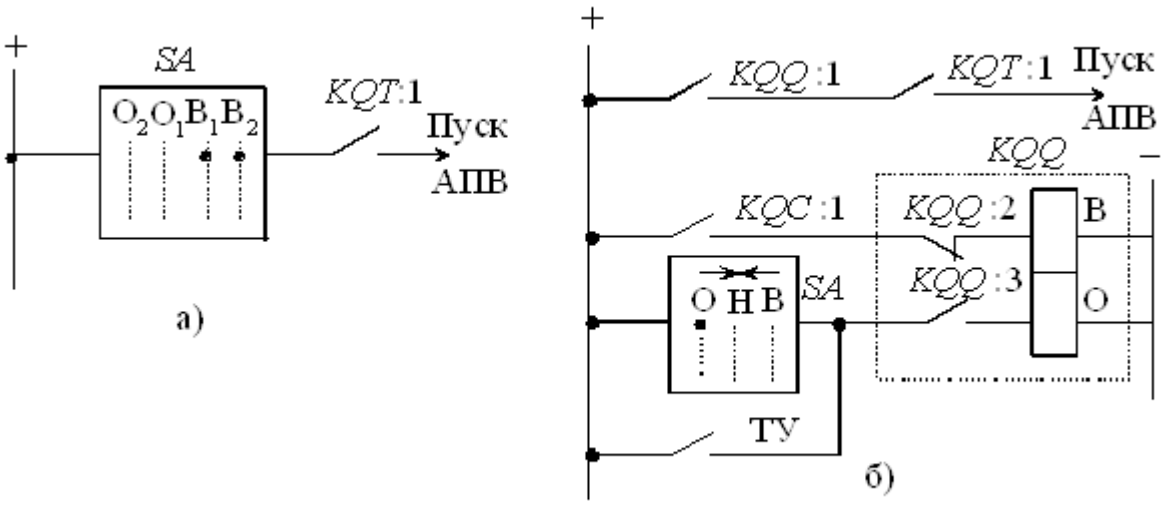



Рис. 1.1. Схемы пусковых цепей АПВ

Для выполнения этого требования готовность к действию устройства АПВ должна наступать не сразу, а спустя несколько секунд после включения выключателя:.

$$t_{\text{подг}} > t_{\text{с.з1}} + t_{\text{о.в}} + \Delta t_{\text{зап}}$$

где $t_{\text{с.з1}}$, $t_{\text{о.в}}$, $\Delta t_{\text{зап}}$ - время срабатывания РЗ (до АПВ), отключения выключателя и запаса.

3. Схемы АПВ должны допускать возможность их срабатывания при соблюдении дополнительных условий (отсутствие напряжения на электроустановке или наоборот – наличие напряжения, наличие синхронизма напряжений с двух сторон выключателя, допустимое давление воздуха в воздушном выключателе, восстановление частоты в сети и т.д.).

Обеспечивается это требование, в частности, введением замыкающего контакта соответствующего реле контроля в цепь пуска АПВ.

4. Устройство АПВ должно обеспечивать выдержку времени (от пуска до срабатывания) , которая необходима для:

- создания бестоковой паузы , превышающей время деионизации среды в месте повреждения;
- восстановления готовности привода выключателя к работе ($t_{\text{г.п}}$ ) и восстановления отключающей способности выключателя ($t_{\text{г.в}}$).

Работу АПВ в неуспешном цикле иллюстрирует временная диаграмма (рис. 1.2), где $t_{\text{с.з1}}$, $t_{\text{с.з2}}$, $t_{\text{о.в}}$, $t_{\text{в.в}}$- время срабатывания РЗ до АПВ, после АПВ, отключения (О) и выключения (В) выключателя.

Из диаграммы следуют условия выбора:

$$t_{\text{б.п}} = t_{\text{АПВ}} + t_{\text{в.в}} > t_{\text{д.с}};$$
$$t_{\text{о.в}} + t_{\text{АПВ}} > t_{\text{г.п}};$$
$$t_{\text{АПВ}} + t_{\text{в.в}} + t_{\text{с.з2}} > t_{\text{г.в}}.,$$

где $t_{\text{б.п}}$ - время бестоковой паузы;

$t_{\text{д.с}}$ - время деионизации среды, где горела дуга.

$t_{\text{г.п}}$ - время готовности привода выключателя;

$t_{г.в}$ - время готовности выключателя.

С целью повышения надежности работы энергосистемы и потребителей желательно уменьшать время срабатывания ($t_{АПВ}$), а для повышения вероятности успешного АПВ – увеличивать.

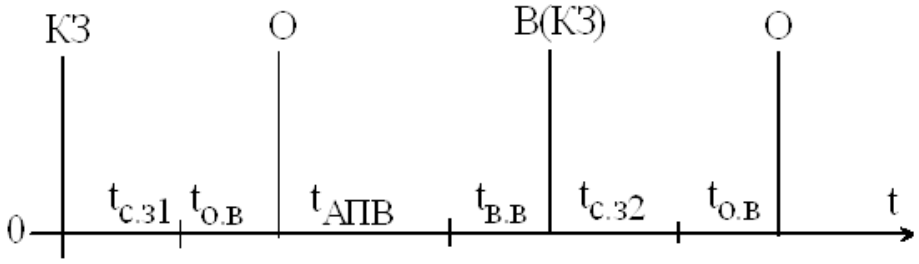



Рис. 1.2. Временная диаграмма событий неуспешного цикла АПВ

5. Схемы АПВ должны допускать возможность блокировки (“запрета”) их действия после пуска при срабатывании отдельных защит. Например, не допускается, как правило, действие АПВ трансформатора при внутреннем повреждении, когда срабатывает газовая или дифференциальная защита, при отключении выключателя устройством АЧР и в др. случаях. Операция “запрет” выполняется как “сброс памяти” о готовности АПВ к действию.

6. Устройство АПВ должно обеспечивать заданную кратность действия. Цикл однократного АПВ: $О \xrightarrow{(t_{АПВ1})} В \rightarrow О$; цикл двукратного АПВ: $О \xrightarrow{(t_{АПВ1})} В \rightarrow О \xrightarrow{(t_{АПВ2})} В \rightarrow О$ .

Выполнение этого требования обычно обеспечивается выбором времени подготовки по условию:

$$t_{подг(1,2)} > t_{с.з2} + t_{о.в} + t_{АПВ(1,2)} + \Delta t_{зап}.$$

7. Длительность сигнала от АПВ на включение выключателя должна быть достаточной для надежного включения выключателя.

8. При любых неисправностях в устройстве АПВ схема управления выключателем не должна допускать многократные включения на КЗ (“прыгания”).

## *3. Расчет параметров настройки АПВ*

Расчет сводится к определению следующих величин:

1) $t_{АПВ}$, т.е. выдержки времени замыкания контакта реле времени , определяющей момент замыкания цепи на включение выключателя от АПВ;

2) $t_{дебл}$, т. е. времени заряда конденсатора С до напряжения срабатывания $U_{Ср}$ промежуточного реле ускорения защиты;

3) зарядного сопротивления $R$.

Выдержка времени $t_{АПВ}$ должна определяться с учетом того, что в выражение для $t_{АПВ}$ не должно входить время отключения выключателя $t_{о.в.}$, так реле времени РВ, создающее выдержку $t_{АПВ}$, получает питание лишь после отключения выключателя. Поэтому для $t_{АПВ}$ можно записать так:

$$t_{АПВ} = t_{г.п} + t_{зап};$$
$$t_{АПВ} = t_{д.с} + t_{зап}.$$

Выдержка времени $t_{дебл}$ определяться с учетом того, что в выражение для $t_{дебл}$ не должно входить время $t_{АПВ}$ и $t_{в.в.}$, так как конденсатор может заряжаться только при включенном выключателе. Поэтому выражение принимает вид

$$t_{дебл} \geq t_{с.з} + t_{о.в} + t_{зап}.$$

Напряжение батареи известно и обычно равно $U_б$=110 В, емкость конденсатора С выбирается заводом, поставляющим устройства АПВ. Зная время заряда конденсатора $t_{зар} = t_{дебл}$, можно определить величину зарядного сопротивления R, исходя из следующих соображений. Как известно, при заряде конденсатора на его обкладках со временем $t$ напряжение нарастает по закону

$$U_с = U_б\left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right),$$

где $U_б$ - напряжение на батарее;
$U_с$ - напряжение на конденсаторе;
$R$ – зарядное сопротивление;
$C$ – емкость конденсатора.

До значения срабатывания промежуточного реле напряжение $U_{ср}$ нарастает за время $t_{зар}$ . Тогда

$$U_{ср} = U_б\left(1 - e^{-\frac{t_{зар}}{RC}}\right).$$

После преобразования этого выражения получим

$$U_{ср} - U_б = -U_б\left(e^{-\frac{t_{зар}}{RC}}\right)$$

Опуская промежуточные преобразования, получаем откуда искомое зарядное сопротивление, обозначенное в схеме через R,

$$R = \frac{t_{зар}}{C ln \frac{U_б}{U_б - U_{ср}}}.$$

## *4. Пример расчета*

*Дано*: 1. На радиальной линии напряжением 110 кВ с односторонним питанием, оборудованной устройством АПВ , установлен выключатель с приводом.

2. Емкость конденсатора $C$ = 20 мкФ, напряжение батареи $U_б$=110 В, напряжение срабатывания промежуточного реле $U_{ср}$ = 65 В.

3. Наибольшая выдержка времени релейной защиты, действующей на отключение выключателя после его включения на короткое замыкание от устройства АПВ, $t_{с.з.}$=5 с.

*Требуется*: 1. Рассчитать выдержку времени $t_{АПВ}$ определяющую момент замыкания цепи на включение выключателя от АПВ, т. е. время замыкания контакта реле времени.

2. Рассчитать время деблокировки $t_{\text{дебл}}$, определяющее момент возврата устройства АПВ в исходное положение, т. е. положение готовности к последующему действию. Это будет также время $t_{\text{зар}}$ заряда конденсатора $C$.

3. Определить зарядное сопротивление в схеме заряда конденсатора из условия обеспечения необходимого времени заряда $t_{\text{зар}}$.

*Решение.* По данным время деионизации среды на линии напряжением 110 кВ $t_{\text{д.с.}}$ = 0,15 с. Принимаем, что время готовности привода $t_{\text{г.п.}}$ не превышает этого значения. Тогда получим.

$$t_{\text{АПВ}} = t_{\text{д.с}} + t_{\text{зап}} = 0{,}15 + 0{,}15 = 0{,}3 \text{ с}$$

Выдержка времени $t_{\text{дебл}}$ или необходимое время заряда конденсатора $t_{\text{зар}}$ определим по формуле:

$$t_{\text{дебл}} \geq t_{\text{с.з}} + t_{\text{о.в}} + t_{\text{зап}} = 5{,}0 + 0{,}35 + 1{,}0 = 6{,}35 \text{ с}$$

и так как 6,35 <(8---10) с, то согласно инструкции принимаем $t_{\text{дебл}}$ = 10 с.

Зарядное сопротивление определим по формуле:

$$R = \frac{t_{\text{зар}}}{Cln\frac{U_{\text{б}}}{U_{\text{б}} - U_{\text{ср}}}} = \frac{10}{20 * 10^{-6} * ln\frac{110}{110 - 65}} = 560000 \text{ Ом}$$

## *5. Подготовка доклада на конференцию (по желанию).*

На основании изученного материала выбрать тему доклада на конференции по теме занятия и согласовать ее с преподавателем.

Провести дополнительный анализ темы по различным источникам информации.

$U_{\text{ср}}$

Составить презентацию по результатам своей работы для доклада на конференции.

## *6. Контрольные вопросы и ндивидуальные задания (по последнй цифре личного номера)*

6.1.Назначение АПВ.

6.2.Доля успешных АПВ.

6.3.Требования, предъявляемые к АПВ.

6.4.Для чего применяется ускорение релейной защиты.

6.5.С помощью какого элемента в схеме АПВ обеспечивается его однократное действие.

6.6.На что влияет величина зарядного сопротивления.

6.7.Ваши предложения по совершенствованию АПВ.

*Индивидуальные задания*

| Вариант | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $t_{\text{д.с}}$, сек | 0,12 | 0,14 | 0,16 | 0,18 | 0,2 | 0,19 | 0,17 | 0,15 | 0,13 | 0,11 |
| $t_{\text{с.з}}$, сек | 3 | 3,5 | 4 | 4,5 | 5 | 2,8 | 3,3 | 3,8 | 4,3 | 4,8 |
| $t_{\text{о.в}}$, сек | 0,31 | 0,33 | 0,35 | 0,37 | 0,39 | 0,3 | 0,32 | 0,34 | 0,36 | 0,38 |
| $U_{\text{б}}$, В | 24 | 48 | 72 | 110 | 220 | 24 | 48 | 72 | 110 | 220 |

| $U_{ср}$, В | 14 | 26 | 40 | 56 | 140 | 14 | 26 | 40 | 56 | 140 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $C$, мкФ | 32 | 28 | 24 | 20 | 16 | 32 | 28 | 24 | 20 | 16 |

## *7. Содержание отчета*

7.1. Наименование практического занятия.
7.2. Цель практического занятия.
7.3. Схема пусковой цепи АПВ при отсутствии телемеханики.
7.4. Схема пусковой цепи АПВ при наличии телемеханики.
7.5. Временная диаграмма событий неуспешного цикла АПВ.
7.6. Рассчитанные параметры настройки АПВ по индивидуальному заданию.
7.7. Краткие ответы на контрольные вопросы.

Практическое занятие № 2

# АВТОМАТИЧЕСКОЕ ПОВТОРНОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ ЛЭП С ДВУСТОРОННИМ ПИТАНИЕМ

## 1. Цель работы

В процессе выполнения работы изучить условия работы АПВ при двустороннем питании линии и принципы построения АПВ, учитывающие возможности несинхронной работы генераторов. Выполнить расчеты для определения допустимости применения несинхронного АПВ без учета и с учетом нагрузки.

## 2. Общие сведения

На рис.2.1 показана схема с двусторонним питанием линии. Устройства РЗ и АПВ действуют на выключатели Q1 и Q2 по концам линии.

Особенности трехфазного АПВ обусловлены наличием двух источников питания по концам линии и возможностью нарушения их синхронной параллельной работы после отключения линии.

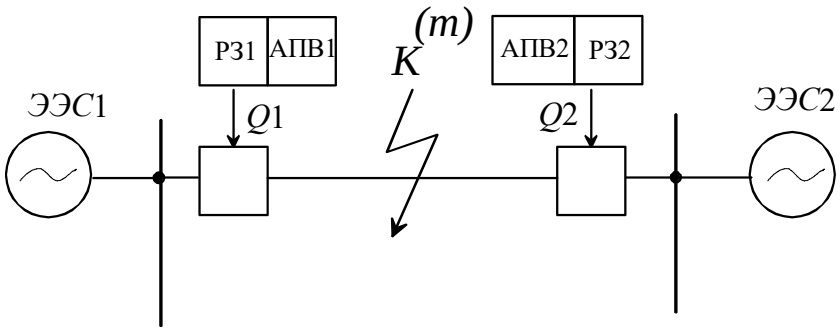


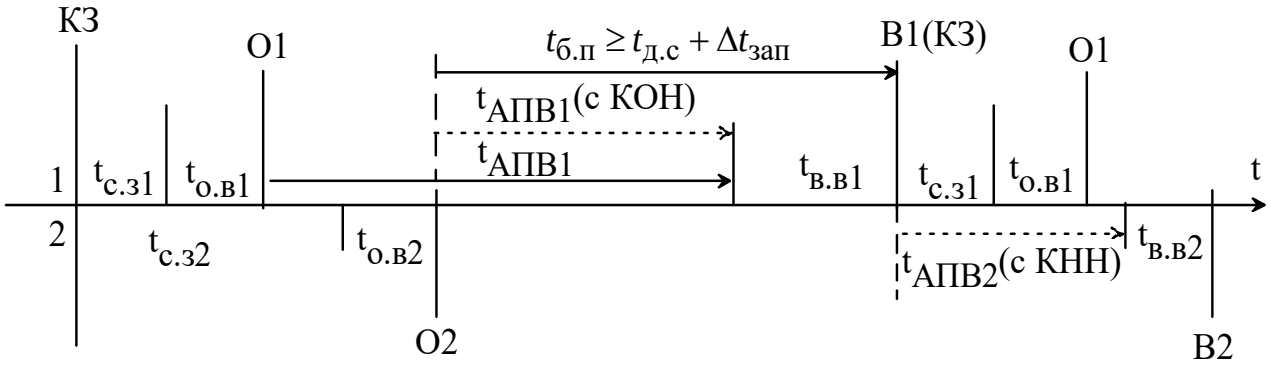

Рис. 2.1. Схема ВЛ с двусторонним питанием

*Первая особенность* состоит в том, что деионизация среды (воздушного промежутка) в месте повреждения начинается после отключения ВЛ с двух сторон. При пуске АПВ "от несоответствия" это условие определяет выдержку времени АПВ1 $t_{\text{АПВ1}}$ в соответствии с временной диаграммой событий для двух концов линии-1 и 2 (рис. 2.2).

Чтобы время бестоковой паузы $t_{\text{б.п}}$ превышало $t_{\text{д.с}} + \Delta t_{\text{зап}}$, необходимо выбрать

$$t_{\text{АПВ1}} \geq \underbrace{t_{\text{с.з2}} + t_{\text{о.в2}}}_{max} - \underbrace{(t_{\text{с.з1}} + t_{\text{о.в1}})}_{min} \quad \underbrace{+t_{\text{д.с}} - t_{\text{в.в1}} + \Delta t_{\text{зап}}}_{\text{с односторонним питанием}}$$

где $t_{\text{с.з1}}$ и $t_{\text{с.з2}}$ - соответственно минимальное и максимальное времена срабатывания защит на рассматриваемом 1 и противоположном 2 концах линии; $t_{\text{о.в}}$, $t_{\text{в.в}}$ - времена отключения и включения выключателя; $t_{\text{д.с}}$ - время деионизации среды; $\Delta t_{\text{зап}} = 0,5 - 0,7\,\text{с}$ - время запаса.




РРРис. 2.2. Временная диаграмма цикла АПВ со стороны 1 и 2 линии

Для уменьшения выдержки времени АПВ1 со стороны, включаемой первой, пуск АПВ1 можно осуществлять с дополнительным контролем отсутствия напряжения на линии (КОН):

$$t_{\substack{АПВ1 \\ (с\ КОН)}} \geq t_{д.с} - t_{в.в1} + \Delta t_{зап},$$

т.е. как для ВЛ с односторонним питанием.

*Вторая особенность* состоит в том, что при устойчивом КЗ на линии включение на КЗ от АПВ может производиться с двух сторон. Во избежание этого, т.е. излишнего износа выключателей, следует осуществлять пуск АПВ2 линии со второй стороны «с дополнительным контролем наличия напряжения на линии» (КНН) и выбирать

$$t_{\substack{АПВ2 \\ (с\ КНН)}} \geq t_{с.з1} + t_{о.в1} + \Delta t_{зап}.$$

При этом включение выключателя со второго конца будет происходить лишь в том случае, если повреждение устранилось и линия, включенная с 1-го конца, остается под напряжением.

*Третья особенность* определяется тем, что при успешном включении линии (замыкании транзита) возможны большие толчки уравнительного тока и активной мощности, опасные для электрооборудования, и возникновение асинхронного режима. Поэтому в зависимости от конкретных системных условий применяются на линиях с двусторонним питанием различные типы устройств АПВ, различающиеся способом контроля синхронизма. Возможность применения устройства АПВ того или иного типа должна проверяться по специальным расчетным критериям допустимости и технико-экономической целесообразности.

## 3. Основные принципы построения устройств ТАПВ линий с двусторонним питанием работы

*Устройства АПВ тех же типов*, что для линий с односторонним питанием (простое ТАПВ – без контроля синхронизма), применяются, если между рассматриваемыми источниками питания имеются две и более шунтирующих связей с достаточной пропускной способностью, одновременное отключение которых маловероятно.

*Несинхронное АПВ (НАПВ)* осуществляет повторное включение линии электропередачи со второй стороны без контроля синхронизма при произвольном угле между ЭДС разделившихся источников питания. Успешное НАПВ сопровождается сравнительно большими толчками тока и активной мощности, а также более или менее длительными качаниями, но они должны быть допустимы для электрооборудования.

*Быстродействующее АПВ (БАПВ)* осуществляет быстрое повторное включение быстродействующими воздушными или элегазовыми выключателями с двух сторон линии электропередачи, отключенной быстродействующей защитой с абсолютной селективностью. Минимальная выдержка времени БАПВ необходима только для деионизации среды в месте повреждения $t_{\text{БАПВ}} = t_{\text{д.с}} - t_{\text{в.в}}$. Быстрое отключение КЗ и включение от БАПВ предотвращает расхождение векторов ЭДС по концам линии на угол $\delta$ больший, чем 70-90°. Включение линии при этом происходит без больших толчков тока и длительных качаний.

*АПВ с ожиданием синхронизма* (АПВОС) осуществляет повторное включение линии с 2-ой стороны при синхронизме напряжений и при нарушении синхронизма, если частота скольжения – разность частот несинхронных напряжений – мала (обычно 0,1-0,2 Гц) с $\delta_{\text{вкл}} < \delta_{max,\text{д}}$. Устанавливаются устройства АПВОС на обеих сторонах линии, имеющей параллельные связи достаточной пропускной способности. Устройства обеспечивают повторное включение линии лишь при включенных шунтирующих связях, когда сохраняется синхронная работа источников питания или скольжение мало, и запрещает АПВ при КЗ в ремонтном режиме (отключены параллельные связи), когда происходит нарушение синхронизма.

*АПВ с улавливанием синхронизма* (АПВУС) подает команду на повторное включение выключателя линии со второй стороны при наличии скольжения с частотой до 1-2 Гц (на порядок больше, чем АПВОС) с опережением момента совпадения напряжений по фазе, т.е. так же, как в автоматических синхронизаторах. Благодаря этому АПВУС осуществляет выбор или "улавливание" благоприятного момента для включения выключателя при несинхронных напряжениях линии и шин. При синхронизме напряжений $\dot{U}_{\text{ш}}$ и $\dot{U}_{\text{л}}$ синхронизатор не действует.

Устройства АПВУС используются на одиночных и двухцепных линиях с двустороннем питанием, не имеющих шунтирующих связей, в случае невозможности по тем или другим причинам применения НАПВ или БАПВ.

*АПВ с самосинхронизацией генераторов* (АПВС) применяется на одиночных линиях связи с гидроэлектростанциями, не имеющими значительной местной нагрузки, а также с подстанциями, где установлены мощные синхронные двигатели, в тех случаях, когда не допускается несинхронное включение (НАПВ) либо не обеспечивается ресинхронизация.

Последовательность действия АПВС. При повреждении на линии связи действием релейной защиты отключаются: линия со стороны энергосистемы и генераторы на ГЭС с одновременным гашением их поля. По истечении заданной выдержки времени с контролем отсутствия напряжения выполняется повторное включение линии со стороны энергосистемы. Если АПВ линии успешное и на шинах станции восстанавливается напряжение, производится поочередное повторное включение генераторов по способу самосинхронизации. С этой целью включается очередной генераторный выключатель, и после снижения частоты вращения генератора до значения, при котором скольжение не превышает 3-5%, включается АГП.

## 4. *Расчет допустимости применения НАПВ*

Определить допустимость применения НАПВ на линии связи между ТЭС и ГЭС напряжением 110 кВ, длиной 40 км (рис. 2.3).

Турбогенератор ТЭС имеет косвенное охлаждение обмоток статора, гидрогене-

$$u_{к\ вс}=17\%,\ u_{к\ вн}=10{,}5\%,\ u_{к\ сн}=6\%,$$

раторы ГЭС с успокоительными контурами. Напряжение короткого замыкания трансформатора связи ТС

откуда $u_{кВ}$ =10,75%, $u_{кС}$ =6,25%, $u_{кН}$ =0. Остальные параметры сети указаны на рис. 2.3,а.

Составляем схему замещения в сверхпереходном режиме (рис. 2.3,б). За базисную мощность принята S6=100 МВ·А, коэффициенты трансформации учтены приближенно.

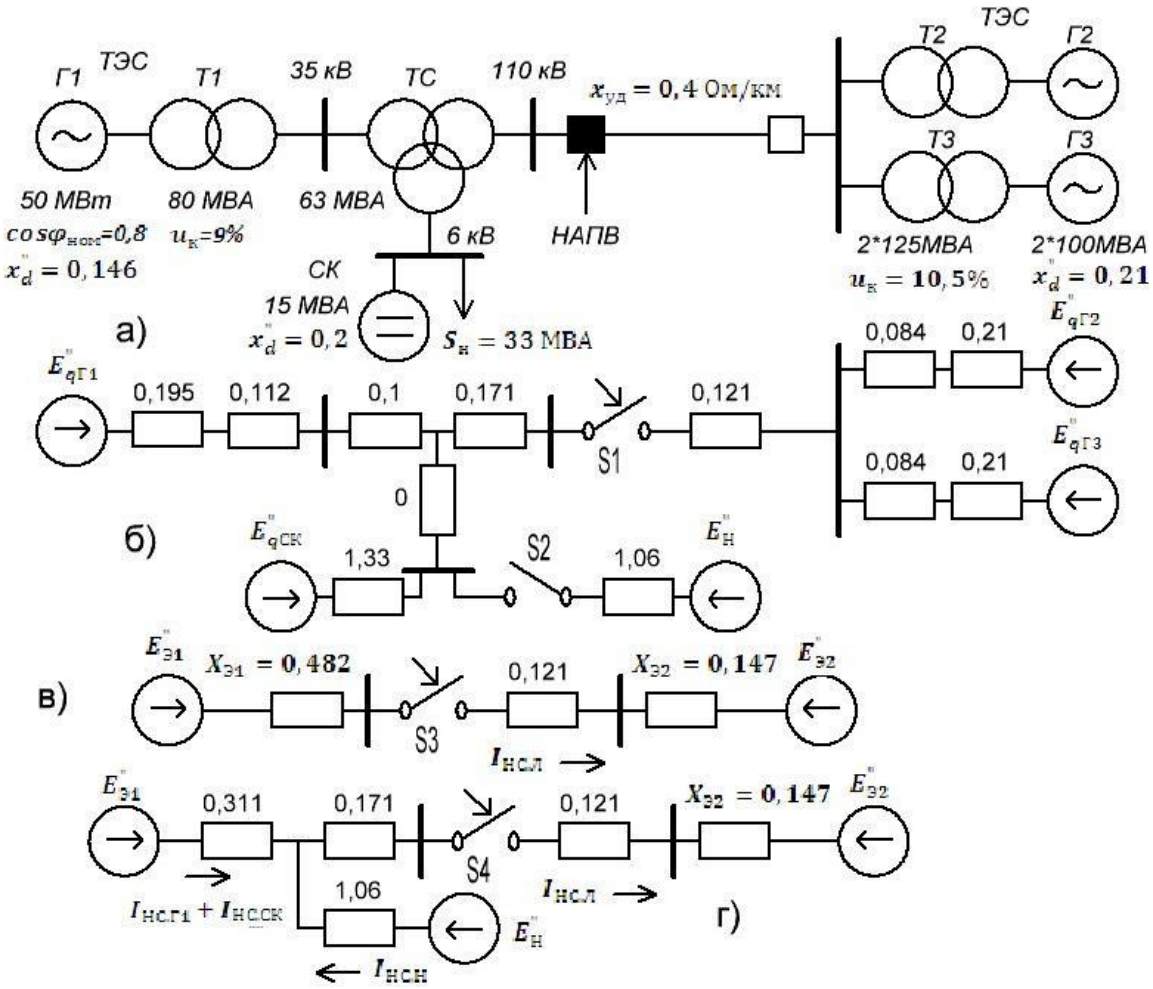



Рис. 2.3. К расчету допустимости применения НАПВ.
*а* — схема системы; *б, в, г* — схемы замещения.

Электродвижущие силы всех генераторов и синхронных компенсаторов, расположенных по одну сторону линии, принимаются одинаковыми, совпадающими по фазе и равными 1,05, а э. д. с. эквивалентных источников по концам линии сдвинуты друг относительно друга на угол 180°. Электродвижущая сила эквивалентной нагрузки $E''_н=0,9$, а ее сопротивление $x''_н=0,35$.

*Расчет без учета нагрузки* (контакт *К* на рис. 2.3,6 разомкнут).

Приводим схему замещения к виду, показанному на рис. 2.3,в, где

$$E''_{э1}=E''_{э2}=1,05;\quad x_{э1}=0,482;\quad x_{э2}=0,147.$$

Определяем периодическую слагающую максимального тока несинхронного включения (без учета нагрузки):

$$I_{нс.л}=\frac{E''_{э1}+E''_{э2}}{x_{э1}+x_л+x_{э2}};$$

$$I_{нс.л}=\frac{2,1}{x_Σ}=\frac{2,1}{0,75}=2,8.$$

Распределяем токи по ветвям, приводя к номинальной мощности генераторов, трансформаторов и синхронного компенсатора, и сравниваем с допустимыми значениями.

Ток генератора *Г1*

$$\frac{I_{нс\,Г1}}{I_{ном}}=I_{нс.л}\frac{x_{СК}}{(x_{Г1}+x_{Т1}+x_{ТС})+x_{СК}}\frac{S_б}{S_{нГ1}};$$

$$\frac{I_{нс\,Г1}}{I_{ном}}=2,8\frac{1,33}{0,407+1,33}\cdot\frac{100\cdot0,8}{60}=2,7<\frac{0,625}{0,146}=4,28$$

Ток синхронного компенсатора *СК*

$$\frac{I_{нс\,СК}}{I_{ном}}=2,8\cdot\frac{0,407}{1,33+0,407}\cdot\frac{100}{15}=4,38>\frac{0,84}{x''_{dСК}}=\frac{0,84}{0,2}=4,2.$$

Ток гидрогенераторов *Г2* и *Г3*

$$\frac{I_{нс\ Г2}}{I_{ном}}=\frac{I_{нс\,Г3}}{I_{ном}}=\frac{1}{2}\cdot2,8=1,4<\frac{0,625}{x''_{dГ2}}=\frac{0,625}{0,21}=2,98.$$

Ток трансформатора связи *ТС*

$$\frac{I_{нс\,ТС}}{I_{ном}}=2,8\cdot\frac{100}{63}=4,44.$$

Для трансформатора связи, у которого $u_{кН}=0$, допустимый ток при НАПВ ограничивается только сопротивлением обмотки высшего напряжения, имеющей $u_{кВ}=10,75\%$. При $k_т=1$, $S_{к.з}=15000$ МВ·А, $U_{ном.отв}=U_{ном}$ определяем:

$$\frac{I_{\text{нс ТС}}}{I_{\text{ном}}}=\frac{k_{\text{т}}}{\frac{u_{\text{кВ}}}{100}+\frac{S_{\text{н ТС}}}{S_{\text{к.з}}}}=\frac{1}{0,1075+\frac{63}{15\,000}}=9>4,44.$$

Расчетную проверку трансформаторов, работающих в блоке с генераторами, можно не производить, так как по ним проходят те же токи, что и в генераторах.

Таким образом, при несинхронном включении только ток в синхронном компенсаторе превышает допустимое значение. Проведем дополнительный уточненный расчет с учетом нагрузки на шинах низшего напряжения трансформатора связи *ТС.*

*Расчет с учетом нагрузки* (контакт *К* замкнут).

Эквивалентная э. д. с. генератора *Г1,* синхронного компенсатора *СК* и нагрузки (рис. 3.3,г)

$$E''_{\text{эз}}=\frac{E''_{\text{э1}}x''_{\text{н}}+E''_{\text{н}}(x_{\text{э1}}-x_{\text{ТС В}})}{x''_{\text{н}}+x_{\text{э1}}-x_{\text{ТС В}}}=$$

$$=\frac{1,05\cdot 1,06+0,9\cdot 0,311}{1,06+0,311}=1,02.$$

Сопротивление эквивалентного источника

$$x_{\text{эз}}=\frac{x''_{\text{н}}(x_{\text{э1}}-x_{\text{ТС В}})}{x''_{\text{н}}+(x_{\text{э1}}-x_{\text{ТС В}})}+x_{\text{ТС В}}=\frac{1,06\cdot 0,311}{1,06+0,311}+0,171=0,411$$

Ток несинхронного включения с учетом нагрузки

$$I_{\text{нс.л}}=\frac{E''_{\text{эз}}+E''_{\text{эз}}}{x_{\text{эз}}+x_{\text{л}}+x_{\text{эз}}}=\frac{1,02+1,05}{0,411+0,121+0,147}=3,05.$$

Суммарный ток в ветви генератора *Г1* и синхронного компенсатора *СК*

$$I_{\text{нс Г1}}+I_{\text{нсСК}}=\frac{I_{\text{нс.л}}x''_{\text{н}}+\Delta E}{x''_{\text{н}}+(x_{\text{э1}}-x_{\text{ТС В}})}=\frac{3,05\cdot 1,06+0,15}{1,06+0,311}=2,46,$$

где $\Delta E=E''_{\text{э1}}-E''_{\text{н}}=1,05-0,9=0,15.$

Ток синхронного компенсатора

$$\frac{I_{\text{нс СК}}}{I_{\text{ном}}}=2,46\,\frac{0,407}{0,407+1,33}\cdot\frac{100}{15}=3,86<4,2.$$

Ток в гидрогенераторах увеличится до 1,53$I_{\text{ном}}$, что меньше допустимого. Ток турбогенератора уменьшится за счет нагрузки.

Таким образом, допустимость применения НАПВ была доказана только при учете нагрузки

## *5. Подготовка доклада на конференцию (по желанию).*

На основании изученного материала выбрать тему доклада на конференции по теме занятия и согласовать ее с преподавателем.

Провести дополнительный анализ темы по различным источникам информации.

Составить презентацию по результатам своей работы для доклада на конференции

## *6. Контрольные вопросы*

6.1.Особенноти  применения АПВ на линиях с двусторонним питанием.
6.2.Краткое понятие о быстродействующем АПВ .
6.3.Краткое понятие о АПВ с улавливанием синхронизма.
6.4.Краткое понятие о АПВ с ожиданием синхронизма.
6.5.Краткое понятие о АПВ с самосинхронизацией генераторов.
6.6.Какое возможно влияние нагрузки на допустимость применения НАПВ.
6.7.Ваши предложения по совершенствованию АПВ при двустороннем питании линиа.

## *7. Содержание отчета*

7.1. Наименование практического занятия.
7.2. Цель практического занятия.
7.3. Схема ВЛ с двусторонним питанием.
7.4. Временная диаграмма цикла АПВ со стороны 1 и 2 линии.
7.5. Основные принципы построения устройств ТАПВ линий с двусторонним питанием работы.
7.6. Порядок определения допустимости применения НАПВ.
7.7. Краткие ответы на контрольные вопросы.

Практическое занятие № 3

# АВТОМАТИЧЕСКОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ РЕЗЕРВА ПИТАЮЩЕГО ПРИСОЕДИНЕНИЯ

## 1. Цель работы

В процессе выполнения работы изучить назначение автоматического включения резерва (АВР), классификацию устройств АВР и требования к устройствам АВР. Ознакомиться с пусковыми органами и схемами включения резервного источника. Выполнить расчет параметров настройки реле устройства АВР и релейной защиты резервного трансформатора.

## 2. Общие сведения

Для обеспечения надежности электроснабжения электроприемников I категории необходимо наличие нескольких независимых источников питания. Может применяться *многостороннее* питание и *одностороннее* питание с АВР. При многостороннем питании аварийное отключение одного из источников питания не приводит к нарушению электроснабжения потребителей, но зачастую требуется кольцевание сети. При одностороннем питании используются радиально-секционированные сети, т.е. электроснабжение потребителя осуществляется по рабочей цепи (от трансформатора, линии, секции шин), а при ее отключении – по *резервной*, включаемой автоматически. *Преимущества* одностороннего питания с АВР: снижение токов КЗ и удешевление электрооборудования, снижение потерь электроэнергии в сети, упрощение релейной защиты.

В зависимости от конкретных условий работы и схем первичной коммутации устройства АВР отличаются друг от друга. Их можно классифицировать по следующим основным признакам.

*По типу резервного оборудования*, на которое действует автоматика, - АВР трансформаторов, линий электропередачи, секций шин, агрегатов собственных нужд электростанций и подстанций.

*По направленности действия* – АВР одностороннего и двустороннего действия. Поясняющая схема показана на рис. 3.1.

Если устройство АВР одностороннего действия, то первый источник ЭЭС1 всегда рабочий и выключатель $Q1$ нормально включен, а второй источник ЭЭС2 – резервный и выключатель $Q2$ нормально отключен. При потере питания нагрузки устройство АВР действует на включение выключателя $Q2$. Возврат к нормальной схеме осуществляется вручную оперативным персоналом или по каналу телеуправления.

Если устройство АВР двустороннего действия, то любой из источников может быть как рабочим, так и резервным.

*По виду резерва, включаемого устройством*, - АВР при наличии явного и неявного резерва.

Явный резерв находится под напряжением, но без нагрузки. В случае неявного резерва нагрузка распределена между всеми источниками, которые осуществляют взаимное резервирование при отключении одного из них. При этом мощность каждого из источников должна быть достаточной для покрытия собственной нагрузки, а также всей

или части нагрузки резервируемого источника. Действие АВР не должно приводить к перегрузке резервирующего источника.

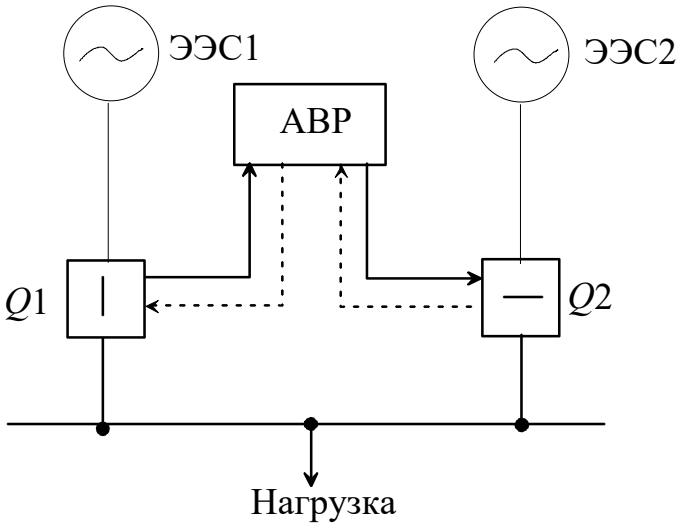



Рис. 3.1. Схема действия устройства АВР

*По виду источника питания устройства* – АВР на постоянном или на переменном оперативном токе.

Важными являются требования к АВР:

1. Должны приходить в действие от специального пускового органа при потере питания от рабочего источника по любой причине, включая КЗ на шинах потребителя. Исключение составляет случай, когда нагрузка отключается действием устройств автоматической частотной разгрузки – АЧР и необходим запрет действия устройств АВР.
2. Включение резервного источника питания должно осуществляться только после отключения выключателя на вводе от рабочего источника питания. Это необходимо для предотвращения:
   - неуспешного АВР даже при неустойчивом КЗ на шинах потребителя или в неотключившемся рабочем источнике,
   - возможного несинхронного включения двух источников питания.

Отключение выключателя рабочего источника выполняется релейной защитой или пусковым органом АВР, включение резервного – от реле *KQT* (реле положения «отключено») или от вспомогательных контактов *SQ* выключателя рабочего источника.

3. Во избежание многократного включения резервного источника на устойчивое КЗ действие устройства АВР должно быть однократным. Это достигается ограничением длительности подачи команды на включение резервного источника.
4. Необходимо предусматривать ускорение действия релейной защиты резервного источника после АВР, что особенно важно при включении неявного резерва на устойчивое КЗ.
5. Должны обеспечиваться нормальные условия самозапуска электродвигателей после АВР. В противном случае необходимо предусматривать автоматическую разгрузку за счет отключения неответственных потребителей с последующим их АПВ.

## 3.Основные принципы выполнения устройств АВР

*Пусковые органы* АВР предназначены для отключения выключателя рабочего источника при потере питания потребителей по любой причине. Признаком потери питания является исчезновение или понижение напряжения, а при наличии синхронных двигателей, поддерживающих напряжение, - понижение частоты. Для действия пускового органа необходим контроль напряжения на резервном источнике, так как при его отсутствии или недопустимо низком значении восстановление питания после АВР не произойдет. Пусковой орган не должен действовать при повреждениях во вторичных цепях трансформатора напряжения, т.е. при потере вторичного напряжения и наличии первичного. Пусковой орган должен быть отстроен по времени от действия устройств релейной защиты в сети рабочего источника и от действия АПВ, способных восстановить питание потребителя.

На рис. 3.2 показаны некоторые варианты схем пусковых органов напряжения (ПОН) для устройства АВР одностороннего действия.

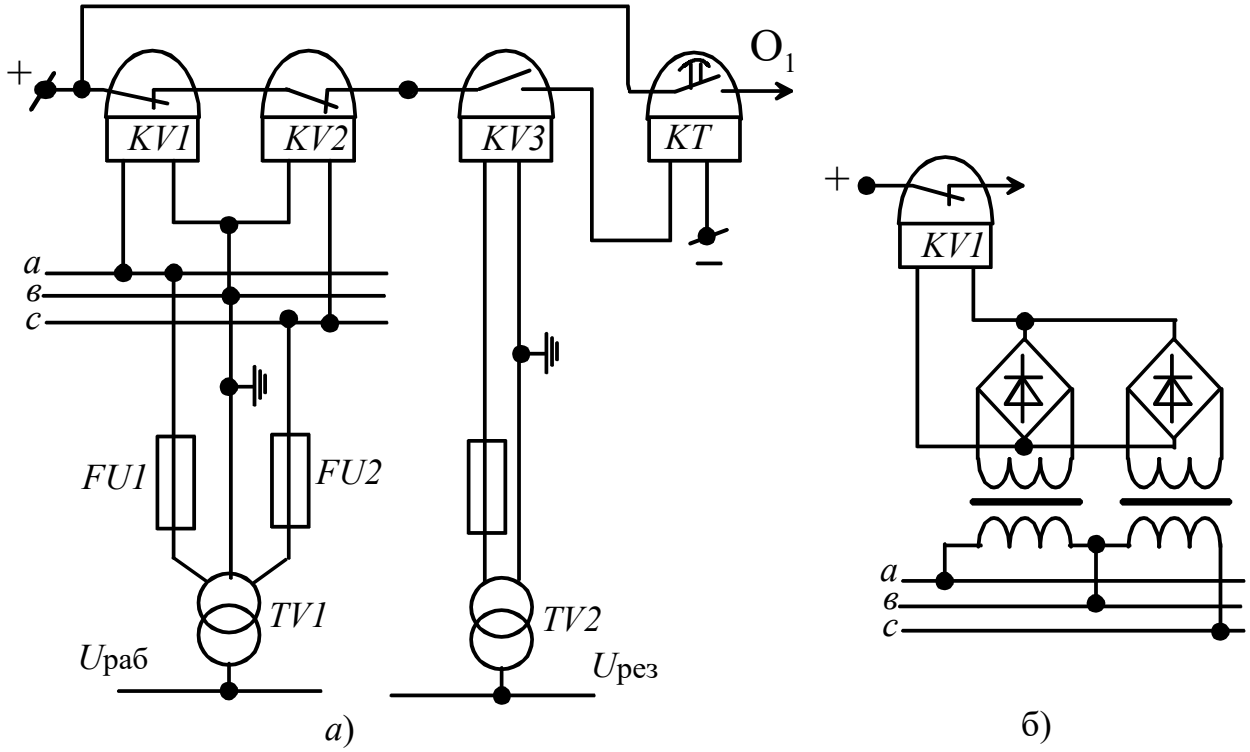



Рис. 3.2. Схемы пусковых органов АВР одностороннего действия

Команда на отключение выключателя рабочего источника $O_1=1$ будет подана от ПОН рис. 3.2,а при замыкании контактов минимальных реле напряжения *KV*1 и *KV*2, т.е. при исчезновении (или недопустимом понижении) напряжения $U_{раб}$, при замыкании контакта максимального реле напряжения *KV*3, т.е. при наличии напряжения $U_{рез}$, после срабатывания реле времени *KT*. При повреждении во вторичных цепях *TV*1 и перегорании одного из предохранителей *FU*1 или *FU*2 замкнется контакт только одного реле *KV*1 или *KV*2, т.е. цепь формирования команды не замкнется, $O_1=0$. Таким образом, осуществляется в этой схеме контроль исправности вторичных цепей *TH*. На схеме

рис. 3.2,б для фиксации $\overline{U_1}$ =1 и контроля исправности вторичных цепей *ТН* используется одно минимальное реле *КИ*1, включенное через максиселектор междуфазных напряжений $U_{ав}$ и $U_{вс}$. При перегорании одного из предохранителей (как на рис. 3.2,а) *КИ*1 не работает.

На рис. 3.3 показана схема ПОН на логических элементах для устройства АВР двустороннего действия. Двусторонность действия означает, что ПОН действует на отключение рабочего источника 1 или 2, если другой является резервным.

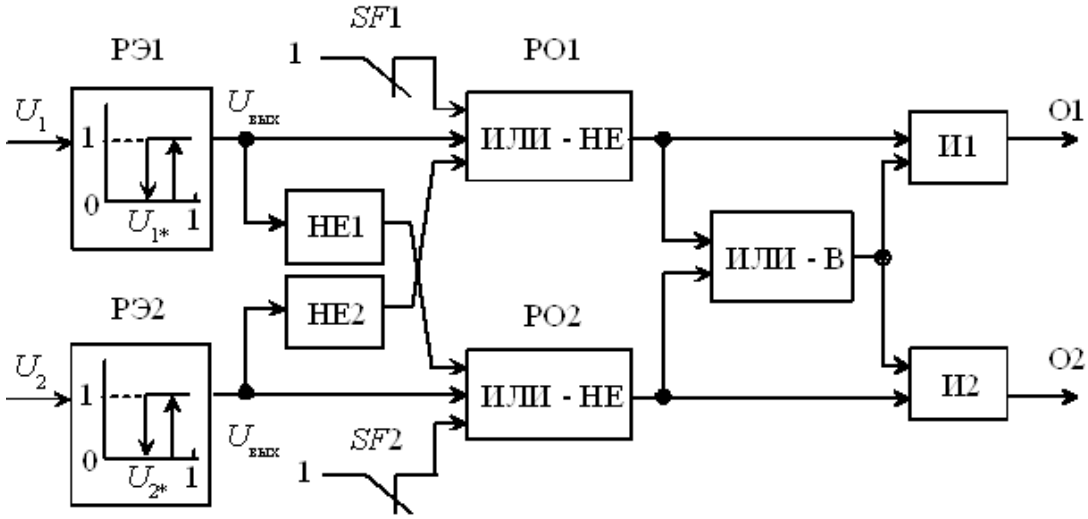



Рис. 3.3. Схема пускового органа напряжения на логических элементах двустороннего действия

В состав схемы входят:

- релейные элементы РЭ1 и РЭ2, срабатывающие в нормальном режиме ( $U_{\text{вых}} = 1$ ) и возвращающиеся при потере питания ( $U_{\text{вых}} = 0$ );
- логические элементы НЕ, ИЛИ-НЕ, ИЛИ-В (В – выдержка времени), И;
- вспомогательные контакты *SF*1 и *SF*2 автоматических выключателей во вторичных цепях ТН*, подающих в схему напряжения* $U_1$ и $U_2$ соответственно (по схеме рис. 3.2,б). При включенных выключателях контакты *SF*1 и *SF*2 разомкнуты, и сигналы по их цепям на входе РО1 и РО2 равны нулю.

Реагирующий орган РО1 или РО2 срабатывает (на выходе появляется 1), если все входные сигналы равны нулю, т.е. снизилось рабочее напряжение ($U_{вых}$=0), есть резервное напряжение (на выходе НЕ - нуль) и не отключился автоматический выключатель в цепи ТН рабочего источника (SF разомкнут). После срабатывания РО с выдержкой времени ИЛИ – В срабатывает И, подавая сигнал на отключение выключателя рабочего источника ( $O_1$ или $O_2$ равно 1).

Если устройства АВР используются для включения резервных агрегатов, например, электродвигателей ответственных механизмов собственных нужд, то пуск АВР должен обеспечиваться при недопустимом устойчивом понижении контролируемого технологического параметра: давления, скорости, расхода и т.д.

Подача команды на включение резервного источника производится от вспомогательного контакта выключателя рабочей цепи SQ1 (рис. 3.4,а) или от контакта реле

положения отключено KQT этого выключателя (рис. 3.4,б) при его отключении по любой причине, в том числе и от пускового органа. При этом обеспечивается однократность подачи команды благодаря размыканию цепи контактом реле KL (рис. 4.4,а) или KQC (рис. 3.4,б), имеющими замедление при возврате. Выдержка времени при возврате должна быть достаточной для надежного включения выключателя резервной цепи, но должна быть ограничена, чтобы не допустить повторное включение этого выключателя при устойчивом КЗ на шинах.

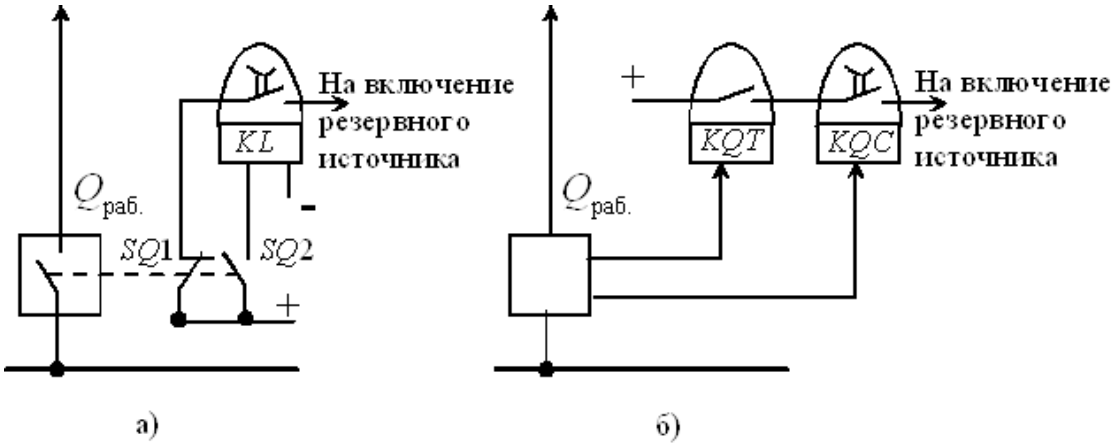



Рис. 3.4. Способы включения резервного источника с обеспечением однократности

*Блокирование АВР* при отключении нагрузки от АЧР может осуществляться с помощью минимального реле частоты KF. Уставка реле KF должна быть выше уставки автоматики АЧР. Поэтому раньше, чем АЧР отключит рабочее питание и сработает ПОН (KV1, KV2, KV3, KT – см. рис. 3.2,а), промежуточное реле KL своим размыкающим контактом KL:1 выводит его из работы. После отключения от АЧР рабочего питания замыкаются контакты KV1 и KV2 (KV3 замкнут), размыкается контакт KF, но реле KL самоудерживается через контакт KL:2 до восстановления питания нагрузки.

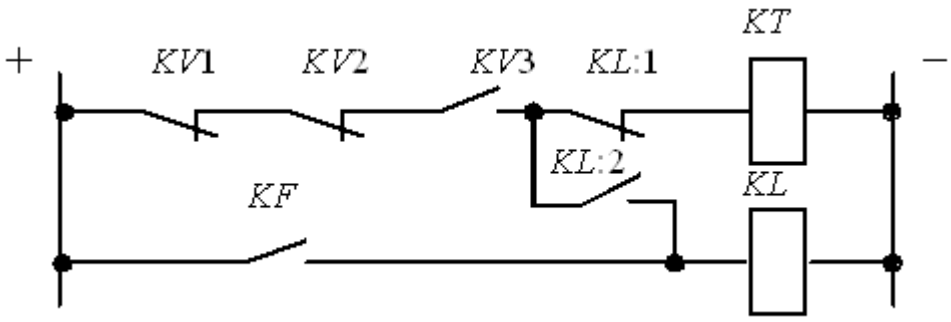



Рис. 3.5. Блокирование АВР при снижении частоты

*Схема ускорения* релейной защиты *АК* резервного источника питания после АВР показана на рис. 3.6.

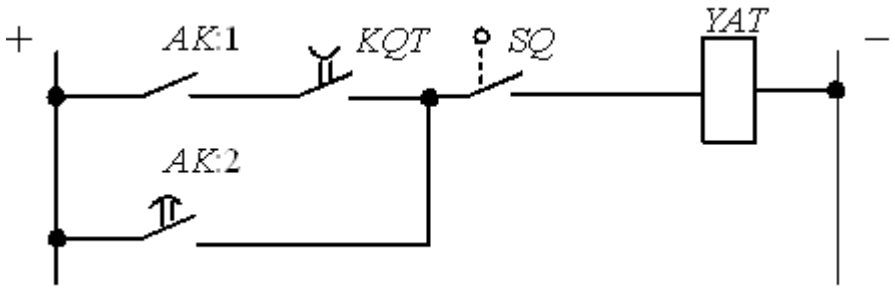



Рис. 3.6. Схема ускорения РЗ.

После включения выключателя резервного источника питания вспомогательный контакт выключателя *SQ* замыкается, а контакт реле положения отключено *KQT*, имеющего замедление при возврате, остается замкнутым в течение некоторого времени. Если резервный источник питания включается на устойчивое КЗ, то его неселективная релейная защита контактом *AK*:1 отключает выключатель без выдержки времени. Если АВР успешное, то через выдержку времени реле *KQT* его контакт размыкается, т.е. вводится селективная защита *AK*:2 с выдержкой времени.

## *3.Расчет параметров настройки реле устройства АВР и релейной защиты резервного трансформатора.*

*Дано:* 1. Рабочий и резервный трансформаторы (рис. 3.7) питаются от секций щин А и В генераторного напряжения 6,3 кВ. Мощность каждого из трансформаторов $S_T$ = 3200 кВА, реактивное сопротивление $x_{Тр}$ = 5%.

2. На трансформаторах кроме токовой отсечки с временем срабатывания $t_{оТр}$ = 0,1 с предусмотрена максимальная токовая защита с временем срабатывания $t_{аТр}$

3. Время отключения выключателей $t_{о.в}$ = 0,15 с, время включения выключа-телей $t_{в.в}$ = 0,25 с.

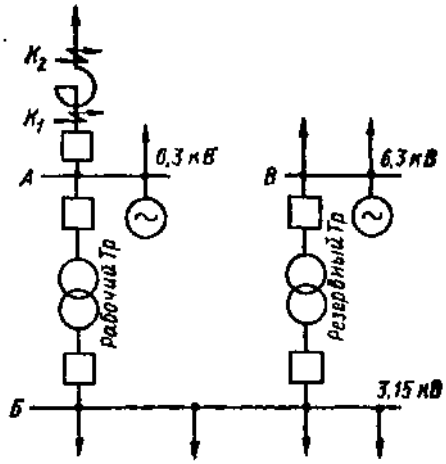



Рис. 3.7. Расчетная схема для выбора параметров настройки реле устройства АВР,

4. Наименьшая величина остаточного напряжения на шинах 6,3 кВ, получающаяся при коротком замыкании в точке $К_2$ (рис. 3.7), составляет 65% его номинального значения.

5. Время срабатывания линейной токовой отсечки, действующей при коротком замыкании в точке $К_1$, принять $t_{р.з}$ = 0,15 с.

6. К шинам 3,15 кВ подключено восемь двигателей мощностью по $Р_н$ = 200 кВт, $U_Н$ = 3 кВ, cosφ = 0,81. Каждый из двигателей работаете нагрузкой, равной 90% его номинальной мощности. Момент сопротивления приводимых двигателями механизмов постоянный.

7. Электромеханические характеристики двигателей и кривые выбега механизмов приведены соответственно на рис. 3.8 и 3.9.

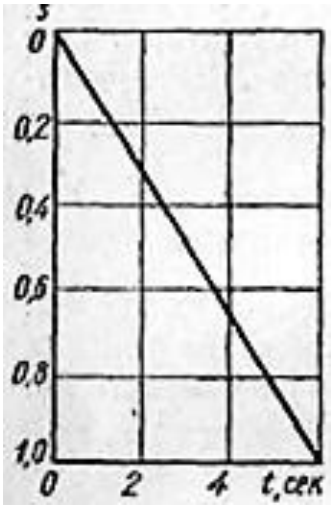



Рис. 3.8. Кривая s = = / (/) выбега приводимых двигателями механизмов при исчезновении напряжения (при $U$ = 0).

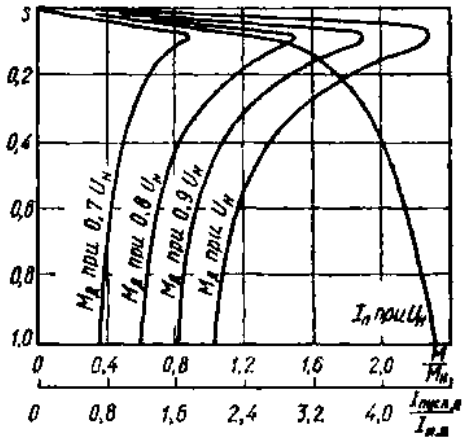



Рис. 3.9. Кривые вращающего момента и пускового тока электродвигателя.

8. Двигатели защищены от короткого замыкания токовыми отсечками с временем срабатывания $t_{о.д}$ =0,1 с.

*Требуется:* 1. Составить принципиальную схему устройства автоматического ввода резервного трансформатора, питающего секцию собственного расхода электрической станции, применительно к схеме первичных соединений (рис. 3.7).

2. Рассчитать уставки устройства АВР.

3. Рассчитать уставку токовой защиты резервного трансформатора, исходя из отстройки от пускового тока двигателей.

4. Проверить возможность самозапуска двигателей, питающихся от шин 3,15 кВ.

*Решение.* Схема АВР может быть принята с применением реле однократности включения типа РЭВ серийного исполнения. Так как по условию время включения выключателя резервного трансформатора $t_{в.в}$= 0,25 с, то в качестве реле' однократности включения РОВ можно принять реле типа РЭВ, позволяющее получить замедление на отпадание якоря до 2 с. Время замедления этого реле определяем, принимая запас надежности $\Delta t$ =0,25 с. При этом получим

$$t_{\text{РОВ}} = t_{\text{в. в}} + \Delta t = 0{,}25 + 0{,}25 = 0{,}5 \text{ с}.$$

Определяем соответственно выдержку времени реле РВ

$$t_{\text{РВ}} = t_{\text{р. з}} + \Delta t = 0{,}15 + 0{,}5 = 0{,}65 \text{ с};$$
$$t_{\text{РВ}} = t_{\text{о. д}} + \Delta t = 0{,}1 + 0{,}5 = 0{,}6 \text{ с}.$$

Принимаем $t_{\text{РВ}} = 0{,}7$ с.

Так как $t_{\text{РВ}} > {}^{t}_{\text{аТр}}$, то расчетное время подачи плюса на реле 1РП будет $t_{\text{р}} = 0{,}7$ с. Тогда, принимая время срабатывания промежуточных реле 1РП и 2РП одинаковым и равным $t_{\text{РП}} = 0{,}05$ с, время перерыва в питании двигателей определяем по формуле

$$t = t_{\text{р}} + t_{\text{1РП}} + t_{\text{о. в}} + t_{\text{2РП}} + t_{\text{в. в}} + \Delta t =$$
$$= 0{,}7 + 0{,}05 + 0{,}15 + 0{,}05 + 0{,}25 + 0{,}3 = 1{,}5 \text{ с}.$$

По кривой выбега механизмов (рис. 3.8) определяем скольжение *s,* которое будут иметь двигатели при перерыве в питании. При этом s ≈ 0,3. Зная скольжение, по кривой характеристик (рис. 3.9) при напряжении двигателей, равном номинальному, определяем кратность пускового тока

$$\frac{I_{\text{пуск. д}}}{I_{\text{н. д}}} = 3{,}9.$$

В соответствии с заданным условием суммарная мощность нагрузки двигателей где *n* —- число двигателей

$$P_{\Sigma\text{д}} = 0{,}9 \cdot P_{\text{н}} \cdot n = 0{,}9 \cdot 200 \cdot 8 = 1440 \text{ кВт},$$

При этом суммарный ток нагрузки двигателей

$$I_{\Sigma\text{д}} = \frac{P_{\Sigma\text{д}}}{\sqrt{3}\, U_{\text{н}} \cos\varphi} = \frac{1440}{\sqrt{3} \cdot 3 \cdot 0{,}81} = 342 \text{ А}.$$

Суммарный пусковой ток двигателей

$$I_{\Sigma \text{ пуск}} = \frac{I_{\text{пуск. д}}}{I_{\text{н. д}}} \cdot I_{\Sigma\text{д}} = 3{,}9 \cdot 342 = 1334 \text{ А},$$

или, относя его к высшему напряжению трансформатора, где установлена токовая защита, получаем

$$I_{\text{пуск}} = I_{\Sigma \text{ пуск}} \frac{U_{II}}{U_{I}} = 1334 \cdot \frac{3{,}15}{6{,}3} = 667 \text{ А}.$$

Тогда первичный ток срабатывания защиты трансформатора

$$I_{с.\,з} = \frac{k_н}{k_в} \cdot I_{пуск} = \frac{1{,}45}{0{,}85} \cdot 667 \approx 1140 \text{ А}.$$

Зная коэффициент трансформации трансформаторов тока $n_т$ и коэффициент схемы $k_{Cхt}$ можно определить ток срабатывания токового реле защиты и выбрать уставку.

Сопротивление двигателя определим по уравнению

$$x_{*д} = \frac{I_{нII}}{\frac{I_{пуск.\,д}}{I_{н.\,д}} n I_{н.\,д}} \frac{U_н^2}{U_{II}^2} = \frac{590}{3{,}9 \cdot 8 \cdot 47{,}5} \cdot \frac{3^2}{3{,}15^2} = 0{,}36,$$

где номинальный ток трансформатора

$$I_{нII} = \frac{S_{Тр}}{\sqrt{3}\, U_{II}} = \frac{3200}{\sqrt{3} \cdot 3{,}15} = 590 \text{ А},$$

а номинальный ток двигателя

$$I_{н.\,д} = \frac{P_{н.\,д}}{\sqrt{3}\, U_н \cos\varphi} = \frac{200}{\sqrt{3} \cdot 3 \cdot 0{,}81} = 47{,}5 \text{ А}.$$

Восстанавливающееся напряжение на двигателях

$$U_B = \frac{U_{II} x_{*д}}{x_{*д} + x_{*Тр}} = \frac{3150 * 0{,}36}{0{,}36 + 0{,}05} = 2760 \text{ В}.$$

или в процентах номинального напряжения двигателей

$$U_в\,\% = \frac{2760}{3000} \cdot 100 = 92\%.$$

Зная восстанавливающееся напряжение $U_B\%$ и скольжение $s$, по кривым моментов (рис. 3.9) проверяем возможность самозапуска двигателей. Так как при этих данных относительный вращающий момент $M/M_н$=1,25, а момент сопротивлении приводимых двигателями механизмов равен единице, то превышение вращающего момента над моментом сопротивления, равное 25%, должно обеспечить разворот всех восьми двигателей секции собственного расхода.

Напряжение срабатывания реле минимального напряжения определяем по уравнению

$$U_{ср\,1РН} = \frac{U_{к.\,з}}{k_н} \cdot \frac{U_{II}}{U_I} = \frac{0{,}65 U_I}{k_н} \cdot \frac{U_{II}}{U_I} = \frac{0{,}65 U_{II}}{k_н} = \frac{0{,}65 \cdot 3{,}15}{1{,}25} = 1{,}64 \text{ кВ}.$$

Напряжение срабатывания этого же реле находим по формуле

$$U_{ср\,1РН} = \frac{U_в}{k_н} = \frac{2{,}76}{1{,}25} = 2{,}2 \text{ кВ}.$$

Так как меньшее из полученных значений, т. е. 1,64 кВ, составляет больше 25% $U_{н.н}$ = 3,15 кВ, то в качестве расчетного значения напряжения срабатывания реле минимального напряжения принимаем окончательно величину

$$U_{ср\ 1РН} = 0{,}25U_{н.\ н} = 0{,}25 \cdot 3{,}15 = 0{,}79\ кВ.$$

Напряжение срабатывания реле максимального напряжения определяем

$$U_{ср\ 2РН} = \frac{k_в}{k_н} U_{раб.\ мин} = \frac{k_в}{k_н} \cdot 0{,}9U_{1} = \frac{0{,}85}{1{,}25} \cdot 0{,}9 \cdot 6{,}3 = 3{,}85\ кВ.$$

Напряжение $U_{ср2РН}$ по отошению к напряжению 6,3 кВ составляет 61%, т. е. свыше 60%, то его принимаем окончательно в качестве расчетного значения.

## *5. Подготовка доклада на конференцию (по желанию).*

На основании изученного материала выбрать тему доклада на конференции по теме занятия и согласовать ее с преподавателем.

Провести дополнительный анализ темы по различным источникам информации.

Составить презентацию по результатам своей работы для доклада на конференции

## *6. Контрольные вопросы*

6.1.Как использовали кривую выбега механизмов.

6.2.Как использовали кривые вращающего момента и пускового тока электродвигателя.

6.3.Как работает схема пускового органа напряжения двустороннего действия на логических элементах.

6.4.Почему в схеме пусковых органов АВР используется два реле минимального напряжения.

6.5.Для чего выполняется блокирование АВР при снижении частоты.

6.6.Для чего выполняется ускорение релейной защиты при действии АВР.

6.7.Ваши предложения по совершенствованию способов и устройств АВР.

## *7. Содержание отчета*

7.1. Наименование практического занятия.

7.2. Цель практического занятия.

7.3. Требования к устройствам АВР.

7.4. Схемы пуска АВР

7.5. Схемы включения резервного источника.

7.6. Расчет параметров настройки реле устройства АВР.

7.7. Краткие ответы на контрольные вопросы.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Дроздов А.Д. Автоматизация энергетических систем/ А.Д. Дроздов, А.С. Засыпкин, А.А. Аллилуев, М.М. Савин // – М.: Энергия. – 1977. – 440с.
2. Засыпкин А.С. Автоматизация энергетических систем. Общая противоаврийная автоматика/ А.С. Засыпкин// -Новочеркасск: ЮРГТУ.- 2008. – 132с
3. Гизила Е.П. Расчет устройств автоматикиэнергосистем/ Е.П. Гизилов// - Киев: Вища школа. – 1974. – 341с.