



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
УПРАВЛЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Кафедра «Интеллектуальные электрические сети»

**Методические  
задания и указания**  
к контрольной работе по дисциплине

**Технологическая  
и потивоаварийная  
автоматика в  
электроэнергетических  
системах»**

Автор  
Шелест В.А.

Ростов-на-Дону, 2020

## Аннотация

«Методические указания и задания к контрольной работе» предназначены для студентов очной и заочной форм обучения по направлению «Электроэнергетика и электротехника», коды 13.03.02 и 13.04.02.

## Автор



доцент, к.т.н.,  
доцент кафедры  
«Интеллектуальные  
электрические сети»  
Шелест В.А.



## Оглавление

<b>Общие требования к выполнению контрольных работ.....</b>	<b>4</b>
<b>1. Часть 1 - рефераты.....</b>	<b>5</b>
<b>2. Часть 2 – ответы на вопросы.....</b>	<b>7</b>
<b>3. Часть 3 – расчет уставок синхрониза- ции.....</b>	<b>9</b>
<b>4. Пример расчёта уставок синхронизато- ра СА-1.....</b>	<b>10</b>
<b>Список литературы.....</b>	<b>14</b>

## **Общие требования к выполнению контрольных работ**

1. Выполнению контрольной работы предшествует изучение теоретической части курса по дисциплине.
2. Контрольная работа состоит из 3 частей: написание рефератов, ответы на вопросы и расчет уставок синхронизатора для включения генератора на параллельную работу с энергосистемой.
3. Возможны дистанционные консультации по выполнению контрольной работы.
4. Рекомендуется контрольную работу печатать (формат А4).
5. Использовать титульный лист установленного образца.
6. Текст и формулы набираются в редакторе Word.
7. Рисунки и графики выполняются в графическом редакторе.
8. Контрольная работа регистрируется в деканате.
9. При защите необходимо показать знание материала, изложенного в контрольной работе.
10. Без защищенной контрольной работы студент к экзамену не допускается.

## 1. Часть 1 - рефераты.

Студенту необходимо написать два реферата. Номера тем рефератов выбираются из таблицы 1 по последним двум цифрам номера зачетки.

Таблица 1-номеров тем рефератов.

Предпоследняя цифра номера зачетки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Тема реферата 1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Последняя цифра номера зачетки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Тема реферата 2	11	12	13	14	15	16	17	18	19,	20

*Темы рефератов по первой части контрольной работы.*

1. Назначение АПВ. Классификация АПВ. Основные требования к схемам АПВ.
2. Электрическое АПВ однократного действия. Особенности выполнения АПВ на телемеханизированных п/ст на воздушных выключателях.
3. Выбор уставок однократных АПВ для линий с односторонним питанием. Ускорение действия релейной защиты после АПВ.
4. Ускорение действия релейной защиты до АПВ. Двукратное АПВ.
5. Трехфазное АПВ на линиях с двусторонним питанием. Общие сведения. Несинхронное АПВ. Быстродействующие АПВ.
6. АПВ с ожиданием синхронизма. Реле контроля синхронизма.
7. Ускоренное ТАПВ. АПВ с улавливанием синхронизма и устройства отбора напряжения с линии для цепей АПВ.
8. Однофазное АПВ. АПВ шин. АПВ трансформаторов. АПВ электродвигателей.
9. Назначение АВР. Основные требования к схемам АВР.
10. Принцип действия АВР. Автоматическое включение ре-

зервных трансформаторов.

11. Сетевые АВР. Расчет уставок АВР.
12. Точная синхронизация. Самосинхронизация. Сравнение способов синхронизации.
13. Полуавтоматический синхронизатор с постоянным углом опережения. Автоматический синхронизатор с постоянным временем опережения.
14. Полуавтоматический синхронизатор.
15. Баланс мощности и частота. Частотная статическая характеристика потребителей.
16. Частотная статическая характеристика генерирующей части энергосистемы. Совмещенная частотная статическая характеристика энергосистемы.
17. Устройства автоматического регулирования частоты. Общие сведения. Система АРЧМ тепловой электростанции.
18. Назначение и основные принципы выполнения АЧР. Первая и вторая категории (очереди) АЧР. Реле частоты.
19. Снижение частоты при кратковременном отключении подстанции в цикле АПВ или АВР. Снижение частоты вследствие наброса мощности при КЗ и при асинхронном ходе.
20. Автоматическое повторное включение после АЧР. Схемы АЧР и ЧАПВ.

## 2. Часть 2 – ответы на вопросы

Студенту необходимо ответить письменно на 6 вопросов. Вопросы заданы в 20 группах, по 3 вопроса в каждой. Номера групп вопросов выбираются из таблицы 2 по последним двум цифрам номера зачетки.

Таблица 2- номеров групп вопросов.

Предпоследняя цифра номера зачетки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Первая группа вопросов	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Последняя цифра номера зачетки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Вторая группа вопросов	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11

*Группы вопросов по второй части контрольной работы.*

1. Способы синхронизации генераторов. Условия точной синхронизации. При построении каких синхронизаторов используется огибающая напряжения биений?
2. Каковы будут последствия, если  $E_1 \neq E_2$ , а остальные условия синхронизации выполняются, т. е.  $f_1 = f_2$ ,  $\delta = 0$ ?  
Каковы будут последствия, если  $\delta \neq 0$ , а остальные условия синхронизации выполняются, т. е.  $E_1 = E_2$ ,  $f_1 = f_2$ ?  
Каковы будут последствия, если  $f_1 \neq f_2$ , а остальные условия синхронизации выполняются, т. е.  $\delta = 0$ ,  $E_1 = E_2$ ?
3. Чем обусловлена свободная составляющая уравнивающей мощности? Что означает коэффициент запаса по электромагнитному моменту ( $K_M$ )? Какие моменты действуют на ротор при самосинхронизации после включения выключателя (до подачи возбуждения)?
4. Условие допустимости самосинхронизации? Достоинства метода самосинхронизации и недостатки? Какой может быть угловая ошибка в синхронизаторе с постоянным углом опережения?
5. Какими параметрами ограничивается угол опережения в КА11/13? Каким образом контролируется частота скольжения в синхронизаторе с постоянным углом опережения? Принцип работы блока задания времени опережения в АСТ-4?

6. Принцип контроля частоты скольжения в АСТ-4? Основные узлы АСТ-4. Что используется в качестве информативного параметра в синхронизаторе СА-1?
7. Какие блоки входят в состав структурной схемы СА-1? Основные преимущества синхронизатора СА-1 по сравнению с АСТ-4? Какие запрещающие сигналы формируются в СА-1?
8. Способы включения синхронных электродвигателей? Какие моменты действуют на СД при его включении до подачи возбуждения? Классификация АПВ
9. Требования к АПВ? Принцип запуска АПВ? Для чего нужна выдержка времени АПВ?
10. Что такое время готовности АПВ? Принципы ускорения защиты "после АПВ" и "до АПВ"?
11. Для чего используется управляющий сигнал "блокировка АПВ"? Для чего выходной реле устройства АПВ выполняют с двумя обмотками? Особенности АПВ параллельных линий с односторонним питанием?
12. Виды АПВ на линиях с двухсторонним питанием? Критерии допустимости НАПВ? Условия применимости БАПВ?
13. Критерий допустимости БАПВ? Почему используют реле сопротивления в АПВ? Основные особенности АПВ шин?
14. Достоинства ОАПВ? Недостатки ОАПВ? В чем заключается регулирующий эффект нагрузки?
15. Каким коэффициентом характеризуется регулирующий эффект нагрузки, его физическое толкование? Что такое "статические" и "динамические" характеристики энергосистемы? Что такое "частотно-временная зона"?
16. Что такое "лавина частоты"? Принцип построения АЧР? Назначение АЧР-I?
17. Назначение АЧР-II? Назначение дополнительной категории разгрузки? Каким должен быть объем разгрузки АЧР-I и АЧР-II?
18. Способы организации АЧР? Почему не все 100% очередей АЧР-II выполняют совмещенными? Назначение ЧАПВ?
19. Принцип работы ЧАПВ с контролем частоты? Почему используется реле однократности включения? Какие блокировки используются в АВР резервного трансформатора?
- 20. Какова успешность действия АВР в %? Допускается ли включение резервного источника питания при КЗ на шинах потребителя? Почему необходимо уменьшать время срабатывания АПВ?**



### **3. Часть 3 – расчет уставок.**

Студенту необходимо выполнить расчет уставок синхронизатора СА-1 для включения на параллельную работу генератора электростанции с энергосистемой. Необходимые исходные данные выбираются из таблицы 3 по последним двум цифрам номера зачетки

## 4. Пример расчёта уставок синхронизатора СА-1

*Исходные данные.* Конденсационная электростанция (КЭС) состоит из блоков с генераторами ТВВ-320-2 и имеет связь с системой по нескольким линиям. Время включения генераторного выключателя типа ВВГ-20-160/12500 составляет 0,14 с, разброс по времени включения 0,04 с, погрешности синхронизатора  $\Delta t_{\text{с}}^* = 0,02$ ,  $\Delta \delta_{\text{с}} = 0,05$  рад.

В примере рассмотрим включение в процессе синхронизации любого генератора, например, Г5. Расчёт параметров синхронизатора начинаем с составления схемы замещения и определения значений сопротивлений и ЭДС её элементов. Все генераторы должны быть представлены в схеме замещения сверхпереходными сопротивлениями, приведенными к относительным номинальным единицам генератора.

Схема замещения преобразовывается к виду, показанному на рисунке 1.

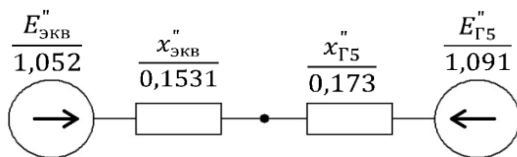


Рис. 1. Эквивалентная схема замещения

В качестве критерия допустимости включения генератора используется коэффициент запаса по моменту на валу генератора  $K_{\text{м}} \geq 2$ . Этот коэффициент нормируется и означает, что при включении генератора на параллельную работу возникающий электромагнитный момент должен быть как минимум в 2 раза меньше момента при трехфазном КЗ.

Допустимый ток включения генератора определяем по формуле:

$$I_{\text{вкл доп}}^* \leq \frac{1}{2K_{\text{м}} * x''_{\text{Г5}}}$$

$$I_{\text{вкл доп}^*} \leq \frac{1}{2 * 2 * 0,173} = 1,445$$

Принимаем с запасом  $I_{\text{вкл доп}^*} = 1$ .

Максимально допустимый угол включения (максимально допустимый угол ошибки) определяем по формуле:

$$\delta_{\text{вкл max доп}} \approx I_{\text{вкл доп}^*} (x_{Г5}'' + x_{\text{экв}}'')$$

$$\delta_{\text{вкл max доп}} \approx 1 * 0,173 + 0,1531 = 0,3261 \text{ рад } (18,68^{\circ})$$

Максимально допустимая угловая частота скольжения определяется по формуле:

$$\omega_{S \text{ max доп}} = \frac{\delta_{\text{вкл max доп}} - \Delta \delta_c}{t_{\text{вв}} (\Delta t_{\text{в}^*} + \Delta t_{\text{с}^*})}, \quad \text{рад/с}$$

$$\omega_{S \text{ max доп}} = \frac{0,3261 - 0,05}{0,14(0,04 + 0,02)} = 32,87 \text{ рад/с}$$

Или допустимая частота скольжения:

$$f_{S \text{ max доп}} = \frac{\omega_{S \text{ max доп}}}{2\pi} = \frac{32,87}{2\pi} = 5,23 \text{ Гц}$$

Расчетное значение максимально допустимой частоты скольжения превышает максимально возможное для синхронизатора СА-1, поэтому в качестве уставки принимаем

$$f_{S \text{ max доп}} = 2,5 \text{ Гц}; \quad \omega_{S \text{ max доп}} = 2,5 * 2\pi = 15,71 \text{ рад/с}.$$

Тогда максимально допустимый угол опережения равен:

$$\delta_{\text{оп max доп}} = 180 * \omega_{S \text{ max доп}} * t_{\text{вв}} \pi = 180 * 15,71 * 0,14/\pi = 126^{\circ}.$$

В качестве уставки принимаем максимально возможное для синхронизатора значение допустимого угла опережения  $120^{\circ}$ .

Для проверки синхронной устойчивости необходимо внести изменения в схему замещения, поскольку рассчитываются процессы после включения генератора и к этому времени сверхпереходные составляющие уже затухают. Все генераторы должны быть представлены в схеме замещения переходными сопротивлениями, а сама схема замещения имеет точно такой же вид. В рамках контрольной работы допускается пренебречь изменениями в эквивалентной энергосистеме, на которую работает электростан-

ция и считать сопротивление системы неизменным. В действительности такое допущение оправдывается, поскольку для крупных энергосистем это изменение может быть на уровне нескольких процентов. После замены сверхпереходных сопротивлений генераторов на переходные и преобразования схемы замещения к виду, показанному на рисунке 1, получаем новые значения сопротивлений:

$$x'_{Г5} = 0,26 \quad \text{и} \quad x'_{\text{ЭКВ}} = 0,16$$

Определяем относительную максимально допустимую угловую частоту скольжения:

$$\omega_{S*} = \omega_{S \max \text{ доп}} / (2\pi f_{\text{ном}}) = 15,71 / (2\pi * 50) = 0,05$$

Далее рассчитываем максимальный угол вылета ротора с учетом  $\omega_{S*}$  и  $T_J$ . Механическая постоянная инерции агрегата  $T_J$  — это время, в течение которого ротор машины под действием момента, определённого по номинальной полной мощности при  $\cos\varphi = 1$ , разгоняется из неподвижного состояния до номинальной частоты вращения. Это время следует определять с учётом турбины. Значения  $T_J = 5,3$  с для генератора ТВВ-800-2.

Максимальный угол вылета ротора:

$$\begin{aligned} \delta_{\text{выл max}} &= \arccos[\cos\delta_{\text{вкл max доп}} - 157 x'_{Г5} + x'_{\text{ЭКВ}} T_J \omega_{S*}^2] \\ \delta_{\text{выл max}} &= \arccos \cos 18,68^\circ - 157 \cdot 0,26 + 0,16 * 5,3 * \\ 0,05^2 &= 85,5^\circ \end{aligned}$$

Полученный максимальный угол вылета меньше предельно допустимого  $180^\circ$ , следовательно, синхронная устойчивость генератора после включения с углом  $18,68^\circ$ , будет обеспечена. Тогда окончательно принимаем уставки по максимальному углу опережения  $120^\circ$  и скольжению  $2,5$  Гц.

Таблица 3- исходные данные для расчета уставок синхронизатора СА-1.

Предпоследняя цифра номера зачетки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Переходное сопротивление генератора, *н	0,3	0,31	0,25	0,27	0,273	0,304	0,314	0,263	0,203	0,217
Сверхпереходное сопротивление генератора, *н	0,195	0,204	0,165	0,19	0,19	0,213	0,214	0,183	0,138	0,146
Механическая постоянная инерции турбогенератора, с	6,5	6,8	7,5	7,1	7,4	8,0	7,6	7,85	8,25	8,1
Последняя цифра номера зачетки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Переходное эквивалентное сопротивление, *н	0,165	0,17	0,175	0,18	0,185	0,190	0,195	0,2	0,205	0,21
Сверхпереходное эквивалентное сопротивление, *н	0,145	0,15	0,155	0,16	0,165	0,170	0,175	0,18	0,185	0,19

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Засыпкин А.С. Автоматизация энергетических систем: Конспект лекций.- Новочеркасск, ЮРГТУ.- 2008 г.
2. Дроздов и др. Автоматизация энергетических систем. М.: Энергия. 1977г.
3. Основы автоматики энергосистем: Конспект лекций.- Челябинск, ЮУрГУ.- 73с.  
<http://window.edu.ru/resource/618/47618/files/susu25.pdf>
4. Купарев М.А. Автоматика электрических станций. Новосибирск, НГТУ.-2014г.- 33 стр.