


ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«КАМЧАТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «КамчатГТУ»)

Кафедра «Энергетические установки и электрооборудование судов»

УТВЕРЖДАЮ
Декан МФ



_____/С.Ю. Труднев/

«23» октября 2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.20 «Тренажерная подготовка»

по направлению подготовки
13.03.02 «Энергетика и электротехника»
(уровень бакалавриат)

профиль: «Электрооборудование и автоматика судов»
квалификация: бакалавр

Рабочая программа дисциплины составлена на основании ФГОС ВО по направлению подготовки 13.03.02 «Энергетика и электротехника» (уровень бакалавриат), учебного плана подготовки специалистов, принятого на заседании ученого совета ФГБОУ ВО «КамчатГТУ» 23.10.2024 г., протокол № 2

Составитель рабочей программы

Декан МФ

(должность, уч. степень, звание)



(подпись)

Труднев С.Ю.

(Ф.И.О.)

Рабочая программа рассмотрена на заседании кафедры «ЭУЭС»
«17» октября 2024 г, протокол № 4

Заведующий кафедрой «Энергетические установки и электрооборудование судов»
«23» октября 2024 г.



Белов О.А.

1. Цели и задачи учебной дисциплины

Курс «Тренажёрная подготовка» является дисциплиной, направленной на освоение расчетно-проектной и эксплуатационной деятельности специалиста по судовым электроэнергетическим системам. Цель изучения дисциплины состоит в получении знаний о построении и режимах работы электроэнергетических систем судна, об условиях их эксплуатации и ремонта.

Задачи дисциплины:

- изучение физических основ формирования режимов работы судовых электроэнергетических систем,
- освоение основных методов расчета интегральных характеристик режимов
- определения расчетных нагрузок, показателей качества электроснабжения судна.

Дисциплина базируется на предметах математического и естественнонаучного (математика, физика) и профессионального (теоретические основы электротехники, электрические машины, электрические и электронные аппараты, электротехническое) циклов.

2. Требования к результатам освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующей *профессиональной компетенции*:

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих *компетенций*:

1. Способен осуществлять безопасное техническое использование, техническое обслуживание, диагностирование судового электрооборудования, электроники и электротехнических средств автоматики машинного отделения, включая системы управления главной двигательной установки, вспомогательных механизмов, гребной электрической установки и электростанции (ПК-3).
2. Способен работать с компьютерной информационной системой судна (ПК-4).

Планируемые результаты обучения при изучении дисциплины, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы, представлены в таблице.

| Код компетенции | Планируемые результаты освоения образовательной программы | Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции, определяемой самостоятельно | Планируемый результат обучения по дисциплине | Код показателя освоения |
|-----------------|--|--|--|--|
| ПК-3 | Способен планировать и вести деятельность по техническому обслуживанию и ремонту электрооборудования | ИД-1 ПК-3 Знает устройство (конструкцию) электрооборудования и устройств автоматики ИД-2 ПК-3 Знает назначение и технические характеристики электрооборудования и устройств | Знать: – устройство (конструкцию) электрооборудования и устройств автоматики; – назначение и технические характеристики электрооборудования и устройств автоматики палубных механизмов, тралового и грузоподъемного оборудования; | З(ПК-3)1 З(ПК-3)2 |

| | | | | |
|------|--|---|--|--|
| | | автоматики палубных механизмов, трапового и грузоподъемного оборудования ИД-3пк-3 Умеет анализировать параметры технического состояния электрооборудования ИД-4пк-3 Умеет работать с технической документацией по эксплуатации электрооборудования и автоматики | Уметь: – Анализировать параметры технического состояния электрооборудования; – Работать с технической документацией по эксплуатации электрооборудования и автоматики; Владеть: – навыками целеполагания – методами анализа проблем, навыками организации процесса разработки, принятия и реализации управленческих решений. | У(ПК-3)1 У(ПК-3)2 В(ПК-3)1 В(ПК-3)2 |
| ПК-4 | Способен осуществлять управление деятельностью по техническому обслуживанию и ремонту электроустановок | ИД-1пк-4 Умеет подключать и отключать судовую компьютерную информационную систему ИД-2пк-4 Владеет навыками ввода, вывода, копирования информации в судовую компьютерную информационную систему, удалять информацию из нее | Знать: – характеристики и принцип построения судовой компьютерной информационной системы; – характеристики и ограничения процессов, использования по назначению и ремонта судовой компьютерной информационной системы; | З(ПК-4)1 З(ПК-4)2 |
| | | | Уметь: – подключать и отключать судовую компьютерную информационную систему; – безопасно использовать судовую компьютерную и информационную систему по назначению | У(ПК-4)1 У(ПК-4)2 |
| | | | Владеть: – навыками целеполагания – методами анализа проблем навыками организации процесса разработки, принятия и реализации управленческих решений. | В(ПК-4)1 В(ПК-4)2 |

3. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Курс «Тренажерная подготовка» ориентирован на подготовку бакалавров по направлению 13.03.02 «Энергетика и электротехника» Данная дисциплина относится к блоку Б1.В.20 – дисциплины части, формируемой участниками образовательных отношений.

4. Содержание дисциплины

Тематический план дисциплины заочной формы обучения

| Наименование разделов и тем | Всего часов | Аудиторные занятия | Контактная работа по видам учебных занятий | | | Самостоятельная работа | Формы текущего контроля | Итоговый контроль знаний |
|--|-------------|--------------------|--|----------------------|---------------------|------------------------|-------------------------|--------------------------|
| | | | Лекции | Практические занятия | Лабораторные работы | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Раздел 1. Судовая электроэнергетическая система судна типа DEIF. | 17 | 2 | | | 2 | 15 | Защита отчета по ЛР | |
| Раздел 2. Судовая дизельная энергетическая установка судна типа. | 15 | 2 | | | 2 | 13 | | |
| Раздел 3. Судовые потребители. | 17 | 4 | | | 4 | 13 | | |
| Раздел 4. Микропроцессорные системы управления работой ГРЦ. | 19 | 4 | | | 4 | 15 | | |
| Зачет | 4 | | | | | | Опрос | 4 |
| Всего | 72 | 12 | | | 12 | 56 | | 4 |

4.2. Содержание дисциплины

Раздел 1. Судовая электроэнергетическая система судна типа DEIF.

Общие сведения и определения. Состав и классификация СЭЭС судна. Параметры СЭЭС судна; требования к работе источников электроэнергии в составе СЭЭС. Параллельная работа генераторов судна. Генераторные установки отбора мощности судна; тренажерный комплекс DEIF.

Лабораторная работа 1. Ознакомление с тренажерным комплексом DEIF. Изучение основных нормативных документов при эксплуатации судовой электроэнергетической системы (ПДНВ 78 с поправками, Российский морской регистр судоходства)

[1,2,3, 12] 2 часа

Лабораторная работа 2. Измерительные приборы и элементы системы автоматического и ручного управления тренажерного комплекса

[12] 2 часа

Лабораторная работа 3. Оживление электростанции на автоматическом виде управления при отсутствии питания с берега. Производится запуск дизель – генераторного агрегата в автоматическом режиме. Отслеживание основных параметров по измерительным приборам, а также алгоритмов пуска и подключения генераторного агрегата в судовую сеть. Осуществляется мониторинг и запись алгоритмов работы судовой автоматики при оживлении судовой электростанции.

[12] 2 часа

Лабораторная работа 4. Исследование алгоритмов и особенностей при оживлении электростанции на ручном виде управления.

[12] 2 часа

Лабораторная работа 5. Оживление судовой электростанции на ручном виде управления.

Подключение дизель – генераторного агрегата в сеть

[12] 2 часа

Лабораторная работа 6. Исследование различных компьютерных программ для имитационного исследования работы главного распределительного щита.

[1] 2 часа

Лабораторная работа 7. Применение программного комплекса M-Vision для мониторинга основных параметров и управления судовой автоматизированной электростанции. Работа дизель-генератора на высокую активную нагрузку.

[12] 2 часа

Раздел 2. Судовая дизельная энергетическая установка судна типа.

Общие сведения и определения. Состав и классификация СЭУ судна. Параметры СЭУ судна; системы, обеспечивающие работу СЭУ судна.

Лабораторная работа 8. Применение программного комплекса M-Vision для мониторинга основных параметров и управления судовой автоматизированной электростанции. Работа дизель-генератора на индуктивную нагрузку.

[12] 1 часа

Лабораторная работа 9. Применение программного комплекса M-Vision для мониторинга основных параметров и управления судовой автоматизированной электростанции. Работа дизель-генератора на емкостную нагрузку.

[12] 1 часа

Лабораторная работа 10. Применение программного комплекса M-Vision для мониторинга основных параметров и управления судовой автоматизированной электростанции. Параллельная работа дизель-генераторов на смешанную нагрузку.

[12] 2 часа

Лабораторная работа 11. Применение программного комплекса M-Vision для мониторинга основных параметров и управления судовой автоматизированной электростанции. Исследование параллельной работы дизель-генератора и валогенератора.

[12] 2 часа

Лабораторная работа 12. Включение второго генераторного агрегата на параллельную работу на ручном виде управления

2 часа

Лабораторная работа 13. Алгоритм включения второго генераторного агрегата на общие шины ГРЩ на автоматическом виде управления

[1] 2 часа

Лабораторная работа 14. Отработка алгоритмов точной синхронизации. Отработка на тренажерном комплексе условий ввода синхронных генераторов в параллель

[1,2] 2 часа

Раздел 3. Судовые потребители.

Режимы работы и измеряемые и регулируемые параметры электропривода промышленных механизмов; режимы работы и измеряемые и регулируемые параметры электропривода вспомогательных механизмов.

Лабораторная работа 1. Включение второго генераторного агрегата на параллельную работу на ручном виде управления

[1] 2 часа

Лабораторная работа 2. Алгоритм включения второго генераторного агрегата на общие шины ГРЩ на автоматическом виде управления

[1] 2 часа

Лабораторная работа 3. Распределение активной нагрузки между параллельно работающими генераторами

[12] 1 часа

Лабораторная работа 4. Распределение реактивной нагрузки между параллельно работающими генераторами

[12] 1 часа

Лабораторная работа 5. Использование реактивных компенсаторов для ввода дизель-генераторного агрегата в параллель

[12] 2 часа

Лабораторная работа 6. Определение и расчет реактивной мощности при одиночной работе генератора на сеть

[12] 2 часа

Лабораторная работа 7. Оценка полной мощности нагрузки при работе генератора на судовую сеть.

[12] 4 часа

Раздел 4. Микропроцессорные системы управления работой ГРЩ.

Применение программного комплекса M-Vision для мониторинга основных параметров и управления судовой автоматизированной электростанции; общие сведения и определения. Состав и классификация СЭЭС судна. Параметры СЭУ судна.

Лабораторная работа 8. Расчет мощности двух параллельно работающих генераторов

[12] 2 часа

Лабораторная работа 9. Ненормальный режим работы судовой электростанции.

[12] 2 часа

Лабораторная работа 10. Исследование микропроцессорного потенциометра частоты тренажерного комплекса DIEF

[12] 2 часа

Лабораторная работа 11. Исследование микропроцессорного потенциометра напряжения тренажерного комплекса DIEF

[12] 2 часа

Лабораторная работа 12. Грубая синхронизация. Особенности грубой синхронизации. Отработка алгоритмов ввода в параллельную работу судового синхронного генератора методом грубой синхронизации.

[3] 1 часа

Лабораторная работа 13. Включение на параллельную работу с дизель-генераторами валогенератора на автоматическом виде управления.

[12,с.106] 2 часа

Лабораторная работа 14. Отработка навыков вахтенного электромеханика на компьютерной модели судовой электроэнергетической системы.

[12,с.106] 2 часа

5. Учебно-методическое обеспечение для самостоятельной работы обучающихся

5.1. Внеаудиторная самостоятельная работа студентов

Основными формами самостоятельной работы студентов при освоении дисциплины являются: проработка вопросов, выносимых на самостоятельное изучение, изучение основной и дополнительной литературы, конспектирование материалов, подготовка к лабораторным занятиям, подготовка к промежуточной аттестации.

Студентам заочной формы обучения необходимо параллельно с изучением теории выполнить контрольную работу. Во время экзаменационно-лабораторной сессии защитить контрольную работу и сдать экзамен по дисциплине.

Вопросы, вынесенные на самостоятельное изучение:

Принципы построения и математическое описание автоматических систем. Подготовка к работе систем управления главной двигательной установкой и вспомогательными механизмами. Основы микропроцессорных систем управления.

Синхронизация генератора переменного тока. Распределение активных и реактивных нагрузок при параллельной работе. Режимы работы судовой электростанции. Предаварийные и аварийные режимы. Электроснабжение судна от береговых электросетей.

Тема контрольной работы: Ненормальный режим (перегруз) параллельной работы двух дизельгенераторов на ручном виде управления.

6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине «Тренажерная подготовка» представлен в приложении к рабочей программе дисциплины и включает в себя:

- перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы;
- описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания;
- типовые контрольные задания или материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций;
- методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.

Перечень вопросов для проведения промежуточной аттестации по дисциплине (зачет с оценкой)

1. Определение и пример автоматической системы.
2. Определение и пример системы автоматического регулирования.
3. Определение и пример автоматического управления.
4. Законы управления.
5. Алгоритм функционирования и управления.
6. Состав МПСУ.
7. Микропроцессор.
8. Интегральная микросхема.
9. Состав простейшего цифрового устройства.
10. Виды, методы, условия синхронизации.
11. Нормальный режим работы.
12. Ненормальный режим работы.
13. Специфические особенности параллельной работы дизель-генератора и валогенератора.
14. Защита судовых генераторов.
15. Двигательный режим генератора.
16. Параллельная работа электростанции с береговой электросетью.
17. Подача электрической энергии на судно с берега.
18. Влияние низкого сопротивления изоляции на жизнедеятельность судна.
19. Оживление СЭЭС на ручном виде управления.
20. Реакция электроэнергетической системы на переход одного из параллельно работающих генераторов в двигательный режим.
21. Реакция автоматической системы на внезапную остановку одного из параллельно работающего генератора.
22. Действия автоматической системы на возрастающую нагрузку на шинах ГРЩ.
23. Реакция автоматической системы на быстро уменьшающуюся нагрузку при параллельно работающих генераторах.
24. Провал напряжения на шинах ГРЩ.
25. "Перекачивание" реактивной нагрузки при параллельной работе генераторов.

26. Поведение приборов устройства непрерывного контроля и замера сопротивления изоляции при переходе на береговое питание.
27. Принципы работы синхронизаторов.
28. Виды защит фидера берегового питания.
29. Виды защит генераторного автоматического выключателя.
30. Виды защит в СЭЭС.
31. Устройство и виды защит сетевого автоматического выключателя.
32. Рост в электросети реактивной нагрузки относительно активной.
33. Влияние работы силовых полупроводниковых устройств на качество электрической энергии.
34. Определение качества электрической энергии находясь у ГРЩ.
35. Изменение активной нагрузки за счет частоты вращения генератора.
36. Несовпадение сравниваемых напряжений по фазе при синхронизации.
37. Распределение реактивной нагрузки за счет изменения сил токов возбуждений генераторов.
38. Оживление основной электростанции при работе аварийной.
39. Определение и пример автоматической системы.
40. Определение и пример системы автоматического регулирования.
41. Определение и пример автоматического управления.
42. Законы управления.
43. Алгоритм функционирования и управления.
44. Состав МПСУ.
45. Микропроцессор.
46. Интегральная микросхема.
47. Состав простейшего цифрового устройства.
48. Виды, методы, условия синхронизации.
49. Нормальный режим работы.
50. Ненормальный режим работы.
51. Специфические особенности параллельной работы дизель-генератора и валогенератора.
52. Защита судовых генераторов.
53. Двигательный режим генератора.
54. Параллельная работа электростанции с береговой электросетью.
55. Подача электрической энергии на судно с берега.
56. Влияние низкого сопротивления изоляции на жизнедеятельность судна.
57. Оживление СЭЭС на ручном виде управления.
58. Реакция электроэнергетической системы на переход одного из параллельно работающих генераторов в двигательный режим.
59. Реакция автоматической системы на внезапную остановку одного из параллельно работающего генератора.
60. Действия автоматической системы на возрастающую нагрузку на шинах ГРЩ.
61. Реакция автоматической системы на быстро уменьшающуюся нагрузку при параллельно работающих генераторах.
62. Провал напряжения на шинах ГРЩ.
63. "Перекачивание" реактивной нагрузки при параллельной работе генераторов.
64. Поведение приборов устройства непрерывного контроля и замера сопротивления изоляции при переходе на береговое питание.
65. Принципы работы синхронизаторов.
66. Виды защит фидера берегового питания.
67. Виды защит генераторного автоматического выключателя.
68. Виды защит в СЭЭС.
69. Устройство и виды защит сетевого автоматического выключателя.
70. Рост в электросети реактивной нагрузки относительно активной.

71. Влияние работы силовых полупроводниковых устройств на качество электрической энергии.
72. Определение качества электрической энергии находясь у ГРЩ.
73. Изменение активной нагрузки за счет частоты вращения генератора.
74. Несовпадение сравниваемых напряжений по фазе при синхронизации.
75. Распределение реактивной нагрузки за счет изменения сил токов возбуждений генераторов.
76. Оживление основной электростанции при работе аварийной.
77. Эксплуатация силовых систем напряжением выше 1000 вольт.
78. Эксплуатация оборудования напряжением выше 1000 вольт: опасности и меры предосторожности, требуемые для эксплуатации силовых систем.

7. Рекомендуемая литература

7.1. Основная литература

1. Баранов А.П. Судовые автоматизированные электроэнергетические системы. – СПб: Судостроение, 2005. – 254с. (39экз)
2. Богомолов В.С. Судовые электроэнергетические системы и их эксплуатация – М.: Мир, 2006. – 122с. (52экз)
3. Судовые источники электрической энергии. Часть I : [Электронный ресурс] : учебное пособие / С. Ю. Труднев, А. Н. Рак, А. А. Марченко. – Текстовое (символьное) электронное издание. – Новокузнецк : Издательство «Знание-М», 2021. — 1 электрон. опт. диск (CD-R). – Сист. требования: IBM PC, любой, более 1 GHz ; 512 Мб RAM ; 10 Мб HDD ; MS Windows XP и выше ; CD/DVD-ROM дисковод, мышь ; Adobe Reader 8.0 и выше. – 236 с

7.2. Дополнительная литература

4. Алексеев Н.А., Макаров С.Б., Портнягин Н.Н. Микропроцессорные системы управления электроэнергетическими установками промысловых судов. – М.: Колос, 2008. – 132с. (98экз)
5. Молочков В.Я. Микропроцессорные системы управления техническими средствами рыбопромысловых судов. Учебное пособие. - Москва: «Моркнига», 2013. – 362с.(96экз)

7.3. Методическое обеспечение:

6. Труднев С.Ю. Лабораторный практикум: к изучению дисциплины «Тренажерная подготовка» – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2016. – 145 с.

8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

1. Электронно-библиотечная система «eLibrary»: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.elibrary.ru>.
2. Электронная библиотечная система «IPRbooks» [Электронный ресурс]. – Электронные данные – Режим доступа : <http://www.iprbookshop.ru/>.
3. Электронная информационная образовательная среда LMS Moodle [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://lk.kstu.su>.

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

В настоящее время при изучении процессов, которые не могут быть осуществлены в лабораторных условиях или сопряжены с аварийными ситуациями, широко используется моделирование. Метод моделирования позволяет преодолеть трудности, которые в ряде случаев оказываются непреодолимыми при экспериментальных или аналитических исследовательских работах. Метод моделирования может стать единственным способом исследования тех объектов, которые не реализуются в заданном интервале времени или не поддаются физическому эксперименту.

При изучении дисциплины рассмотрены общие вопросы моделирования, математические модели судовых электрических машин переменного и постоянного тока, полупроводниковых преобразователей энергии, электроэнергетических систем и некоторых средств их автоматизации, принципы построения машинных компьютерных моделей.

Рекомендации по подготовке к практическим и лабораторным занятиям. Для подготовки к практическим занятиям необходимо заранее ознакомиться с перечнем вопросов, которые будут рассмотрены на занятии, рекомендуемой основной и дополнительной литературы. Необходимо прочитать соответствующие разделы из основной и дополнительной литературы, рекомендованной преподавателем, выделить основные понятия и процессы, их закономерности и движущие силы и взаимные связи. При подготовке к занятию не нужно заучивать учебный материал. На практических занятиях нужно выяснять у преподавателя ответы на интересующие или затруднительные вопросы, высказывать и аргументировать свое мнение.

Рекомендации по организации самостоятельной работы. Самостоятельная работа включает изучение учебной литературы, поиск информации в сети Интернет, подготовку к практическим занятиям, экзамену, выполнение самостоятельных практических заданий (рефератов, расчетно-графических заданий/работ, оформление отчетов по лабораторным работам и практическим заданиям, решение задач, изучение теоретического материала, вынесенного на самостоятельное изучение, изучение отдельных функций прикладного программного обеспечения и т.д.).

Подготовка к зачету. При подготовке к экзамену большую роль играют правильно подготовленные заранее записи и конспекты. В этом случае остается лишь повторить пройденный материал, учесть, что было пропущено, восполнить пробелы, закрепить ранее изученный материал. В ходе самостоятельной подготовки к экзамену при анализе имеющегося теоретического и практического материала курсанту (студенту) также рекомендуется проводить постановку различного рода задач по изучаемой теме, что поможет в дальнейшем выявлять критерии принятия тех или иных решений, причины совершения определенного рода ошибок. При ответе на вопросы, поставленные в ходе самостоятельной подготовки, обучающийся вырабатывает в себе способность логически мыслить, искать в анализе событий причинно-следственные связи.

10. Курсовой проект (работа)

Выполнение курсового проекта (работы) не предусмотрено учебным планом.

11. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

11.1 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса:

- электронные образовательные ресурсы, представленные в п.8 рабочей программы;
- использование слайд-презентаций;
- интерактивное общение с обучающимися и консультирование в электронной информационной образовательной среде ФГБОУ ВО «КамчатГТУ».

11.2 Перечень программного обеспечения, используемого при осуществлении образовательного процесса:

- операционные системы Astra Linux (или иная операционная система, включенная в реестр отечественного программного обеспечения);
- комплект офисных программ Р-7 Офис (в составе текстового процессора, программы работы с электронными таблицами, программные средства редактирования и демонстрации презентаций);
- программа проверки текстов на предмет заимствования «Антиплагиат»;
- система схемотехнического моделирования.

11.3 Перечень информационно-справочных систем:

- справочно-правовая система «Гарант»;
- портал Федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования (<https://fgosvo.ru>).

12. Материально-техническое обеспечение дисциплины

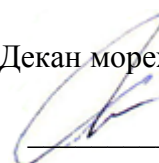
1. для проведения занятий лекционного типа, практических и лабораторных занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, самостоятельной работы учебная аудитория № 3-402, 1-104 с комплектом учебной мебели на 6 посадочных мест;
2. доска аудиторная;
3. комплект лекций в Microsoft Word по темам курса «Тренажерная подготовка»;
4. мультимедийное оборудование (ноутбук, проектор);
5. плакаты;
6. тренажерном комплексе DEIF;
7. обучающие программные пакеты;
8. методические пособия;
9. компьютеры

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«КАМЧАТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «КамчатГТУ»)

Факультет МОРЕХОДНЫЙ

Кафедра «ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ СУДОВ»

УТВЕРЖДАЮ
Декан мореходного факультета



С.Ю. Труднев

«23» октября 2024 г.

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДИСЦИПЛИНЫ

«Тренажерная подготовка»

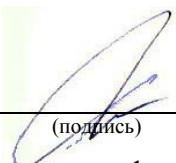
по направлению подготовки
13.03.02 «Энергетика и электротехника»
(уровень бакалавриат)

профиль: «Электрооборудование и автоматика судов»
квалификация: бакалавр

Петропавловск-Камчатский
2024

Фонд оценочных средств дисциплины составлен на основании ФГОС ВО по специальности 13.03.02 «Энергетика и электротехника» (уровень бакалавриат), учебного плана подготовки специалистов, принятого на заседании ученого совета ФГБОУ ВО «КамчатГТУ» 23.10.2024 г., протокол № 2.

Составитель фонда оценочных средств
Декан «Мореходного факультета»
(должность, уч. степень, звание)



(подпись)

Труднев С.Ю.
(Ф.И.О.)

Фонд оценочных средств рассмотрен на заседании кафедры «Энергетические установки и электрооборудование судов»

«17» октября 2024 г, протокол № 4

Заведующий кафедрой «Энергетические установки и электрооборудование судов»

«23» октября 2024 г.



Белов О.А.

АКТУАЛЬНО НА

2025 / 2026 учебный год



(подпись)

Белов О.А.
(ФИО. зав.кафедрой)

2026 / 2027 учебный год

(подпись)

(ФИО. зав.кафедрой)

2027 / 2028 учебный год

(подпись)

(ФИО. зав.кафедрой)

2028 / 2029 учебный год

(подпись)

(ФИО. зав.кафедрой)

2029 / 2030 учебный год

(подпись)

(ФИО. зав.кафедрой)

Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации студентов по дисциплине «Тренажерная подготовка» представлен в приложении к рабочей программе дисциплины и включает в себя:

1. паспорт фонда оценочных средств по дисциплине;
2. перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы;
3. описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание их шкал оценивания;
4. методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков, характеризующих этапы формирования компетенций.

После освоения теоретического материала и выполнения практических работ студент **должен**:

Уметь: производить пуск синхронных генераторов в работу, перераспределять активную и реактивную мощность между генераторами, разгружать и выводить синхронный генератор из работы, определять работоспособность систем защиты генераторов; определять работоспособность синхронных генераторов, восстанавливать систему возбуждения, контролировать износ щеток цепи возбуждения; производить необходимые замеры, как в электрических силовых цепях, так и контрольные замеры сопротивления изоляции и сопротивления заземления, производить замену неисправной коммутационной аппаратуры, измерительных приборов и устройств расширения пределов измерения на силовых щитах; производить внутренний и внешний монтаж кабелей, производить ремонт главного распределительного щита (ГРЩ) и аварийного распределительного щита (АРЩ) как без напряжения, так и под напряжением, производить измерения электрических величин, включать электротехнические приборы, аппараты, машины, управлять ими и контролировать их эффективную и безопасную работу;

Приобрести навыки: использования нормативов технического обслуживания судового электрооборудования; обеспечения надежности и работоспособности элементов судовых электротехнических установок; настройки систем автоматического регулирования, включая микропроцессорные системы управления; выбора измерительного и испытательного оборудования при эксплуатации и ремонте судового оборудования и средств автоматики.

Планируемые результаты обучения при изучении дисциплины, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы, представлены в таблице.

1 Паспорт фонда оценочных средств по дисциплине «Тренажерная подготовка»

| № | Контролируемые разделы (темы) дисциплины | Код контролируемой компетенции (или ее части) | Наименование оценочного средства |
|---|--|---|---|
| 1 | Судовая электроэнергетическая система судна типа DEIF. | ПК-3, ПК-4 | Контроль СРС, защита лабораторных работ |
| 2 | Судовая дизельная энергетическая установка судна типа. | | |
| 3 | Судовые потребители. | | |
| 4 | Микропроцессорные системы управления работой ГРЩ. | | |

2 Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы

| № п/п | Код контролируемой компетенции | Наименование контролируемой компетенции | Наименование дисциплины формирующей компетенцию | Этапы формирования компетенции (курсы) | | | | |
|-------|--------------------------------|--|---|--|---|---|----------|---|
| | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | ПК-3 | Способен планировать и вести деятельность по техническому обслуживанию и ремонту электрооборудования | Судовые АЭЭС | | | | 4 | |
| | | | Тренажерная подготовка | | | | 4 | |
| | | | ЭиФУСА | | | 3 | | |
| | ПК-4 | Способен осуществлять управление деятельностью по техническому обслуживанию и ремонту электроустановок | Тренажерная подготовка | | | | 4 | |

3 Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание их шкал оценивания

Контроль поэтапного формирования результатов освоения дисциплины для *студентов заочной формы обучения* осуществляется в рамках текущего контроля и промежуточной аттестации в ходе выполнения заданий на лабораторных занятиях, выполнении заданий, вынесенных на самостоятельную работу (СР).

Критерии выставления оценок за практическую / лабораторную работу

Оценка **«отлично»** выставляется, если студент показал глубокие знания и понимание программного материала по теме практической работы, умело увязывает лекционный материал с практикой, грамотно и логично строит ответ на контрольные вопросы.

Оценка **«хорошо»** выставляется, если студент твердо знает программный материал по теме практической работы, грамотно его излагает, не допускает существенных неточностей в ответе на контрольные вопросы. Правильно применяет полученные знания при решении практических вопросов.

Оценка **«удовлетворительно»** выставляется, если студент имеет знания только основного материала по поставленным контрольным вопросам, но не усвоил его деталей, для принятия правильного решения требует наводящих вопросов, допускает отдельные неточности или недостаточно четко излагает учебный материал по теме практической работы.

Оценка **«неудовлетворительно»** выставляется, если студент допускает грубые ошибки в ответе на контрольные вопросы, не может применять полученные знания на практике.

Критерии выставления оценок за самостоятельную работу

Оценка **«отлично»** выставляется, если студент показал глубину проработки темы самостоятельной работы, умело привязывает материал к области практического применения и показал высокий уровень освоения изложенного материала.

Оценка «**хорошо**» выставляется, если студент показал глубину проработки темы самостоятельной работы, умело привязывает материал к области практического применения, показал достаточно высокий уровень освоения изложенного материала, однако при оформлении конспекта допускает немногочисленные ошибки в схемах радиотехнических цепей и при выводах основных выражений.

Оценка «**удовлетворительно**» выставляется, если студент показал глубину проработки темы самостоятельной работы, показал удовлетворительный уровень освоения изложенного материала, однако не увязывает изложенный материал с областью практического применения, при оформлении конспекта допускает грубые ошибки в схемах радиотехнических цепей и при выводах основных выражений.

Оценка «**неудовлетворительно**» выставляется, если студент провел поверхностное изучение темы самостоятельной работы, показал неудовлетворительный уровень освоения изложенного материала, не увязывает изложенный материал с областью практического применения, при оформлении конспекта допускает грубые ошибки в схемах радиотехнических цепей и при выводах основных выражений.

Критерии оценки знаний, умений и навыков на зачете

Оценка студенту на зачете может быть выставлена по текущим оценкам приобретенных практических навыков в ходе прохождения практики и при наличии конспекта вопросов, отданных на самостоятельное изучение **при условии отсутствия пропусков занятий без уважительной причины**.

При несоблюдении данных условий студент дополнительно проходит собеседование по теоретическим вопросам. В случае несогласия студента с выставленной оценкой по результатам выполнения практических заданий в семестре ему предоставляется шанс повысить данную оценку посредством теоретических вопросов.

По результатам собеседования студенту выставляется оценка:

«**отлично**», если студент показал глубокие знания и понимание программного материала по поставленному вопросу, умело увязывает его с практикой, грамотно и отлично строит ответ, быстро принимает оптимальные решения при решении практических вопросов и задач, безупречно владеет правилами работы с контрольно-измерительной аппаратурой;

«**хорошо**», если студент твердо знает программный материал, грамотно его излагает, не допускает существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет полученные знания при решении практических вопросов и задач, владеет приемами работы с контрольно-измерительной аппаратурой;

«**удовлетворительно**», если студент имеет знания только основного материала по поставленному вопросу, но не усвоил деталей, требует в отдельных случаях наводящего вопроса для принятия правильного решения, допускает отдельные неточности и недостаточно четко выполняет правила работы с контрольно-измерительной аппаратурой;

«**неудовлетворительно**», если студент допускает грубые ошибки в ответе на поставленный вопрос, не может применить полученные знания на практике, неуверенно работает с контрольно-измерительной аппаратурой.

Вопросы для подготовки к промежуточной аттестации

1. Определение и пример автоматической системы.
2. Определение и пример системы автоматического регулирования.
3. Определение и пример автоматического управления.
4. Законы управления.
5. Алгоритм функционирования и управления.
6. Состав МПСУ.
7. Микропроцессор.
8. Интегральная микросхема.
9. Состав простейшего цифрового устройства.

10. Виды, методы, условия синхронизации.
11. Нормальный режим работы.
12. Ненормальный режим работы.
13. Специфические особенности параллельной работы дизель-генератора и валогенератора.
14. Защита судовых генераторов.
15. Двигательный режим генератора.
16. Параллельная работа электростанции с береговой электросетью.
17. Подача электрической энергии на судно с берега.
18. Влияние низкого сопротивления изоляции на жизнедеятельность судна.
19. Оживление СЭЭС на ручном виде управления.
20. Реакция электроэнергетической системы на переход одного из параллельно работающих генераторов в двигательный режим.
21. Реакция автоматической системы на внезапную остановку одного из параллельно работающего генератора.
22. Действия автоматической системы на возрастающую нагрузку на шинах ГРЩ.
23. Реакция автоматической системы на быстро уменьшающуюся нагрузку при параллельно работающих генераторах.
24. Провал напряжения на шинах ГРЩ.
25. "Перекачивание" реактивной нагрузки при параллельной работе генераторов.
26. Поведение приборов устройства непрерывного контроля и замера сопротивления изоляции при переходе на береговое питание.
27. Принципы работы синхронизаторов.
28. Виды защит фидера берегового питания.
29. Виды защит генераторного автоматического выключателя.
30. Виды защит в СЭЭС.
31. Устройство и виды защит сетевого автоматического выключателя.
32. Рост в электросети реактивной нагрузки относительно активной.
33. Влияние работы силовых полупроводниковых устройств на качество электрической энергии.
34. Определение качества электрической энергии находясь у ГРЩ.
35. Изменение активной нагрузки за счет частоты вращения генератора.
36. Несовпадение сравниваемых напряжений по фазе при синхронизации.
37. Распределение реактивной нагрузки за счет изменения сил токов возбуждений генераторов.
38. Оживление основной электростанции при работе аварийной.
39. Определение и пример автоматической системы.
40. Определение и пример системы автоматического регулирования.
41. Определение и пример автоматического управления.
42. Законы управления.
43. Алгоритм функционирования и управления.
44. Состав МПСУ.
45. Микропроцессор.
46. Интегральная микросхема.
47. Состав простейшего цифрового устройства.
48. Виды, методы, условия синхронизации.
49. Нормальный режим работы.
50. Ненормальный режим работы.
51. Специфические особенности параллельной работы дизель-генератора и валогенератора.
52. Защита судовых генераторов.
53. Двигательный режим генератора.
54. Параллельная работа электростанции с береговой электросетью.

55. Подача электрической энергии на судно с берега.
56. Влияние низкого сопротивления изоляции на жизнедеятельность судна.
57. Оживление СЭЭС на ручном виде управления.
58. Реакция электроэнергетической системы на переход одного из параллельно работающих генераторов в двигательный режим.
59. Реакция автоматической системы на внезапную остановку одного из параллельно работающего генератора.
60. Действия автоматической системы на возрастающую нагрузку на шинах ГРЩ.
61. Реакция автоматической системы на быстро уменьшающуюся нагрузку при параллельно работающих генераторах.
62. Провал напряжения на шинах ГРЩ.
63. "Перекачивание" реактивной нагрузки при параллельной работе генераторов.
64. Поведение приборов устройства непрерывного контроля и замера сопротивления изоляции при переходе на береговое питание.
65. Принципы работы синхронизаторов.
66. Виды защит фидера берегового питания.
67. Виды защит генераторного автоматического выключателя.
68. Виды защит в СЭЭС.
69. Устройство и виды защит сетевого автоматического выключателя.
70. Рост в электросети реактивной нагрузки относительно активной.
71. Влияние работы силовых полупроводниковых устройств на качество электрической энергии.
72. Определение качества электрической энергии находясь у ГРЩ.
73. Изменение активной нагрузки за счет частоты вращения генератора.
74. Несовпадение сравниваемых напряжений по фазе при синхронизации.
75. Распределение реактивной нагрузки за счет изменения сил токов возбуждений генераторов.
76. Оживление основной электростанции при работе аварийной.

Методические указания по выполнению лабораторных работ

1. Перечень заданий к лабораторным работам, а также методические указания по их выполнению указаны в учебно-методическом пособии: *Труднев С.Ю. Лабораторный практикум: к изучению дисциплины «Тренажерная подготовка» – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2016. – 145 с.*

Методические указания по написанию РЕФЕРАТА

С целью закрепления учебного материала и более детальной проработки отдельных вопросов студенты выполняют реферат по одной из предложенных тем. Тема и сроки выполнения реферата согласовываются с преподавателем.

При выполнении реферата отрабатываются навыки по систематизации, закреплению и расширению теоретических и практических знаний по специальности и применение этих знаний при решении конкретных прикладных задач. Также развиваются навыки работы с учебной, научной литературой и нормативно-технической документацией.

Объем реферата составляет 15-25 страниц формата А-4 и включает в себя титульный лист, содержание, введение, основную часть, заключение и список использованной литературы и электронных источников. Основная часть включает в себя 2-3 главы, которые в свою очередь могут делиться на параграфы и пункты.

Документ должен быть набран на компьютере и отпечатан на принтере с использованием современных текстовых и, если необходимо, графических редакторов на одной стороне листа (без рамки) белой бумаги формата А4. Размеры полей: левое - 30 мм, правое - 15 мм, верхнее -

20 мм и ниже - 20 мм. Рекомендуемое расстояние между строками (базовое) – полтора интервала.

Таблицы, рисунки, чертежи, схемы, графики, фотографии как в тексте, так и в приложении должны быть выполнены на стандартных листах формата А4 (при больших схемах допускается использовать сложенный лист формата А3). Подписи и пояснения к рисункам должны быть на лицевой стороне.

Нумерация страниц документа, включая приложения, должна быть сквозная по всему тексту (все без исключения листы документа должны быть пронумерованы). Номера страниц проставляются в правом верхнем углу без точки. На титульном листе номер страницы не ставится, а только подразумевается (первая страница).

Текст основной части документа разделяют на главы, параграфы и пункты. Главы должны иметь порядковые номера в пределах всего документа, обозначенные арабскими цифрами и записанные с абзацного отступа. Параграфы должны иметь нумерацию в пределах каждой главы, пункты – в пределах каждого параграфа. Номер пункта состоит из номеров главы, параграфа и пункта, разделенных точками. Точка после номера главы, параграфа и пункта не ставится.

Главы, параграфы, пункты должны иметь заголовки. Заголовки печатаются с абзацного отступа, без точки в конце, не подчеркивая. Перенос слов в заголовках не допускается. Если заголовки состоят из двух предложений, их разделяют точкой. Слова, "Глава", "Параграф", "Пункт" не печатаются ни в оглавлении, ни в заголовках основной части.

Для набора текста использовать следующие стили форматирования:

– **заголовки первого уровня** (главы, введение, заключение, список литературы, приложения)

Шрифт: Arial, 16 пт, полужирный, все прописные, Отступ: Слева 0,9 см, Первая строка 0 см, По центру, интервал Перед: 12 пт, После 6 пт, Не отрывать от следующего.

– **заголовки второго уровня** (параграфы)

Шрифт: Arial, 14 пт, полужирный, курсив, Отступ: Слева 0,9 см, Первая строка 0 см, По центру, интервал Перед: 12 пт, После 6 пт, Не отрывать от следующего.

Если заголовок параграфа следует непосредственно после заголовка главы, то используется интервал Перед: 0 пт.

– **заголовки третьего уровня** (пункты)

Шрифт: Arial, 14 пт, курсив, Отступ: Слева 0,9 см, Первая строка 0 см, По центру, интервал Перед: 12 пт, После 6 пт, Не отрывать от следующего.

– **текст пояснительной записки**

Шрифт: Times New Roman, 14 пт, Отступ: Первая строка: 0,9 см, По ширине, Междустрочный интервал: полуторный, Запрет висячих строк.

– **формулы**

Отступ: Первая строка: 0,9 см, По центру.

Подготовка и работа над рефератом состоит из следующих основных этапов:

- выбор и согласование темы реферата;
- разработка общей структуры реферата;
- сбор и анализ материала по теме реферата;
- проработка структуры реферата и формирование основной части;
- оформление реферата и предъявление его на кафедру для рецензирования;
- защита реферата.

Реферат представляется преподавателю в установленные сроки и определяется даты защиты. Защита реферата осуществляется в виде собеседования по теме реферата.

4 Методические материалы определяющие, процедуры оценивания знаний, умений, навыков и или опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.

Оценка знаний, умений и навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций по дисциплине проводятся в форме текущего контроля, промежуточной и итоговой аттестации.

Текущий контроль проводится в течение сессии с целью определения уровня усвоения обучающимися знаний, формирования умений и навыков, своевременного выявления преподавателем недостатков в подготовке обучающихся и принятия необходимых мер по её корректировке, а так же для совершенствования методики обучения, организации учебной работы и оказания индивидуальной помощи обучающемуся.

Промежуточная и итоговая аттестации по дисциплине проводится в виде контрольного опроса. За знания, умения и навыки, приобретенные обучающимися в период их обучения, выставляются оценки: «ОТЛИЧНО», «ХОРОШО», «УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО», «НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО».

Для оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности в университете применяется система оценки качества освоения образовательной программы.

Оценка проводится при проведении текущего контроля успеваемости и промежуточных аттестаций обучающихся.

Процедура оценивания – порядок действий при подготовке и проведении аттестационных испытаний и формировании оценки.

Аттестационные испытания проводятся ведущим преподавателем по данной дисциплине. Присутствие посторонних лиц в ходе проведения аттестационных испытаний без разрешения ректора или проректора не допускается (за исключением работников университета, выполняющих контролирующую функцию в соответствии со своими должностными обязанностями). В случае отсутствия ведущего преподавателя аттестационные испытания проводятся преподавателем, назначенным письменным распоряжением заведующим кафедрой.

Инвалиды и лица с ограниченными возможностями здоровья, допускаются на аттестационные испытания в сопровождении ассистентов-сопровождающих.

– Во время аттестационных испытаний обучающиеся могут пользоваться программой учебной дисциплины, а также с разрешения преподавателя справочной и нормативной литературой, калькуляторами.

–Время подготовки ответа при сдаче зачета/экзамена в устной форме должно составлять не менее 20/30 минут соответственно, (по желанию обучающегося ответ может быть досрочным).
Время ответа – не более 15 минут.

–Оценка результатов устного аттестационного испытания объявляется обучающимся в день его проведения. При проведении письменных аттестационных испытаний или компьютерного тестирования – в день их проведения или не позднее следующего рабочего дня после их проведения.

–Результаты выполнения аттестационных испытаний, проводимых в письменной форме, форме итоговой контрольной работы или компьютерного тестирования, должны быть объявлены обучающимся и выставлены в зачётные книжки не позднее следующего рабочего дня после их проведения.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Камчатский государственный технический университет»

Мореходный факультет

Кафедра «Энергетические установки и электрооборудование судов»

ТРЕНАЖЕРНАЯ ПОДГОТОВКА

Методические указания к лабораторной работе
для студентов,
обучающихся по направлению подготовки
13.03.02
«Электроэнергетика и электротехника»
профиль «Электрооборудование и
автоматика судов»
заочной формы обучения

Петропавловск-Камчатский
2024

Белов Олег Александрович, к.т.н., доцент кафедры ЭУЭС

Тренажерная подготовка: методические указания к лабораторной работе по дисциплине для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» профиль «Электрооборудование и автоматика судов» заочной формы обучения / О.А. Белов – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2024. – с.181

Методические указания к лабораторной работе составлены в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» профиль «Электрооборудование и автоматика судов», утвержденного приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 28 февраля 2018 г. № 144 (уровень бакалавриат).

Обсуждены:

на заседании кафедры ЭУЭС «17» октября 2024 г., протокол № 4

Зав. кафедрой ЭУЭС  О.А. Белов

Методические указания к лабораторной работе по дисциплине «Тренажерная подготовка» рассмотрены и утверждены на заседании УМС протокол № 2 от «02» октября 2024 г.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Самостоятельная работа студентов (СРС) по дисциплине «Тренажерная подготовка» является важной составляющей частью подготовки студентов по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» профиль «Электрооборудование и автоматика судов» и выполняется в соответствии с ФГОС ВО. Основной целью СРС является:

- развитие навыков ведения самостоятельной работы;
- приобретение опыта систематизации полученных результатов исследований, формулировку новых выводов и предложений как результатов выполнения работы;
- развитие умения использовать научно-техническую литературу и нормативно-методические материалы в практической деятельности;
- приобретение опыта публичной защиты результатов самостоятельной работы.

В соответствии с требованиями ФГОС ВО по специальности 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» профиль «Электрооборудование и автоматика судов» изучение дисциплины «Тренажерная подготовка» направлено на формирование у выпускника следующих профессиональных компетенций:

- способность планировать и вести деятельность по техническому обслуживанию и ремонту электрооборудования (ПК-3).
- способность осуществлять управление деятельностью по техническому обслуживанию и ремонту электроустановок (ПК-4).

1.2. В результате изучения дисциплины студент должен знать:

- организационно-распорядительные, нормативно-технические и методические документы по вопросам эксплуатации высоковольтных линий электропередачи;
- основы экономики и организации производства, труда и управления в энергетике;
- знает правила технической эксплуатации электрических станций, сетей: техническое обслуживание и ремонт силовых кабелей;
- правила технической эксплуатации электроустановок потребителей: техническое обслуживание и ремонт силовых кабелей;
- правила организации технического обслуживания и ремонта оборудования, зданий и сооружений электростанций и сетей;
- правила пользования инструментом и приспособлениями, применяемыми при ремонте и монтаже энергетического оборудования;
- законодательные и нормативно-правовые акты, методические материалы по вопросам производственного планирования и оперативного управления производством;
- нормальные, аварийные, послеаварийные и ремонтные режимы эксплуатации оборудования, закрепленного за подразделением;
- организационно-распорядительные, нормативно-технические и методические документы по вопросам эксплуатации высоковольтных линий электропередачи;
- основы трудового законодательства Российской Федерации в объеме,

- необходимом для выполнения трудовых обязанностей;
- требования охраны труда, промышленной и пожарной безопасности и производственной санитарии, регламентирующие деятельность по трудовой функции.

1.3. В результате изучения дисциплины студент должен уметь:

- вести техническую и отчетную документацию;
- планировать и организовывать работу подчиненных работников;
- применять автоматизированные системы мониторинга и диагностики кабельных линий электропередачи;
- применять справочные материалы, анализировать научно-техническую информацию в области эксплуатации кабельных линий электропередачи;
- проводить визуальные и инструментальные обследования и испытания;
- умеет работать с текстовыми редакторами, электронными таблицами, электронной почтой и браузерами, специализированными компьютерными программами;
- разрабатывать предложения по текущему и перспективному планированию работ по техническому обслуживанию и ремонту кабельных линий электропередач;
- вести техническую и отчетную документацию;
- организовывать деятельность по техническому обслуживанию и ремонту кабельных линий электропередачи;
- организовывать работу при внедрении новых устройств;
- планировать и организовывать работу подчиненных работников;
- планировать производственную деятельность, ремонт оборудования кабельных линий электропередачи;
- разрабатывать предложения по текущему и перспективному планированию работ по техническому обслуживанию, ремонту.

1.4. В результате изучения дисциплины студент должен владеть:

- навыками оформления заявок на оборудование, материалы, запасные части, и др. необходимые для технического обслуживания и ремонта материальные ресурсы, а также проектно-конструкторскую и нормативно-техническую документацию, контроль выполнения заявок;
- навыками подготовки предложений в планы-графики осмотров, ремонта и технического обслуживания кабельных линий электропередачи;
- контролирует подготовку исходных и технических условий для проектирования строительства и реконструкции высоковольтных линий электропередачи;
- контроль подготовки планов-графиков осмотров, ремонта и технического обслуживания кабельных линий и контроль их выполнения;
- навыками контроля подготовки утвержденных дефектных ведомостей, проектов проведения работ и карт организации труда;

- навыками проведения аттестации и подготовки к сертификации рабочих мест на соответствие требованиям охраны труда;
- проверяет корректность расчетов, выполненных с целью обоснования планов и программ деятельности по техническому обслуживанию и ремонту кабельных линий электропередач;
- навыками контроля состояния и ведения технической документации в курируемом подразделении;
- организует ведение договорной работы для обеспечения технического обслуживания и ремонта кабельных линий электропередачи;
- организует документационное сопровождение деятельности по техническому обслуживанию и ремонту кабельных линий электропередачи, сооружений, контроль ведения исполнительной документации;
- организует оформление графиков освидетельствования;
- навыками организации планирования потребности в материальных ресурсах для технического обслуживания и ремонта кабельных линий электропередачи;
- организует разработки и согласование технических условий, технических заданий по обеспечению технического обслуживания и ремонта кабельных линий электропередачи;
- подготавливает проекты текущих и перспективных планов работы подразделения, графиков выполнения отдельных работ (мероприятий), согласование условий и сроков их выполнения с заинтересованными лицами (подразделениями) организации, а также с заказчиками и соисполнителями, доведение утвержденных плановых заданий до подчиненного персонала;
- расследует причины технологических нарушений в работе оборудования, несчастных случаев.

2. ВВЕДЕНИЕ

Лабораторный практикум по курсу «Тренажерная подготовка» охватывает следующие разделы: «Судовые электроэнергетические системы»; «Судовые информационно-измерительные системы»; «Судовые электрические машины»

В описании каждой работы приведены:

- 1) краткие сведения из теории, необходимые для выполнения лабораторных работ;
- 2) порядок выполнения работы;
- 3) указания по оформлению отчёта;
- 4) контрольные вопросы для проверки усвоенного материала.

При выполнении лабораторных работ студенты должны достичь следующих целей:

- убедиться в правильности теоретических положений, рассмотренных на лекционных занятиях, повторить и закрепить теоретический материал этих занятий;

- получить практический опыт чтения и сборки электрических схем, а также управления и работы с электрооборудованием;

- научиться снимать показания электроизмерительных приборов, обрабатывать полученные данные и на их основе делать выводы о характере исследуемых процессов;

- на основе составления отчетов по лабораторным работам получить навыки оформления электротехнической документации.

Лабораторные занятия проводятся по подгруппам, в каждой подгруппе от 2 до 4 студентов работающих совместно над одной и той же лабораторной работой.

Коллоквиум по проверке готовности студентов к выполнению лабораторной работы проводится в начале каждого занятия.

Хорошая подготовка к лабораторной работе - неременное условие ее эффективности, так как проведение любого эксперимента имеет смысл только в

том случае, если экспериментатор отчетливо представляет себе цель эксперимента и характер ожидаемых результатов.

Правила внутреннего распорядка и техники безопасности при выполнении лабораторных работ

При работе в лаборатории электротехники и электроники во избежание несчастных случаев, а также преждевременного выхода из строя приборов и электрооборудования студент при выполнении лабораторных работ должен строго выполнять следующие правила внутреннего распорядка и техники безопасности:

1. Приступая в лаборатории к работе, студент должен ознакомиться с правилами внутреннего распорядка и техники безопасности.

2. Студенты обязаны не только строго выполнять эти правила, но и требовать неуклонного выполнения их от своих товарищей.

3. После ознакомления с правилами внутреннего распорядка и инструктажа по технике безопасности студент должен расписаться в соответствующем журнале.

4. При работе в лаборатории категорически запрещается приносить с собой вещи и предметы, загромождающие рабочие места, способствующие созданию условий, могущих привести к нарушению правил техники безопасности.

5. В лаборатории запрещается громко разговаривать, покидать рабочие места и переходить от одного стенда к другому.

6. Приступая к работе в лаборатории, студенческая группа делится на бригады, которые затем распределяются по лабораторным стендам.

7. Лабораторная работа, пропущенная студентом, выполняется по разрешению деканата и особому расписанию.

8. Сборку электрической цепи производят соединительными проводами при выключенном напряжении питания в строгом соответствии со схемой, представленной в лабораторном практикуме, обеспечивая при этом надежность электрических контактов всех разъемных соединений.

9. Приступая к сборке электрической цепи, необходимо убедиться в том, что к стенду не подало напряжение.

10. При сборке электрической цепи необходимо следить затем, чтобы соединительные провода не перегибались и не скручивались петлями. Приборы и электрооборудование расставляются так, чтобы было удобно ими пользоваться.

11. Собранная электрическая цепь предъявляется для проверки преподавателю или лаборанту.

12. Включение электрической цепи под напряжение (после проверки) производится только с разрешения и в присутствии преподавателя или лаборанта.

13. При обнаружении неисправностей в электрической цепи необходимо немедленно отключить ее от питающей сети и доложить об этом преподавателю или лаборанту.

14. Переключения и исправления в собранной электрической цепи разрешается производить только при отключенном напряжении питания.

15. Запрещается прикасаться пальцами, карандашами и другими предметами к оголенным токоведущим частям электрической цепи, находящимся под напряжением.

16. При работе с конденсаторами следует помнить, что на их зажимах, отключенных от сети, некоторое время сохраняется электрический заряд, могущий быть причиной поражения электрическим током.

17. При обнаружении повреждений электрического оборудования и приборов стенда, а также при появлении дыма, специфического запаха или искрения необходимо немедленно выключить напряжение питания стенда и известить об этом преподавателя или лаборанта.

18. После выполнения лабораторной работы необходимо выключить напряжение питания стенда, разобрать исследуемую электрическую цепь и привести в порядок рабочее место.

19. В случае поражения человека электрическим током необходимо немедленно обесточить стенд, выключив напряжение питания. При потере сознания и остановке дыхания необходимо немедленно освободить пострадавшего от стесняющей его одежды и делать искусственное дыхание до прибытия врача.

Общие методические рекомендации и указания по выполнению лабораторных работ

Подготовка к лабораторным работам. Лабораторные работы в группах проводятся в соответствии с расписанием учебных занятий в академии и в течение определенного времени. Поэтому для выполнения лабораторных работ студент должен руководствоваться следующими положениями:

- предварительно ознакомиться с графиком выполнения лабораторных работ;
- внимательно ознакомиться с описанием соответствующей лабораторной работы и установить, в чем состоит основная цель и задача этой работы;
- по лекционному курсу и соответствующим литературным источникам изучить теоретическую часть, относящуюся к данной лабораторной работе;
- до проведения лабораторной работы подготовить в рабочей тетради соответствующие схемы, миллиметровку для построения графиков, таблицы наблюдений и расчетные формулы;
- неподготовленные к работе студенты к выполнению лабораторной работы не допускаются.

Выполнение лабораторных работ. Успешное выполнение лабораторных работ может быть достигнуто в том случае, если экспериментатор отчетливо представляет себе цель эксперимента и ожидаемые результаты, поэтому важным условием обстоятельности проводимых исследований является тщательная подготовка к лабораторной работе. При этом необходимо соблюдение следующих требований:

1. Перед сборкой электрической цепи студенты должны предварительно ознакомиться с электрическим оборудованием и его номинальными данными, а также с измерительными приборами, предназначенными для проведения соответствующей лабораторной работы.

2. Сборку электрической цепи необходимо производить в точном соответствии с заданием. Целесообразно вначале соединить все элементы цепи, включаемые последовательно, а затем - параллельно. Электрические цепи, включаемые параллельно, рекомендуется соединять проводами другого цвета.

3. После окончания сборки электрическая цепь должна быть предъявлена для проверки. Включать цепь под напряжением можно только с разрешения преподавателя или дежурного лаборанта.

4. Запись показаний всех приборов в процессе выполнения лабораторной работы следует производить по возможности одновременно и быстро.

5. Результаты измерений заносятся студентом в свою рабочую тетрадь.

6. После выполнения отдельного этапа лабораторной работы результаты опыта вместе с простейшими контрольными расчетами предъявляются для проверки преподавателю до разборки электрической цепи.

7. Разбирать электрическую цепь, а также переходить к сборке новой можно только по разрешению преподавателя.

8. После окончания работы в лаборатории рабочее место должно быть приведено в порядок.

9. В течение всего времени занятий в лаборатории студенты обязаны находиться на своих рабочих местах. Выходить из помещения лаборатории во время занятий можно только с разрешения преподавателя.

10. Номинальными данными являются значения тока, напряжения и мощности, на которые рассчитаны соответствующие электротехнические устройства.

Оформление отчета по лабораторным работам. Составление отчета о проведенных исследованиях является важнейшим этапом выполнения лабораторной работы. По каждой выполненной работе в рабочей тетради составляют отчет, руководствуясь следующими положениями:

- указать название и порядковый номер лабораторной работы, а также кратко сформулировать цель работы;

- схемы и графики вычертить с помощью трафарета радиоинженера или циркуля и линейки с соблюдением принятых стандартных условных обозначений;
- графические зависимости дать в прямоугольной системе координат в масштабе, с равномерными шкалами; произвольный перенос начала координат не допускается; на графиках необходимо наносить экспериментальные точки;
- отчет по каждой лабораторной работе должен содержать основные выводы.

ОПИСАНИЕ РАБОТЫ ГРЩ

Тренажерный комплекс (тренажер) состоит из одного главного распределительного щита и двух генераторных агрегатов. Каждый генераторный агрегат включает в себя трехфазный синхронный генератор 3х400 В, 50 Гц, 0,6 КВт, приводимый во вращение трехфазным асинхронным электродвигателем переменного тока. Тренажер предназначен для моделирования судовой электроэнергетической системы (СЭЭС) и отработки навыков по управлению ею.

Основная электростанция моделируемой СЭЭС состоит из двух дизель-генераторных агрегатов переменного трехфазного тока мощностью по 0,6 КВт (ДГ1 и ДГ2) и одного валогенератора мощностью 0,6 КВт (ВДГ). Основным распределительным устройством электростанции является автоматизированный главный распределительный щит (ГРЩ). Предусмотрен прием питания с берега на ГРЩ. Дизель-генераторы имитируются генераторными агрегатами. Валогенератор и фидер питания с берега имитируется фидером ввода питания.

Описание ГРЩ

ГРЩ состоит из четырех секций: двух секций дизель-генераторов, одной секции валогенератора и одной секции управления. В секции управления ГРЩ установлен секционный выключатель сборных шин ГРЩ.

В ГРЩ встроена система автоматического управления судовой электростанцией (PowerManagementSystem, PMS). PMS состоит из четырех блоков управления типа PPM производства фирмы DEIF A/S (Дания), встроенных в каждую секцию щита. Каждый блок PPM управляет одним выключателем главного тока: выключателями генераторов и секционным выключателем. Каждый блок PPM имеет панель оператора, установленную на лицевой стороне ГРЩ, на которой отображаются параметры управляемого блоком выключателя и генератора. Кроме того, блок PPM, установленный в секции генераторной 1, является базовым, к нему подключена дополнительная панель оператора (AOP), установленная на лицевой стороне секции управления, с которой оператор может задать режимы управления электростанцией.

Для питания и управления приводными электродвигателями генераторов, в секциях дизель-генераторов установлены преобразователи частоты переменного тока. На эти преобразователи поступают команды от блоков РРМ (команды "ПУСК" и "СТОП") и от электронных потенциометров задания частоты (команды "ЧАСТОТА БОЛЬШЕ" и "ЧАСТОТА МЕНЬШЕ"). В автоматическом режиме управления с блоков РРМ на электронные потенциометры задания частоты дизель-генераторов поступают команды "ЧАСТОТА БОЛЬШЕ" и "ЧАСТОТА МЕНЬШЕ". Автоматическое управление частотой и напряжением валогенератора не производится. В ручном режиме управления оператор может изменять частоту дизель-генераторов с помощью переключателей "ЧАСТОТА БОЛЬШЕ\МЕНЬШЕ" с лицевой панели ГРЩ или с лицевой панели этих же электронных потенциометров.

Каждый генератор снабжен автоматическим регулятором напряжения. На эти регуляторы поступают команды от электронных потенциометров задания напряжения. В автоматическом режиме управления с блоков РРМ на электронные потенциометры задания напряжения поступают команды "НАПРЯЖЕНИЕ БОЛЬШЕ" и "НАПРЯЖЕНИЕ МЕНЬШЕ". В ручном режиме управления оператор может изменять напряжение генераторов с помощью этих же электронных потенциометров задания напряжения, для этого электронные потенциометры вынесены на лицевую панель ГРЩ и снабжены кнопками.

Кроме описанного выше, каждая генераторная панель имеет следующие органы управления:

- кнопки "ПУСК" и "СТОП" для ручного запуска и остановки генераторов;
- грибовидная кнопка "АВАРИЙНЫЙ СТОП" для аварийной остановки генераторов;
- переключатели выбора режима управления;

- кнопки имитации срабатывания защит от токов короткого замыкания и дифференциальной защиты генераторов;

- кнопки имитации срабатывания защит приводных двигателей генераторов от понижения давления масла, повышения температуры охлаждающей жидкости, разноса;

- кнопки ручного управления выключателями генераторов.

На секции управления установлен комплект приборов для ручной точной синхронизации:

- двойной вольтметр;

- двойной частотомер;

- электронный синхроскоп;

- переключатель выбора синхронизируемых источников.

На секции управления предусмотрены кнопки управления мощными потребителями ГРЩ.

На генераторных секциях и секции управления предусмотрены стрелочные измерительные приборы для измерения необходимых величин.

ГРЩ обеспечивает защиты от:

- генераторов от перегрузки по току и мощности;

- генераторов от токов короткого замыкания;

- генераторов от обратной мощности;

- генераторов от снижения частоты;

- генераторов от снижения напряжения;

- двухступенчатое отключение неответственных потребителей при перегрузке;

- фидера питания с берега, фидеров потребителей от токов короткого замыкания и перегрузки;

- фидера питания с берега от обрыва фазы, снижения напряжения и обратного чередования фаз;

- вспомогательных цепей и аппаратуры от токов короткого замыкания и перегрузки.

Режимы работы ГРЩ

ГРЩ обеспечивает следующие режимы работы судовой электростанции:

- длительная одиночная работа одного ДГ на главные шины и шины валогенератора ГРЩ;

- длительная параллельная работа двух ДГ на главные шины и шины валогенератора ГРЩ;

- длительная одиночная работа одного ДГ на главные шины ГРЩ, длительная работа ВГ на шины валогенератора

- длительная параллельная работа двух ДГ на главные шины ГРЩ, длительная работа ВГ на шины валогенератора;

- длительная работа ВГ на шины валогенератора и на главные шины ГРЩ ;

- длительный прием питания с берега на главные шины и шины валогенератора ГРЩ;

- длительный прием питания с берега только на главные шины ГРЩ.

Допускается только кратковременная параллельная работа одного ДГ и ВГ на время перевода нагрузки с ВГ на ДГ или обратно! Параллельная работа между ВГ и двумя ДГ запрещена!

Выбор режима управления генераторами

Режим управления генераторами задается переключателями "РЕЖИМ УПРАВЛЕНИЯ" для каждого генератора на соответствующей генераторной секции:

"ОТКЛ" – управление генератором отключено, управление выключателем генератора заблокировано.

"РУЧНОЕ" – ручное управление генератором и его выключателем.

"АВТОМАТ" – автоматическое управление генератором и его выключателем, ручное управление выключателем генератора заблокировано.

Ручному режиму ГРЩ соответствует режим, при котором ни один генератор не находится в режиме "АВТОМАТ", но хотя бы один находится в режиме "РУЧНОЕ". Автоматическому режиму ГРЩ соответствует режим, при котором хотя бы один генератор находится в режиме "АВТОМАТ".

Ручное управление ДГ с ГРЩ, их выключателями, а также подстройка их частоты вращения и напряжения запрещены, если для ДГ выбран режим управления "АВТОМАТИЧЕСКОЕ". Перед производством каких-либо операций с ДГ или ВГ в ручном режиме, сначала необходимо установить режим управления "РУЧНОЕ" для соответствующего генератора.

Перед выполнением каких-либо действий, убедитесь в том, что они не приведут к возникновению неисправностей, аварий и нежелательных последствий: несинхронное включение выключателей, обесточивание сборных шин и потребителей, чрезмерный сброс или наброс нагрузки на источники электроэнергии, срабатывание защит и т.п. Во избежание несинхронного включения источников электроэнергии на сборные шины, пользуйтесь методом ручной точной синхронизации по синхроскопу. Включение источников электроэнергии на шины без синхронизации допускается только при обесточенных сборных шинах!

Функционирование ГРЩ в ручном режиме

Ручной запуск генераторов

- установите режим управления генератора "РУЧНОЕ";
- убедитесь в том, что генератор остановлен и готов к старту, не имеет ни одного предупредительного или аварийного сигнала;
- нажмите кнопку "ПУСК" соответствующего генератора;
- проверьте напряжение и частоту холостого хода генератора;
- подстройте частоту и напряжение (при необходимости).

Ручная остановка генератора

- установите режим управления генератора "РУЧНОЕ". Если генератор работал в параллель с другим генератором – установите режим управление "РУЧНОЕ" для всех генераторов;
- если генератор работает в параллель с другим генератором или берегом – плавно уменьшите нагрузку генератора до 0;
- отключите автоматический выключатель генератора;
- нажмите кнопку "СТОП" генератора;
- генератор будет автоматически остановлен через несколько секунд после подачи команды "СТОП", когда будет выполнено его расхолаживание (время расхолаживания задается блоком управления генератора);
- если генератор не остановился в течение длительного времени (превышающее время расхолаживания), нажмите кнопку "АВАРИЙНЫЙ СТОП" генератора для активации аварийной остановки двигателя. После

аварийной остановки, проверьте и устраните все аварийные и предупредительные сигналы от генератора.

Включение генераторных автоматических выключателей

- убедитесь в том, что генератор запущен и имеет нормальное напряжение и частоту холостого хода;
- убедитесь в исправности цепей управления автоматического выключателя
- светящаяся лампа индицирует, что генераторный выключатель отключен и вспомогательное напряжение подано на ГРЩ;
- проверьте, что генераторный выключатель готов к включению;
- убедитесь в том, что включение генераторного выключателя не приведет к возникновению каких-либо неисправностей (например несинхронное включение);
- нажмите кнопку "ВКЛ" для включения выключателя.

Отключение генераторного выключателя

- если генератор работает параллельно с другим генератором, разгрузите отключаемый генератор, чтобы его нагрузка не превышала 10% номинальной;
- нажмите кнопку "ОТКЛ" для отключения выключателя.

Ручное включение секционного выключателя

- проверьте наличие питания в цепях управления выключателя (наличие питания индицируется лампой "QM отключен" в случае исправности цепей выключателя и когда выключатель отключен);

- убедитесь в том, что включение секционного выключателя не приведет к нежелательным последствиям (например существенный наброс/сброс нагрузки для работающих генераторов, несинхронное включение);

- нажмите кнопку "ВКЛ" для включения выключателя.

Ручное отключение секционного выключателя

- убедитесь в том, что отключение секционного выключателя не приведет к нежелательным последствиям (например существенный наброс/сброс нагрузки для работающих генераторов);

- нажмите кнопку "ОТКЛ" для отключения секционного выключателя.

Включение и выключение питания с берега

Выключатель QA может быть включен только в случае наличия напряжения с правильным чередованием фаз на его вводе. Проверка чередования фаз автоматически производится при помощи реле чередования фаз, расположенным на лицевой панели секции управления. При потере питания с берега, обрыва одной из его фаз или обнаружения обратной последовательности фаз – выключатель будет немедленно отключен.

Для включения выключателя питания с берега:

- убедитесь в наличии напряжения питания с берега, в правильном его чередовании фаз;

- убедитесь в том, что включение выключателя питания с берега не приведет к нежелательным последствиям (например несинхронное включение);

- нажмите кнопку "ВКЛ" для включения выключателя питания с берега.

Для отключения выключателя питания с берега нажмите кнопку "ОТКЛ" для этого выключателя.

Ручная точная синхронизация

Комплект приборов для ручной синхронизации расположен на секции управления:

Переключатель "РЕЖИМ СИНХРОНИЗАЦИИ" служит для выбора работающего и подключаемого источников при синхронизации для отображения параметров на приборах и выбора управления выключателем подключаемого источника. Например, при выборе положения переключателя "1. G1 – ШИНЫ G1" работающей системой будет сборные шины ГРЩ со стороны генератора G1, подключаемой системой – генератор G1, включаемым выключателем – QG1.

Двойной вольтметр служит для контроля разности напряжений синхронизируемых источников. Напряжение подключаемой системы отображается на шкале с пометкой "I", напряжение работающей системы – на шкале с отметкой "II".

Двойной частотомер служит для контроля разности частот синхронизируемых источников. Частота подключаемой системы отображается на шкале с пометкой "I", частота работающей системы – на шкале с отметкой "II".

Светодиодный микропроцессорный синхроскоп служит для контроля разности напряжений и частот синхронизируемых источников, а также для точной подстройки фаз синхронизируемых источников. Вращающийся светодиодный огонь индицирует разность фаз между источниками. Индикатор, помеченный черной стрелкой, соответствует разности фаз равной 0° . Вращение огня по часовой стрелке говорит о том, что частота подключаемого источника превышает частоту работающего источника, а вращение огня против часовой стрелки – наоборот, что частота подключаемого источника меньше частоты

работающего источника. Синхроноскоп осуществляет проверку разности напряжений, частот и фаз двух подключенных к нему источников. В тот момент, когда разность частот и напряжений работающей и подключаемой систем не будут превышать заданных значений, а разность фаз между источниками равна 0° — на черном указателе разности фаз включается зеленый световой сигнал, одновременно с этим замыкается выходной контакт встроенного в синхроноскоп реле, что свидетельствует о синхронизме — разрешении включить синхронизируемые источники на параллельную работу.

Кнопка "ВКЛ А.В." служит для включения выключателя выбранного подключаемого источника при синхронизации.

Для ручной синхронизации генераторов с шинами ГРЩ выполните следующие операции:

- запустите генератор;
- проверьте, что автоматический выключатель генератора готов к включению;
- выберите режим синхронизации (синхронизируемый генератор и систему шин, к которым он будет подключен) переключателем "РЕЖИМ СИНХРОНИЗАЦИИ" – напряжение, частота и разность фаз генератора и шин будут индицироваться на приборах комплекта синхронизации;
- подстройте напряжение подключаемого генератора, добившись минимальной разницы напряжений работающей и подключаемой систем;
- подстройте частоту подключаемого генератора таким образом, чтобы она немного превышала частоту работающей системы – красный огонь синхроноскопа должен медленно вращаться по часовой стрелке;
- в случае, когда подключаемой системой является валогенератор, допускается подстраивать напряжение и частоту не подключаемой, а работающей системы, оперируя частотой и напряжением уже подключенного к

шинам источника электроэнергии. При этом разность напряжений и частот также должна быть минимальна и частота валогенератора должна слегка превышать или быть равной частоте шин;

- дождитесь момента, когда на синхроскопе засветится зеленый индикатор, соответствующий синхронизму, нажмите кнопку "ВКЛ А.В." для включения соответствующего выключателя;

- после синхронизации распределите нагрузку между генераторами;

- если была произведена синхронизация дизель-генератора с валогенератором, то переведите нагрузку на только что подключенный генератор, затем отключите и остановите ранее работавший генератор;

- переведите переключатель "РЕЖИМ СИНХРОНИЗАЦИИ" в положение "ОТКЛ".

Функционирование ГРЩ в автоматическом режиме

Ручному режиму ГРЩ соответствует режим, при котором ни один генератор не находится в режиме "АВТОМАТ", но хотя бы один находится в режиме "РУЧНОЕ". Автоматическому режиму ГРЩ соответствует режим, при котором хотя бы один генератор находится в режиме "АВТОМАТ".

Если генератор находится в режиме автоматического управления, то ручное вмешательство в управление недопустимо поскольку это может привести к нештатным и аварийным ситуациям, к выходу аппаратуры ГРЩ и ДГ из строя! В этом режиме ручная подстройка частоты ДГ запрещена.

Основной режим автоматического управления

Основным режимом автоматического управления является режим, при котором секционный выключатель включен, все генераторы находятся в режиме "АВТОМАТ", один из ДГ является основным (согласно настройкам в PMS), другой ДГ является резервным (согласно настройкам в PMS).

Основной ДГ запущен и работает на сборные шины ГРЩ, резервный ДГ остановлен и готов к запуску, остановлен.

При достижении нагрузки основного ДГ 90% от его номинальной мощности или более в течение не менее 45 секунд, по команде от PMS будет запущен резервный ДГ, затем синхронизирован и включен на главные сборные шины ГРЩ. После включения нагрузка равномерно распределяется между двумя ДГ. Автоматическое распределение нагрузки между ДГ производится постоянно.

Когда основной ДГ работает на сборные шины ГРЩ, а резервный ДГ остановлен, то при получении от основного ДГ предупредительного сигнала о неисправности (неисправность может имитироваться при помощи кнопок и потенциометров с генераторной секции для каждого генератора) по команде от PMS будет запущен резервный ДГ, затем синхронизирован и включен на главные сборные шины ГРЩ. После включения нагрузка будет плавно

переведена на резервный ДГ, после чего основной ДГ будет отключен от шин и остановлен. После остановки основной ДГ будет считаться неготовым к запуску до тех пор, пока его обобщенный предупредительный сигнал не снимется.

Когда основной ДГ работает на сборные шины ГРЩ, то при получении от основного ДГ сигнала "ЭКСТРЕННЫЙ СТОП" (с помощью грибовидной кнопки аварийного останова) будет немедленно отключен его автоматический выключатель и выдана команда на его остановку. Если резервный ДГ остановлен и готов к запуску, то будет выдана команда на его запуск, и после запуска резервного ДГ его выключатель будет включен. Если в момент аварийной остановки основного ДГ резервный ДГ работал в параллель с основным, то резервный ДГ остается в работе. Основной ДГ считается неготовым к запуску до тех пор, пока его сигнал "ЭКСТРЕННЫЙ СТОП" не снимется.

Когда основной ДГ работает на сборные шины ГРЩ, а резервный ДГ остановлен, то при отключении выключателя основного ДГ током короткого замыкания, запуск резервного ДГ не будет произведен (защита от включения на короткое замыкание). При этом основной ДГ остается запущенным. После квитирования аварийных сигналов (на автоматическом выключателе и устройстве защиты генератора), если основной ДГ продолжает работать — будет произведено включение его на сборные шины. Если основной ДГ остановлен и готов к запуску, то он будет запущен и включен на сборные шины. Если основной ДГ к запуску не готов, то будет произведен запуск и включение на сборные шины резервного ДГ.

Основной и резервный ДГ работают параллельно на главные сборные шины.

Если нагрузка обоих ДГ составит 20% на каждый ДГ и менее в течение не менее 45 секунд, то нагрузка с резервного ДГ будет плавно переведена на основной, после чего резервный ДГ будет отключен и остановлен.

При получении обобщенного предупредительного сигнала от любого из параллельно работающих ДГ, неисправный ДГ будет плавно разгружен, отключен от главных сборных шин и остановлен и будет считаться неготовым к запуску до тех пор, пока обобщенный предупредительный сигнал не снимется. В случае получения сигнала "ЭКСТРЕННЫЙ СТОП" (аварийная остановка) от одного из работающих в параллель ДГ, этот ДГ будет немедленно отключен от главных сборных шин и остановлен.

Также тренажер реализует автоматический перевод нагрузки на валогенератор (ВГ) и обратно. Длительной параллельной работы ДГ и ВГ не предусмотрено. Параллельная работа одновременно обоих ДГ и ВГ является недопустимым режимом.

Оба ДГ являются основными.

В этом режиме, если на главные сборные шины ГРЩ не работает валогенератор, оба ДГ будут постоянно запущены и работать на главные сборные шины ГРЩ в параллель, даже при длительном снижении нагрузки на каждый ДГ менее 20%. При этом будет производиться автоматическое распределение нагрузки между ДГ. При получении от какого-либо ДГ сигнала о неисправности или сигнала "ЭКСТРЕННЫЙ СТОП", неисправный ДГ будет отключен, разгружен и остановлен. После снятия всех сигналов о неисправности, остановленный ДГ будет вновь запущен, синхронизирован с шинами и введен в работу.

Оба ДГ являются резервными.

В этом режиме, если на главные сборные шины ГРЩ не работает ВГ, один из ДГ будет постоянно запущен и работать на главные сборные шины ГРЩ. При росте и удержании нагрузки наработавший ДГ 90% и более в течение не менее 45 секунд, будет запущен другой ДГ, синхронизирован и включен на главные сборные шины ГРЩ. После включения будет производиться автоматическое распределение нагрузки между ДГ. При

снижении нагрузки до 20% и менее на каждый ДГ в течение не менее 45 секунд, ДГ1 будет разгружен, отключен от главных сборных шин и остановлен. При получении от какого-либо ДГ сигнала о неисправности или сигнала "ЭКСТРЕННЫЙ СТОП" (аварийная остановка), неисправный ДГ будет отключен, разгружен и остановлен. Если в этот момент на шины работал только один ДГ, то сначала будет запущен другой ДГ, синхронизирован и включен на шины.

Средства имитации на ГРЩ

Ввиду крайней технической сложности, некоторые параметры в моделируемой электростанции вместо реальных заменены на имитируемые. Для изменения значений этих параметров предусмотрены соответствующие органы управления.

Приводные двигатели генераторов имитируются асинхронными трехфазными двигателями, получающими питание от преобразователей частоты (ПЧ).

Сигналы неисправности от датчиков низкого уровня масла, повышенной температуры воды и превышения критической частоты вращения, навешенных на приводные двигатели генераторов, имитируются кнопками. Исправность этих цепей непрерывно контролируется блоками управления генераторов.

Срабатывание устройств защиты от токов короткого замыкания и дифференциальной защиты генератора также имитируется кнопками.

Средства коммуникации

Все блоки управления РРМ связаны между собой общей шиной с интерфейсом CAN. Это необходимо для согласованного совместного функционирования всех устройств автоматики в ГРЩ.

Дополнительно все блоки автоматики в ГРЩ имеют встроенный интерфейс RS-485 ModBUS-RTU. Все блоки автоматики объединены по этому интерфейсу в общую шину. Возможно подключение ГРЩ по этой шине к персональному компьютеру или промышленному контролеру по интерфейсу RS-485 ModBUS-RTU. Для подключения к персональному компьютеру необходимо наличие в компьютере последовательного COM-порта с интерфейсом RS-232 или RS-485. При наличии в персональном компьютере интерфейса RS-232 необходим внешний интерфейсный преобразователь RS-232/485. При наличии в персональном компьютере интерфейса RS-485 возможно прямое (без интерфейсного преобразователя) к шине данных ModBUS-RTU.

Для отображения параметров и структуры электростанции необходимо программное обеспечение DEIF A/S для устройств типа multi-line2 PPU и PPM.

Возможен и прямой обмен данными с устройствами автоматики ГРЩ при помощи любого программного обеспечения, поддерживающего протокол ModBUS-RTU в режиме MASTER – например ModBUS-совместимый OPC-сервер, эмулятор ModBUS и т.д.

Параметры коммуникации (адреса устройств на шине ModBUS, скорость обмена данными, четность и прочие параметры связи) задаются в устройствах PPU и PPM.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

Оживление электростанции на ручном и автоматическом виде управления при отсутствии питания с берега

ЦЕЛИ РАБОТЫ

1. Настройка и подготовка к работе дизель-генератора.
2. Подготовка дизель-генератора к работе на судовую сеть.

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К РАБОТЕ

Тренажерный комплекс (тренажер) состоит из одного главного распределительного щита и двух генераторных агрегатов. Каждый генераторный агрегат включает в себя трехфазный синхронный генератор 3х400 В, 50 Гц, 0,6 КВт, приводимый во вращение трехфазным асинхронным электродвигателем переменного тока. Тренажер предназначен для моделирования судовой электроэнергетической системы (СЭЭС) и отработки навыков по управлению ею.

Основная электростанция моделируемой СЭЭС состоит из двух дизель-генераторных агрегатов переменного трехфазного тока мощностью по 0,6 КВт (ДГ1 и ДГ2) и одного валогенератора мощностью 0,6 КВт (ВДГ). Основным распределительным устройством электростанции является автоматизированный главный распределительный щит (ГРЩ). Предусмотрен прием питания с берега на ГРЩ. Дизель-генераторы имитируются генераторными агрегатами. Валогенератор и фидер питания с берега имитируется фидером ввода питания.

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

1. Произвести запуск генератора при помощи кнопки запуска (рис. 1.1).



Рис. 1.1. Кнопки запуска ДГ1

2. При помощи потенциометра напряжения (рис. 1.2) увеличить ток возбуждения дизель-генератора 1, пока ЭДС генератора не установится до номинального параметра $U=400\text{В}$.



Рис. 1.2. Электронный потенциометр напряжения

3. При помощи потенциометра частоты (рис. 1.3) выводим дизель-генератор 1 на

количество оборотов до номинального параметра $f=50$ Гц.



Рис. 1.3. Электронный потенциометр частоты

4. Затем при помощи генераторного автомата QG 1 (рис. 1.4) включаем дизель-генератор 1 в сеть.



Рис. 1.4. Генераторный автомат QG 1

5. После того как подключили генератор в сеть включаем активную нагрузку 2 (рис 1.5). Наблюдаем провал по частоте вращения дизель-генератора 1, при

помощи потенциометра частоты увеличиваем обороты дизель-генератора 1 до частоты $f=50$ Гц.



Рис. 1.5. Активная нагрузка 2

Электростанция оживлена по схеме на рис.1.6.

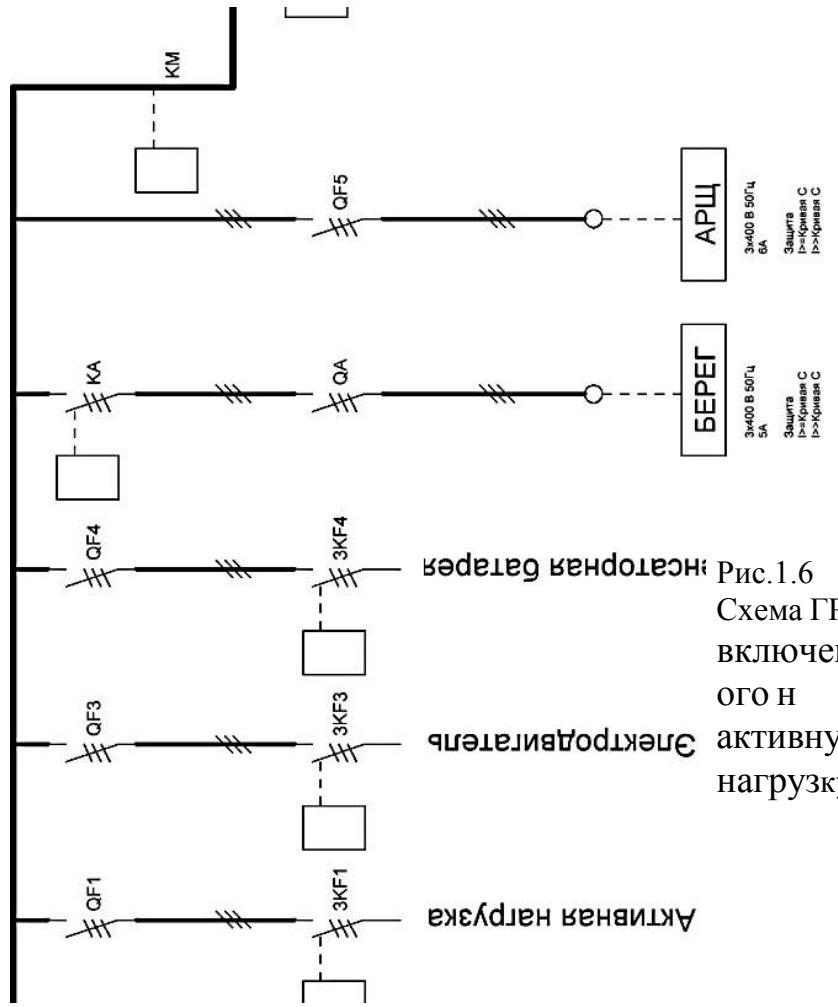


Рис.1.6
 Схема ГР
 включенн
 ого н
 активную
 нагрузку 2

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Условия и номинальные параметры, при которых возможно подключения ДГ на сеть.
2. Устройство и принцип действия дизель-генераторного агрегата.
3. Устройство и принцип работы системы регулирования напряжения и регулирования частоты.
4. Чем отличается ЭДС генератора от напряжения сети.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

Применение программного комплекса M-Vision для мониторинга основных параметров и управления судовой автоматизированной электростанции.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Знакомство с программным комплексом M-Vision.
2. Отработать навык по дистанционному управлению судовой автоматизированной электростанцией с использованием пакета M-Vision.

ОПИСАНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА M-VISION

Продукт M-Vision представляет собой программное обеспечение на базе Windows, используемое в качестве интерфейса человек-машина (HMI) для управления энергоустановкой с помощью систем multi-line 2 или Delomatic, выпускаемых компанией DEIF.

Связь M-Vision с системой управления энергоустановкой осуществляется с помощью стандартного драйвера OPC. Он позволяет получить все значения аналоговых и цифровых величин для визуализации и регистрации процессов в режиме реального времени.

Программа также позволяет управлять системой с помощью команд. M-Vision обеспечивает выполнение следующих функций:

Управление сигналами тревоги

– Составление трендов

– Функция драйвера (Modbus/OPC), который обеспечивает связь между системой управления и программным приложением

– Регистрация данных в журнале: Данные, полученные драйвером, периодически сохраняются в базе данных, размешенной на сервере

– Генератор отчетов

Приложение, разработанное на основе программы M-Vision, конфигурируется компанией DEIF, согласно спецификациям заказчика, или самим пользователем - с помощью программы —M-Visiondesigner1.

Кроме связи с сервером M-Vision, расположенным на сайте, система может осуществлять передачу и прием содержимого экранов и отчетов с одним или несколькими удаленными клиентскими приложениями.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗНАКОМСТВО С ПРОГРАММНЫМ КОМПЛЕКСОМ ПО УПРАВЛЕНИЮ СУДОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЕЙ

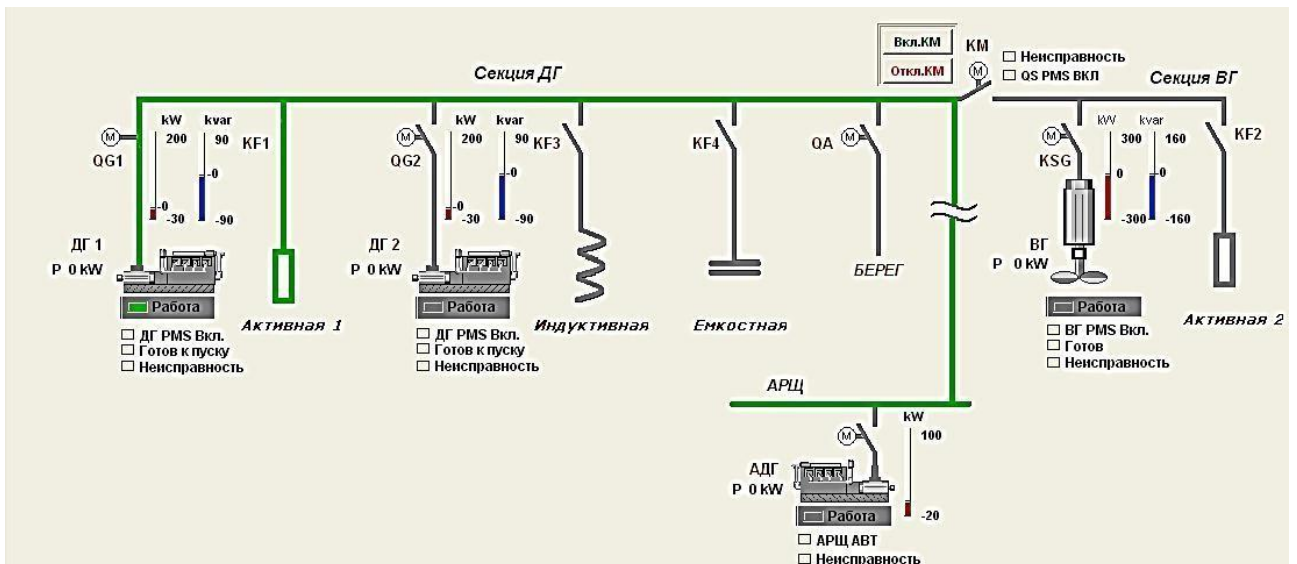


Рис. 2.1. Работа дизель-генератора 1 на активную нагрузку 1

Данный режим соответствует работе одиночной работе ДГ 1 на активную нагрузку 1, показания приборов должны соответствовать следующим значениям: $U=400$ В, $f=50$ Гц.

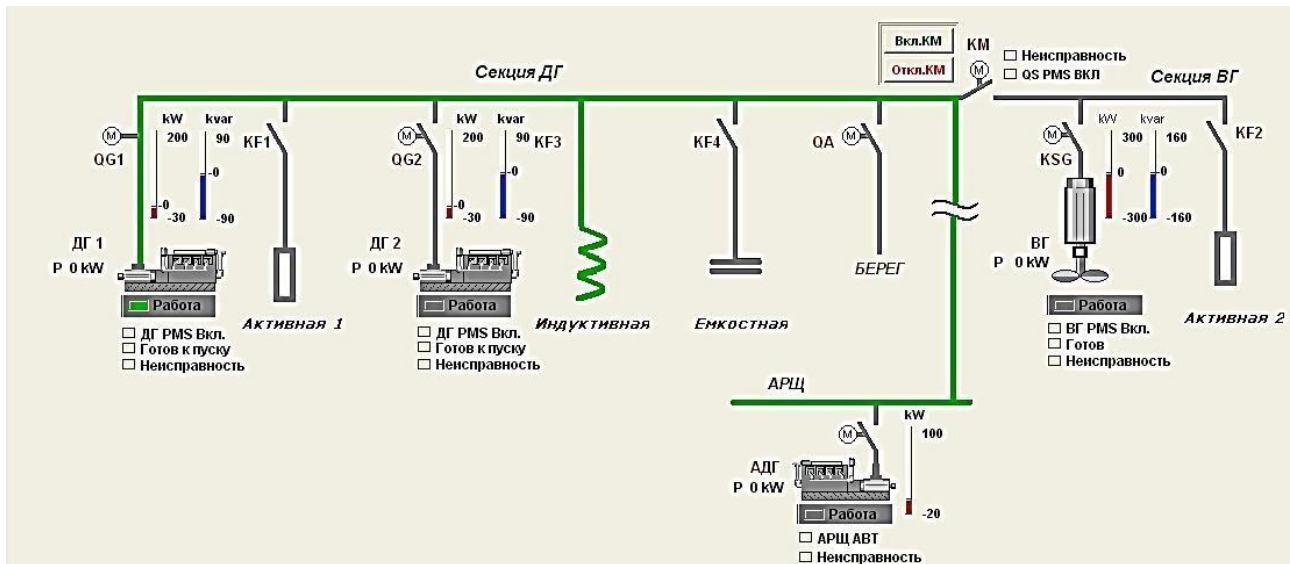


Рис. 2.2. Работа дизель-генератора 1 на индуктивную нагрузку

Данный режим соответствует одиночной работе ДГ 1 на индуктивную нагрузку, показания приборов должны соответствовать следующим значениям: $U=400$ В, $f=50$ Гц, следует отметить что при включении индуктивной нагрузки произойдет провал напряжения.

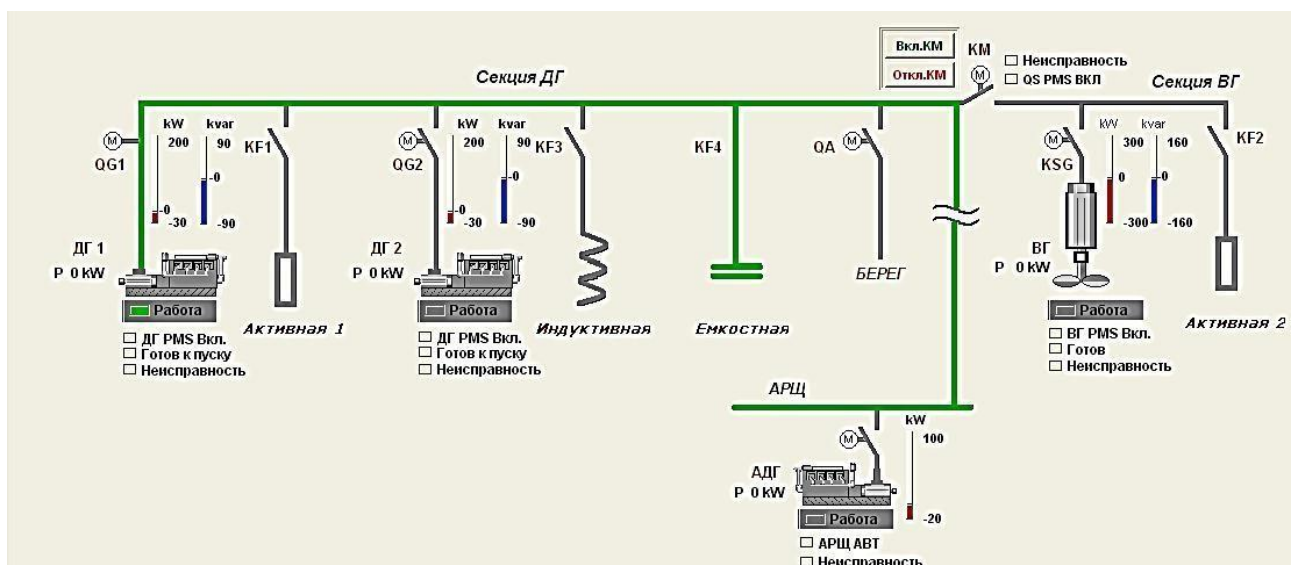


Рис. 2.3. Работа дизель-генератора 1 на емкостную нагрузку

Данный режим соответствует одиночной работе ДГ 1 на емкостную нагрузку, показания приборов должны соответствовать следующим значениям: $U=400$ В, $f=50$ Гц, следует отметить что при включении емкостной нагрузки произойдет увеличение напряжения, из-за отставания напряжения от тока на 90° .

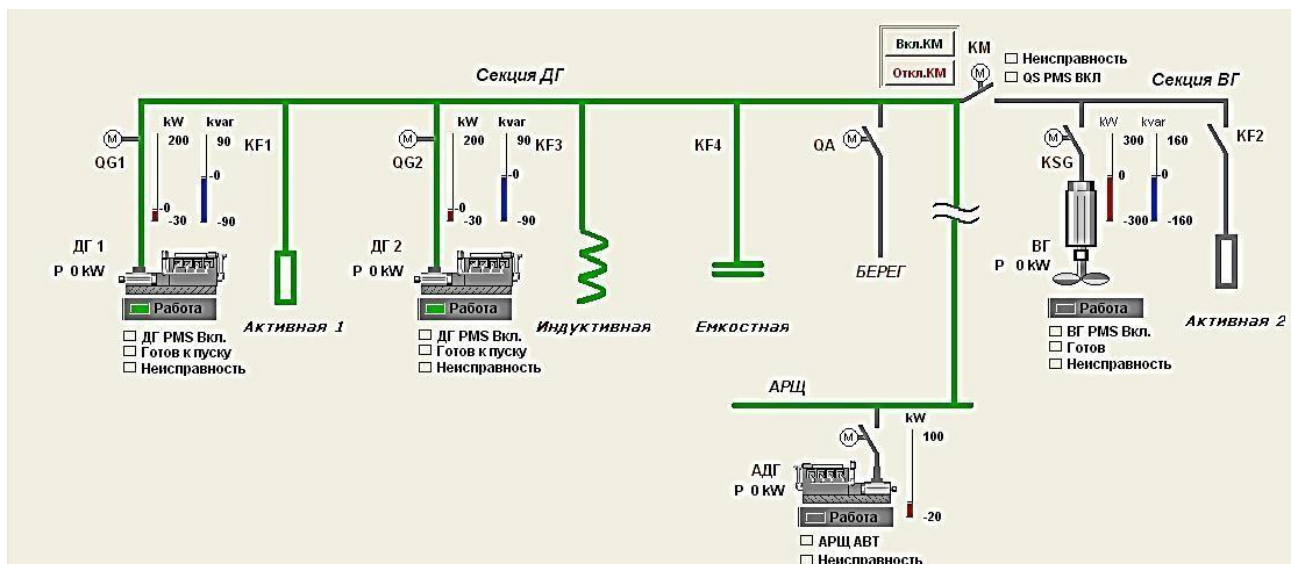


Рис. 2.4. Параллельная работа дизель-генератора 1 и дизель-генератора 2 на индуктивную, емкостную и активную нагрузку 1

Данный режим соответствует параллельной работе ДГ 1 и ДГ 2 на сеть с активно-реактивными приемниками электрической энергии, показания приборов должны соответствовать следующим значениям: $U=400$ В, $f=50$ Гц, синхронизация осуществляется при помощи микропроцессорного светодиодного синхроскопа методом точной синхронизации.

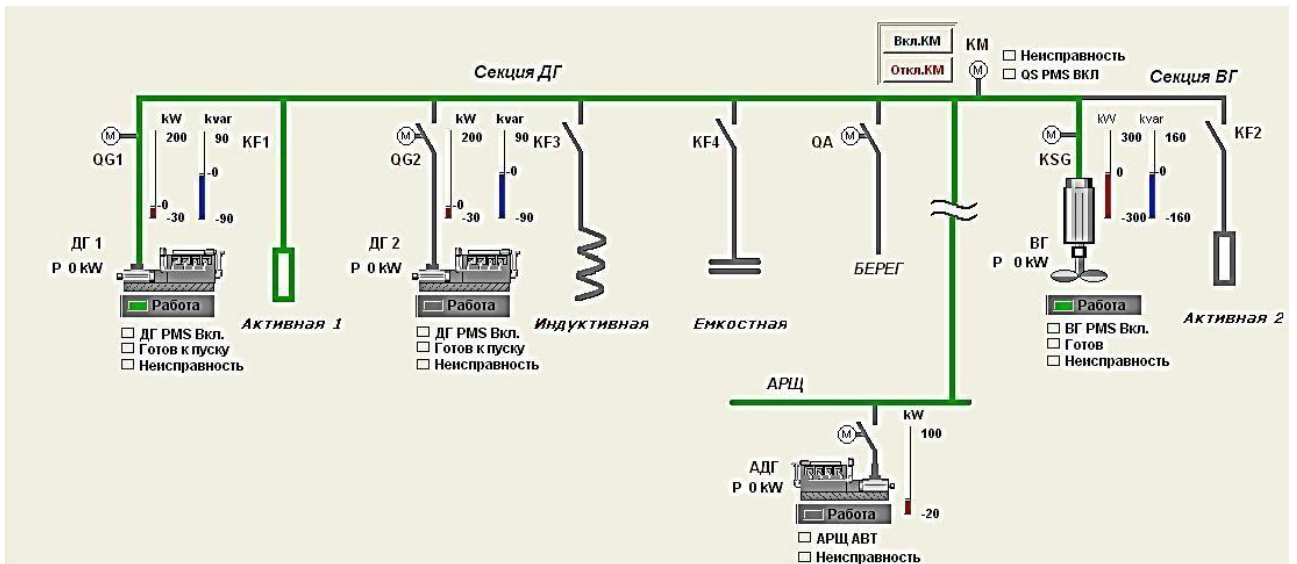


Рис. 2.5. Параллельная работа дизель-генератора 1 и валогенератора на активную нагрузку 1

Данный режим соответствует параллельной работе ДГ 1 и ВГ на сеть с активной нагрузкой, показания приборов должны соответствовать следующим значениям: $U=400$ В, $f=50$ Гц, синхронизация осуществляется при помощи микропроцессорного светодиодного синхроскопа методом точной синхронизации.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Устройство микропроцессора.
2. Судовые автоматические системы управления.
3. Описание программного комплекса M-Vision.

ЛАБОРОТОРНАЯ РАБОТА №3

Распределение реактивной нагрузки между параллельно работающими генераторами на ручном виде управления

ЦЕЛИ РАБОТЫ

Распределение реактивной нагрузки между двумя параллельно работающими генераторами

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К РАБОТЕ

ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ РАБОТА

ГЕНЕРАТОРОВ

Тренажерный комплекс DEIF

В идеальном случае после подключения генератора на параллельную работу нагрузка его равна нулю. Теперь, следовательно, необходимо его нагрузить. Для этого при работе генераторов постоянного тока нужно увеличивать ток возбуждения подключенного генератора и одновременно уменьшать ток возбуждения у ранее работавших генераторов. Наблюдая за показаниями амперметров, таким путем устанавливают необходимые токи генераторов (т. е. распределяют нагрузку между генераторами).

Распределение нагрузки между параллельно работающими синхронными генераторами производится регулированием тока возбуждения и вращающего момента на валу генератора. От тока возбуждения генератора зависит величина э. д. с. в обмотке статора генератора и, следовательно, величина реактивной нагрузки (тока) генератора. Изменение тока возбуждения осуществляется установочным сопротивлением автоматического регулятора напряжения (или ручным регулятором возбуждения).

При изменении вращающего момента ротор генератора смещается относительно статора (изменяется угол между векторами

напряжения сети и э. д. с. генератора), что определяет величину активной мощности генератора. Изменение вращающего момента на валу генератора производится

регулированием подачи или пара в приводной двигатель генератора с помощью серводвигателя регулятора скорости вращения.

Для сохранения постоянства напряжения и частоты тока сети при переводе нагрузки с одного генератора на другой необходимо одновременно изменять токи возбуждения генераторов, а также их вращающие моменты. При этом у нагружаемого генератора эти величины увеличиваются, а у разгружаемого уменьшаются. Так как синхронные генераторы всегда имеют автоматические регуляторы напряжения, а приводные двигатели — автоматические регуляторы скорости, то практически перераспределять нагрузки между параллельно работающими генераторами можно путем воздействия на один из генераторных агрегатов.

После того как произведено принудительное распределение нагрузки между параллельно работающими генераторами в соответствии с их номинальными мощностями, необходимо, чтобы в дальнейшем генераторы самостоятельно поддерживали распределение нагрузок в заданной им пропорции. В противном случае с течением времени одни генераторы могут оказаться недогруженными, а другие перегруженными.

Распределение реактивных нагрузок между параллельно работающими синхронными генераторами обеспечивается характеристиками автоматического регулирования напряжения.

Для сохранения постоянства напряжения и частоты тока сети при переводе нагрузки с одного генератора на другой необходимо одновременно изменять токи возбуждения генераторов, а также их вращающие моменты. При этом у нагружаемого генератора эти величины увеличиваются, а у разгружаемого уменьшаются. Так как синхронные генераторы всегда имеют автоматические регуляторы напряжения, а приводные двигатели — автоматические регуляторы скорости, то практически перераспределять нагрузки между параллельно работающими генераторами можно путем воздействия на один из

генераторных агрегатов.

После того как произведено принудительное распределение нагрузки между параллельно работающими генераторами в соответствии с их номинальными мощностями, необходимо, чтобы в дальнейшем генераторы самостоятельно поддерживали распределение нагрузок в заданной им пропорции. В противном случае с течением времени одни генераторы могут оказаться недогруженными, а другие перегруженными.

Распределение реактивных нагрузок между параллельно работающими синхронными генераторами обеспечивается характеристиками автоматического регулирования напряжения.

Большемстатизме характеристик зона нечувствительности дает меньший разброс нагрузок генераторов, для лучшего распределения нагрузки при параллельно работающих генераторах следует стремиться к уменьшению зоны нечувствительности и увеличению статизма систем регулирования напряжения. Современные регуляторы напряжения имеют зону нечувствительности $\pm(0,5-1)\%$ и допускают регулирование статизма в пределах от 0 до 4—6%.

Правилами Регистра требуется, чтобы неравномерность распределения реактивных нагрузок составляла не более $\pm 10\%$ мощности меньшего генератора.

В некоторых случаях, особенно при установке генераторов большой мощности, для выполнения данного требования прибегают к применению специальных схем автоматического распределения реактивных нагрузок между генераторами. Эти схемы осуществляют параллельное смещение, а следовательно, сближение характеристик регулирования напряжения что уменьшает ошибку в распределении нагрузок и обеспечивает стабильность напряжения и частоты на шинах электростанции.

Теоретически возможна параллельная работа генераторов любой мощности.

Однако практически часто оказывается, что системы регулирования напряжения могут обеспечить требуемое распределение нагрузок

генераторов в

том случае, если соотношение мощностей генераторов не превышает 3:1 или 5:1.

Изменение тока возбуждения или скорости вращения генераторов ведет к параллельному смещению характеристик и перераспределению нагрузок. Практически для этого прибегают только к изменению токов возбуждения, сохраняя скорость вращения постоянной.

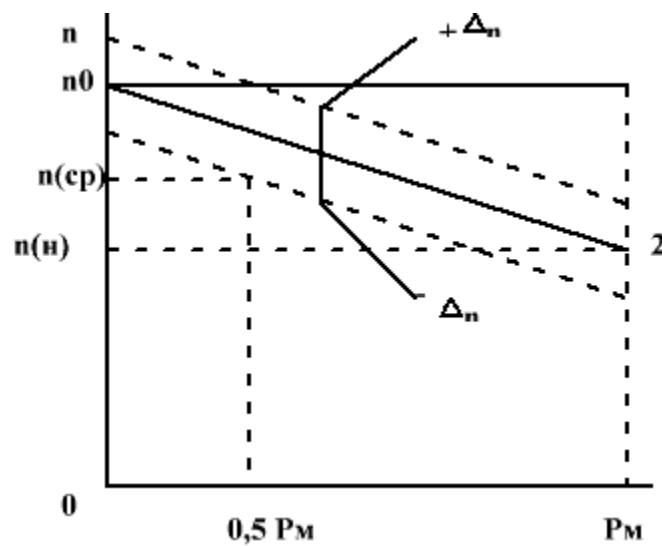


Рис. 3.1. Характеристики регуляторов скорости первичных двигателей генераторов

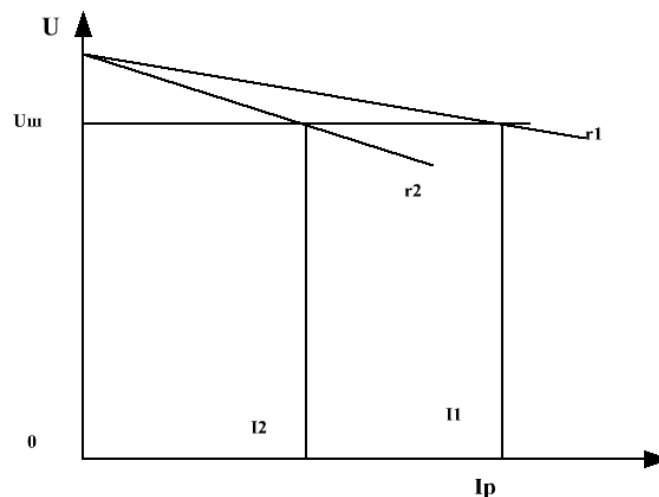


Рис. 3.2. Распределение нагрузки между параллельно работающими синхронными генераторами

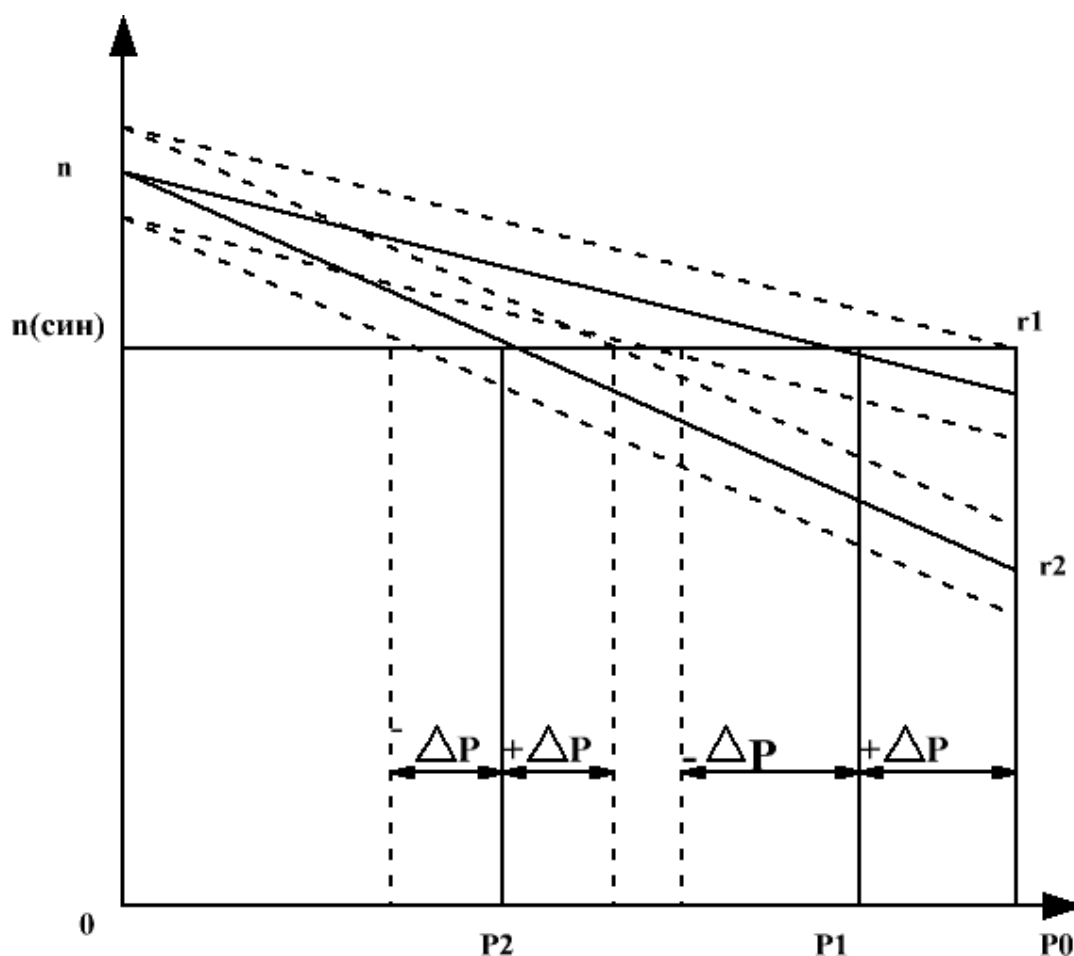


Рис. 3.3. Влияние зоны нечувствительности системы регулирования на распределение нагрузки между генераторами

АЛГОРИТМ ДЕЙСТВИЙ ОПЕРАТОРА ДЛЯ
 РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕАКТИВНОЙ НАГРУЗКИ МЕЖДУ
 ДВУМЯ ПАРАЛЛЕЛЬНО
 РАБОТАЮЩИМИ ГЕНЕРАТОРАМИ.

Понятия «перевод нагрузки» и «распределение нагрузки»

Параллельная работа генераторов используется для выполнения двух видов технологических операций, возникающих в процессе эксплуатации СЭС:

1. перевод нагрузки;
2. распределение нагрузки.

Под *переводом* нагрузки понимают действия персонала, имеющие конечной целью остановку работающего генераторного агрегата с целью последующей профилактики или ремонта.

Для перевода нагрузки с одного генератора на другой подготовленный к работе генератор включают на параллельную работу с работающим, после чего уменьшают нагрузку на работающем генераторе и одновременно увеличивают нагрузку на подключенном.

Процесс перевода нагрузки прекращают в тот момент времени, когда нагрузка на отключаемом генераторе уменьшится до нуля, после чего выключают его АВ и останавливают приводной двигатель.

Под *распределением* нагрузки понимают разделение общей нагрузки судовой электростанции между параллельно работающими генераторами. При этом нагрузку надо распределять прямо пропорционально номинальным мощностям генераторов.

Для распределения нагрузки подготовленный к работе генератор включают на параллельную работу с работающим, после чего уменьшают нагрузку на работающем генераторе и одновременно увеличивают нагрузку на подключенном.

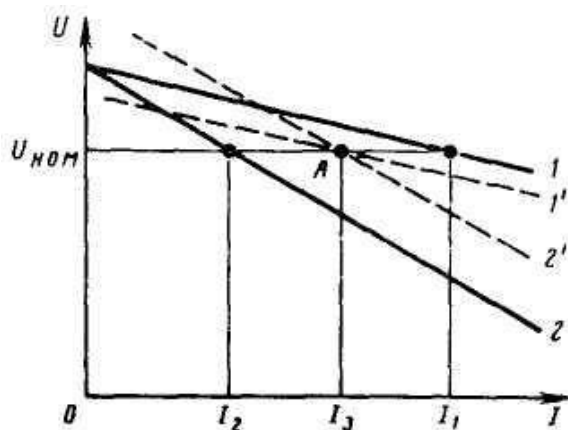
Процесс распределения нагрузки прекращают в тот момент времени, когда нагрузка на каждом генераторе станет одинаковой, если генераторы имеют одинаковые номинальные мощности, либо прямо пропорциональной номинальной мощности каждого генератора.

Распределение реактивной нагрузки при параллельной работе СГ проводится путем изменения тока возбуждения генераторов: у перегруженного генератора ток возбуждения уменьшают, а у недогруженного - увеличивают.

При ручном перераспределении реактивных нагрузок (если нет АРН или он не работает) токи возбуждения изменяют при помощи ручных реостатов (регуляторов) возбуждения, маховички которых выведены на лицевую часть генераторной секции каждого генератора.

При наличии АРН распределение реактивных нагрузок осуществляется автоматически, при помощи компенсаторов реактивной нагрузки.

Равномерность распределения зависит от наклона внешних характеристик СГ, причем меньшему наклону характеристики соответствует больший ток нагрузки, что следует из сравнения внешних



характеристик 1 и 2 (рис.3.4).

Рис. 3.4. Внешние характеристики СГ при распределении реактивных нагрузок

Предположим, что для каждого из генераторов по отдельности были сняты внешние характеристики 1 и 2, которые изображены на рис. 3.4.

После включения генераторов на параллельную работу их угловые скорости должны быть одинаковы и равны, например, номинальной угловой скорости $\omega_{ном}$. Напомним, что если угловые скорости приводных двигателей неодинаковы, то, значит, неодинаковы частоты тока генераторов (например, $f_1 \neq f_2$, $49 \neq 51$ Гц), что недопустимо при параллельной работе.

Как следует из рис. 3.3, одинаковой угловой скорости $\omega_{ном}$ соответствуют разные значения тока генераторов, а именно: для генератора с внешней характеристикой 1 это значение равно I_1 , а для генератора с характеристикой 2 – I_2 (чтобы найти эти значения токов, надо при значении скорости $\omega = \omega_{ном}$ провести вспомогательную

горизонтальную прямую до ее пересечения с характеристиками 1 и 2, а затем эти точки пересечения спроектировать на горизонтальную полуось активных мощностей).

При этом меньшему наклону (меньшему статизму) характеристики соответствует больший ток нагрузки генератора, что следует из сравнения внешних характеристик 1 и 2.

При одинаковом номинальном напряжении $U_{ном}$ ток нагрузки 1-го генератора составляет I_1 , а 2-го - I_2 , причем $I_1 > I_2$.

Для того чтобы распределить реактивные нагрузки и в то же время оставить напряжение СГ неизменным, надо увеличить ток возбуждения генератора с меньшим током нагрузки и одновременно уменьшить у генератора с большим током нагрузки.

При этом внешние характеристики СГ переместятся параллельно самим себе: характеристика 2 вверх, а характеристика 1 вниз. Изменение токов возбуждения надо прекратить в точке А (рис. 3.4), где реактивные нагрузки равны.

Пример.

Какой должна быть нагрузка на каждом из двух параллельно работающих генераторов, если их номинальные мощности $P_{н1} = 320$ кВт и $P_{н2} = 400$ кВт, а нагрузка электростанции $P_{э.с} = 576$ кВт?

Решение

1. коэффициент загрузки судовой электростанции

$$k_{э.с} = \frac{P_{э.с}}{P_{н1} + P_{н2}} = \frac{576}{320 + 400} = 0,8$$

2. нагрузка первого генератора

$$P_1 = k_{э.с} * P_{н1} = 0,8 * 320 = 256 \text{ кВт}$$

3. нагрузка второго генератора

$$P_2 = k_{э.с} * P_{н2} = 0,8 * 400 = 320 \text{ кВт}$$

Проверка.

1. В сумме нагрузки первого и второго генератора должны дать значение, равное нагрузке электростанции, т.е.

$$P_1 + P_2 = P_{э.с.}$$

2. находим сумму нагрузок

$$\text{генераторов } P_1 + P_2 = 256 + 320 =$$

576 кВт

3. поскольку условие п.1 выполнено, нагрузка распределена правильно.

Органы управления, участвующие в распределении реактивной нагрузки.



Рис.3.5.Вольтметр

Вольтметр - измеряет линейное напряжение между фазами генератора. При распределении реактивной нагрузки отслеживается параметр параллельного напряжения. Если в сети присутствует активно-индуктивная нагрузка, то она будет оказывать влияние размагничивающего характера на судовую сеть, напряжение у таких потребителей опережает ток на 90° .



Рис.3.6.Электронный потенциометр напряжения

Электронный потенциометр напряжения- устройство, участвующее в распределении реактивной нагрузки, а так же в изменении напряжения. Воздействуя на электронный потенциометр, мы подаем сигнал на микропроцессор, который подает сигнал в систему возбуждения синхронного генератора, тем самым изменяя величину магнитного потока и величину ЭДС генератора.



Рис.3.7. Амперметр

Амперметр- измерительный орган, участвующий в распределении реактивной нагрузки. Показывает значение тока нагрузки, по которому распределяем нагрузку на каждый генератор.

$$I_{н1} = I_{н2}$$

По указанному алгоритму при помощи выше описанных устройств производим распределение реактивной нагрузки. Рассчитываем полную мощность отдаваемую двумя генераторами, сравниваем ее с показаниями цифровых приборов при помощи пакета M-Vision. Данные забиваем в таблицу1.

| №ДГ | Ток нагрузки | Полная мощность расчетная | Активная мощность расчетная | Активная мощность приборов | Напряжение сети | Реактивная мощность расчетная | Реактивная мощность приборов |
|-----|--------------|---------------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------|-------------------------------|------------------------------|
| ДГ1 | | | | | | | |
| ДГ2 | | | | | | | |

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Указать основные этапы распределения реактивной нагрузки.
2. Виды мощностей.
3. Измерительные приборы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4
Ненормальный режим (перегруз) параллельной работы двух дизель-генераторов на ручном виде управления

ЦЕЛИ РАБОТЫ

1. Подготовка второго дизель-генераторного агрегата к параллельной работе.
2. Включение ДГ2 в параллель при помощи микропроцессорного светодиодного синхроскопа.

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К РАБОТЕ
ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ РАБОТА ГЕНЕРАТОРОВ

Особенности параллельной работы

Под параллельной работой понимают работу двух или более генераторов

Необходимость в параллельной работе может возникнуть в следующих случаях:

- если мощность одного генератора недостаточна для обеспечения заданного эксплуатационного режима работы судна;
- 106
- при проходе узкостей, когда включение резервного генератора повышает живучесть СЭС и безопасность плавания;
- при переводе нагрузки с одного генератора на другой с целью остановки одного из генераторных агрегатов для ТО, ремонта и др.

В настоящее время параллельная работа генераторов является основным режимом работы СЭС.

Основные особенности параллельной работы генераторов:

- обеспечивается бесперебойность в снабжении электроэнергией приемников путем включения резервного генератора взамен вышедшего из строя;
- достигается наиболее полная загрузка генераторов путем своевременного отключения одного или нескольких из них при уменьшении общей нагрузки СЭС;
- увеличиваются токи КЗ, в связи с чем повышаются требования к электродинамической и термической устойчивости коммутационно-защитной аппаратуры;
- усложняется система управления СЭС вследствие применения узлов синхронизации, распределения активных и реактивных нагрузок,
- защиты от перехода СГ в двигательный режим и др.

Морской регистр РФ предъявляет следующие требования к судовым генераторам, предназначенным для параллельной работы:

- отношение номинальных мощностей генераторов не должно превышать 3:1 (в противном случае параллельная работа генераторов будет неустойчивой);
- степень неравномерности активных и реактивных нагрузок генераторов не должна превышать ± 0 % номинальных активной и реактивной мощностей меньшего из параллельно работающих генераторов.
- Пропорциональное распределение активной нагрузки параллельно работающих генераторов обеспечивается применением функционально специализированных устройств распределения мощности (например, типа УРМ в системе "Ижора") или

регуляторами частоты вращения ПД, а реактивной нагрузки – системами самовозбуждения и автоматического

регулирования напряжения совместно с устройствами статизма и уравнительными связями.

Условия синхронизации и последствия их нарушений

Условия синхронизации:

Подготовка СГ к включению на параллельную работу и сам процесс включения называются синхронизацией.

Перед включением СГ на параллельную работу необходимо выполнить следующие условия синхронизации:

- 1) равенство напряжения U сети и ЭДС.г подключаемого генератора, т. е. $|U_c| = |E_g|$;
- 2) равенство частот сети f и подключаемого генератора f_g , т. е. $f = f_g$;

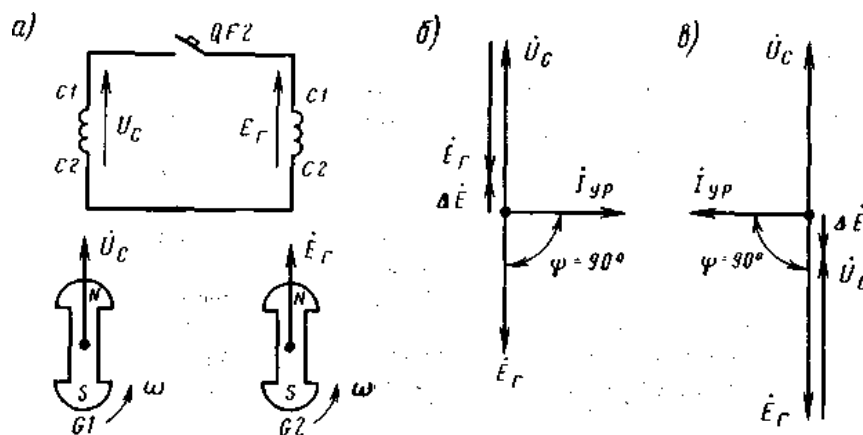


Рис. 4.1. Точная синхронизация:

$a, б$ — схемы замещения СЭС; $в$ — векторные диаграммы напряжений соответственно при

$$|U_c| > |E_m|$$

- 3) совпадение по фазе одноименных векторов фазных напряжений обоих генераторов, или, иначе, равенство нулю угла сдвига по фазе указанных векторов, т. е. $\phi = 0^\circ$;
- 4) одинаковый порядок чередования фаз 3-фазных генераторов, т.е. Ас-Вс-Сс и Аг-Вг-Сг.

Если все условия синхронизации выполнены, то включение генератора на шины ГРЩ будет безударным, а сам генератор после включения останется работать в режиме холостого хода.

Последствия нарушений условий синхронизации. От того, какое именно условие не выполнено, зависят последствия нарушения условий синхронизации. Рассмотрим поочередно нарушение каждого из перечисленных условий. При этом с целью упрощения объяснения будем считать, что СЭС (рис. 1, а) состоит из двух 1-фазных генераторов ДГ1 и ДГ2, причем ДГ1 работает в режиме нагрузки с напряжением U_n , а ДГ2 с ЭДС F не включен на параллельную работу и находится в режиме холостого хода.

АЛГОРИТМ ДЕЙСТВИЙ ОПЕРАТОРА ДЛЯ ВВОДА В ПАРАЛЛЕЛЬ ДЛЯ ДГ 2

При одиночной работе генератора на сеть зачастую появляется в сети импульсная нагрузка, которая может создать ненормальный режим работы СЭС для обеспечения оптимальной работы электростанции исключение аварийного режима морским регистром предъявляется требования – наличие на судне двух и более источников электрической энергии (генераторов).

Для обеспечения достаточного резерва мощности судовой электростанции в судовую сеть параллельно включается ДГ2.

Условия синхронизации и последствия их нарушений

Условия синхронизации:

Подготовка СГ к включению на параллельную работу и сам процесс включения называются синхронизацией.

Перед включением СГ на параллельную работу необходимо выполнить следующие условия синхронизации:

1) равенство напряжения U сети и ЭДС.г подключаемого генератора, т. е. $U = E_g - I_g r_g$;

2) равенство частот сети / и подключаемого генератора / т. е. $f = f_g$;

3) совпадение по фазе одноименных векторов фазных напряжений обоих генераторов, или, иначе, равенство нулю угла сдвига по фазе указанных векторов, т. е. $\phi = 0^\circ$;

4) одинаковый порядок чередования фаз 3-фазных генераторов, т. е. Ас- Вс-Сс и Аг-Вг-Сг .

Если все условия синхронизации выполнены, то включение генератора на шины ГРЩ будет безударным, а сам генератор после включения останется работать в режиме холостого хода.

Последствия нарушений условий синхронизации. От того, какое именно условие не выполнено, зависят последствия нарушения условий синхронизации. Рассмотрим поочередно нарушение каждого из перечисленных условий. При этом с целью упрощения объяснения будем считать, что СЭС (рис. 1, а) состоит из двух 1-фазных генераторов ДГ1 и ДГ2, причем ДГ1 работает в режиме нагрузки с напряжением U_c , а ДГ2 с ЭДС F не включен на параллельную работу и находится в режиме холостого хода.

Включение в параллельную работу двух ДГ осуществляется методом точной синхронизации при помощи микропроцессорного светодиодного синхроскопа.

В нашем случае ДГ2 с

ДГ1. Заданные

параметры на ДГ1:

- Напряжение сети $U_c = 400$ В
- Частота сети $f_c =$

50 Гц Заданные

параметры на ДГ2:

- Напряжение $U_2 = 400$ В
- Частота $f_2 = 50$ Гц



Рис. 4.2. Измерительные приборы системы синхронизации

Чтобы ввести в параллельную работу два ДГ необходимо:

1. Совпадение частот двух ДГ
2. Совпадение напряжения двух ДГ
3. Совпадение по фазам двух ДГ

Совпадение по фазе осуществляется только тогда, когда $\Delta\varphi=0$.

Ввод в параллель ДГ2 осуществляется при помощи секции управления. Для включения синхроскопа:

1. Включаем рубильник синхроскопа в положение №2 (ДГ-шины).



Рис.4.3. Рубильник синхроскопа

2. Включаем синхроскоп, и начнется вращение светодиодной лампочки.



Рис. 4.4. Микропроцессорный светодиодный синхрооскоп

3. Если вращение происходит по часовой стрелке, то это значит, что частота вращения ДГ2 выше сети
4. Если вращение осуществляется против часовой стрелки, то это значит, что частота вращения ДГ2 меньше частоты питающей сети, тогда необходимо увеличить при помощи потенциометра частоты количество оборотов (частоту вращения) ДГ2 и продолжить алгоритм ввода в параллель



Рис. 4.5. Электронные потенциометры вводов регулирования

Светодиодный синхроскоп имеет 36 лампочек, 1 деление соответствует рассогласованию фаз $\Delta\varphi=10^\circ$.

Для того, чтобы ввести в параллель нужно:

1. Чтобы $\Delta\varphi=0$, то есть в момент $\Delta\varphi=0$ включаем автомат синхронизации АВ



Рис. 4.6. Автомат синхронизации АВ

2. При этом должен включиться генераторный автомат ДГ2 – QG2.



Рис. 4.7. Генераторный автомат QG2

3. ДГ введен в параллельную работу с сетью.



Рис. 4.8. Микропроцессорный светодиодный синхроскоп в положении параллельной работы

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Условия ввода в параллель ДГА.
2. Микропроцессорный синхроскоп.
3. Математическое описание механической работы ДГА.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5

Использование реактивных компенсаторов для ввода ДГА в параллель

ЦЕЛИ РАБОТЫ

1. Исследовать влияние реактивных компенсаторов на судовую электроэнергетическую систему на тренажерном комплексе.

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К РАБОТЕ

Реактивный компенсатор – это электротехническое устройство, предназначенное для *автоматического* распределения реактивных нагрузок между параллельно работающими синхронными генераторами.

Распределять реактивную нагрузку между параллельно работающими генераторами можно двумя способами:

1. вручную;
2. автоматически.

В первом случае оператор (электромеханик или вахтенный механик) одновременно поворачивает рукоятки реостатов возбуждения обоих генераторов в разные стороны - у нагружаемого генератора по часовой стрелке, у разгружаемого – против часовой стрелки.

При повороте рукоятки по часовой стрелке сопротивление реостата уменьшается, а ток возбуждения увеличивается, что приводит к увеличению реактивной части тока нагрузки, т.е. этот генератор принимает на себя реактивную нагрузку.

При повороте рукоятки против часовой стрелки происходит обратный процесс.

Сами рукоятки реостатов возбуждения выведены на лицевую часть секции каждого генератора (генераторной секции).

Автоматическое распределение реактивной нагрузки, как сказано

выше, выполняет сам реактивный компенсатор.

Однако, вне зависимости от того, вручную или автоматически переводится нагрузка, для ее перевода надо увеличить или уменьшить ток возбуждения генератора.

Изменение тока возбуждения приводит к перемещению внешних характеристик генераторов параллельно самим себе – при увеличении тока возбуждения характеристика перемещается вверх, при уменьшении тока возбуждения – вниз.

Основной причиной неравномерного распределения реактивных нагрузок является разный наклон (статизм) внешних характеристик параллельно работающих генераторов, даже если они одного типа.

Напомним, что наклон внешней характеристики, или статизм(%), определяется изменением напряжения при переходе от режима холостого хода к номинальному:

$$\Delta U = [(U_{x.x} - U_{ном}) / U_{ном}] * 100$$

где $U_{x.x}$ и $U_{ном}$ - напряжения соответственно холостого хода и номинального.

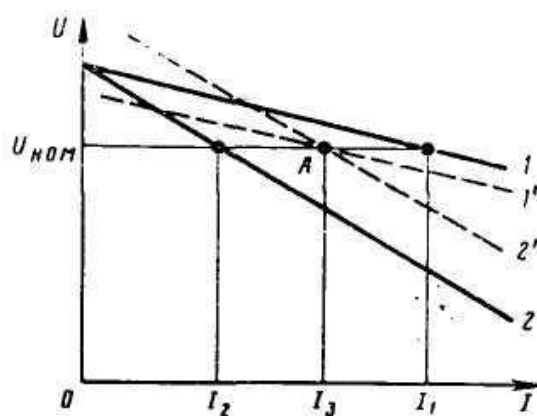


Рис. 5.1. Внешние характеристики СГ с разным статизмом

При этом меньшему статизму (наклону) характеристики соответствует больший ток нагрузки $I_1 > I_2$, что следует из сравнения внешних характеристик 1 и 2 (рис. 5.1).

Таким образом, при одинаковом напряжении U на шинах ГЭРЩ генераторы нагружены по-разному – 1-й перегружен, а 2-й недогружен.

Регулирование реактивных нагрузок может осуществляться двумя способами:

1. вручную;
2. автоматически.

Для ручного распределения реактивных нагрузок надо увеличить ток возбуждения генератора с меньшим током нагрузки и одновременно уменьшить у генератора с большим током нагрузки. При этом внешние характеристики СГ переместятся параллельно самим себе: характеристика 2 вверх, до положения характеристики 2', а характеристика 1 вниз, до положения характеристики 1'. Изменение токов возбуждения надо прекратить в точке А, в которой реактивные нагрузки обоих генераторов равны.

Автоматическое регулирование реактивных нагрузок обеспечивают специальные устройства - реактивные компенсаторы (компенсаторы реактивной мощности).

Процесс перемещения внешних характеристик 1 и 2 в положение 1', 2' одинаков

Как при ручном, так и автоматическом регулировании. Разница состоит лишь в том, что характеристики перемещаются при ручном регулировании характеристики за счет изменения токов возбуждения генераторов *вручную*, а при автоматическом – путем *автоматического* изменения токов возбуждения генераторов.

АЛГОРИТМ И УСЛОВИЯ ВВОДА РЕКТИВНОГО КОМПЕНСАТОРА

Реактивные компенсаторы включают только на время параллельной работы СГ, а при одиночной отключают.

Для этого служит переключатель режимов работы генератора, имеющий два положения:

1. одиночная работа генератора;
2. параллельная работа генератора.

Переключатель установлен на каждой генераторной секции ГЭРЦ. Конструктивно реактивный компенсатор представляет собой часть (блок)

автоматического регулятора напряжения синхронного генератора.

Различают два вида реактивных компенсаторов:

1. статический;
2. астатический.

Схемы реактивных компенсаторов показана на рис. 5.2, а и 5.2, в.

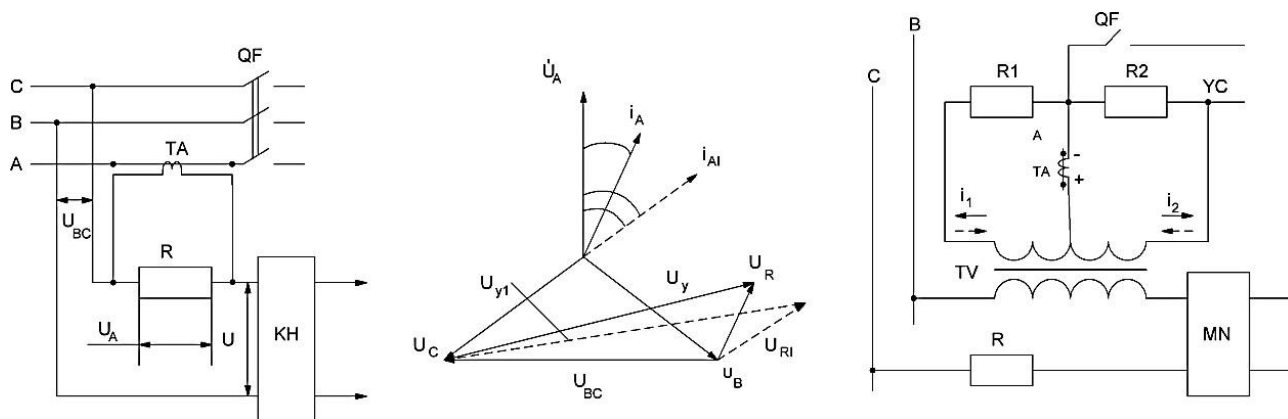


Рис. 5.2. Реактивные компенсаторы: а, б) схема статического компенсатора и его векторная диаграмма; в - схема астатического компенсатора

Реактивный статический компенсатор (рис.5.2, а) состоит из трансформатора тока ТА в фазе А и компаундирующего резистора R. Падение напряжения \bar{U}_r на этом резисторе прямо пропорционально току I_a фазы А и совпадает с этим током по фазе. Это напряжение суммируется с линейным напряжением \bar{U}_{bc} , после чего суммарное напряжение управления $\bar{U}_y = \bar{U}_{ca} +$

$\bar{U}_{вс}$ поступает на вход корректора напряжения КН (векторная диаграмма на рис. 5.2, б). С выхода КН выпрямленное напряжение поступает в схему ТФК.

Допустим, индуктивная составляющая тока нагрузки СГ увеличилась, вектор тока фазы А повернулся на угол $\varphi_1 > \varphi$ и занимает положение, обозначенное на рис. 5.2, б вектором I_{a1} . При этом на такой же угол повернется вектор напряжения \bar{U}_{r1} , вследствие чего длина вектора напряжения управления увеличится до значения $\bar{U}_{y1} > \bar{U}_y$.

С помощью КН ток возбуждения генератора будет уменьшен, в то же время в компенсаторе второго параллельно работающего генератора происходит обратный процесс, т.е. его ток возбуждения увеличивается. Этот процесс закончится тогда, когда реактивные токи обоих генераторов станут одинаковыми.

Описанное выше устойчивое распределение реактивных нагрузок возможно при статизме характеристик в 3...4%.

При меньшем статизме устойчивость распределения нагрузок нарушается, тогда применяют уравнивательные соединения между обмотками возбуждения СГ, компенсирующие неравенство токов возбуждения (см. ниже)

При перераспределении реактивных нагрузок одновременно изменяется напряжение, ухудшается процесс стабилизации, причем чем больше статизм характеристик, тем в большей степени изменяется напряжение.

Для устранения этих недостатков применяют астатические компенсаторы с комбинированным управлением (рис. 5.2, в). В схемах таких компенсаторов резисторы $R2$ соединены уравнивательным соединением $УС$.

В режиме одиночной работы СГ вспомогательный контакт QF автоматического выключателя разомкнут, поэтому уравнивательное соединение отключено.

На вторичной обмотке трансформатора TA возникает ЭДС, значение которой пропорционально току нагрузки фазы А. Под действием

ЭДС возникают токи $i_1 = i_2$, которые по полуобмоткам трансформатора TV текут встречно, не наводя ЭДС во вторичной обмотке трансформатора.

При параллельной работе СГ контакт QF замкнут. Если нагрузки генераторов одинаковы, то в контурах их компенсаторов протекают одинаковые токи i_2 , на резисторах $R2$ создаются одинаковые падения напряжения Ur_2 , и через уравнительную связь UC ток протекать не будет.

При перегрузке 1-го СГ в контуре его компенсатора значения токов i_1 и i_2 будут больше, чем в контуре компенсатора 2-го СГ. Теперь на резисторе $R2$ схемы компенсатора 1-го СГ падение напряжения окажется больше, чем на резисторе $R2$ компенсатора 2-го СГ. Через UC между резисторами $R2$ компенсаторов потечет уравнивающий ток, который на этих резисторах создает дополнительное падение напряжения ΔUr_2 .

В схеме компенсатора 1-го СГ напряжение ΔUr_2 будет действовать согласно ЭДС трансформатора TA , что приведет к увеличению тока i_2 . В это же время в компенсаторе 2-го СГ напряжение ΔUr_2 будет действовать

встречно ЭДС трансформатора TA и ток i_2 уменьшится. Во вторичных обмотках трансформатора TV возникнут ЭДС противоположной фазы и корректоры напряжения генераторов выработают противоположные управляющие сигналы: в СВАРН 1-го СГ ток возбуждения будет уменьшен (уменьшение реактивной нагрузки), а в СВАРН 2-го СГ увеличен (увеличение реактивной нагрузки).

Если реактивный компенсатор в составе АРН отсутствует, пропорциональное распределение реактивных нагрузок обеспечивают при помощи т.н. уравнивающих связей.

Включение в параллельную работу двух ДГ осуществляется методом точной синхронизации при помощи микропроцессорного светодиодного синхроскопа.

В нашем случае ДГ2 с

ДГ1. Заданные

параметры на ДГ1:

- Напряжение сети $U_c = 400 \text{ В}$

- Частота сети $f_c = 50$ Гц
- Заданные параметры на ДГ2:
 - Напряжение $U_2 = 400$ В
 - Частота $f_2 = 50$ Гц



Рис. 5.3. Измерительные приборы системы синхронизации

Чтобы ввести в параллельную работу два ДГ необходимо:

- 1) Совпадение частот двух ДГ
- 2) Совпадение напряжения двух ДГ
- 3) Совпадение по фазам двух ДГ

Совпадение по фазе осуществляется только тогда, когда $\Delta\varphi = 0$.

Ввод в параллель ДГ2 осуществляется при помощи секции управления.

Для включения синхроскопа:

1. Включаем рубильник синхроскопа в положение №3 (ВГ-шины).



Рис.5.4. Рубильник синхроскопа

2. Включаем синхроскоп, и начнется вращение светодиодной лампочки.



Рис. 5.5. Микропроцессорный светодиодный синхроскоп

3. Если вращение происходит по часовой стрелке, то это значит, что частота вращения ДГ2 выше сети.
4. Если вращение осуществляется против часовой стрелки, то это значит, что частота вращения ДГ2 меньше частоты питающей сети, тогда необходимо увеличить при помощи потенциометра частоты количество оборотов (частоту вращения) ДГ2 и продолжить алгоритм ввода в параллель.



Рис. 5.6. Электронные потенциометры вводов регулирования

Светодиодный синхроскоп имеет 36 лампочек, 1 деление соответствует рассогласованию фаз $\Delta\varphi=10^0$.

5. При включении индуктивной нагрузки в сети появится ЭДС самоиндукции.(формула) исходя из формулы сеть размагнитится и произойдет провал напряжения сети. Для повышения напряжения к номинальным параметрам необходимо при помощи потенциометра напряжения увеличить ток возбуждения генератора, работающего на сеть. Но зачастую при подключении индуктивной нагрузки соизмеримой с мощностью одного генератора система РН не позволит вывести генератор к номинальным параметрам напряжения. Решением данной проблемы будет подключение в параллель второго ДГА, но для ввода в параллель необходимо чтобы значение напряжения было равным 400 В. В данной ситуации невозможно ввести в параллель ДГ2, так как защита не позволит этого сделать, поэтому для подмагничивания системы необходимо ввести в работу реактивный компенсатор (емкостную нагрузку).

В результате этого генератор выйдет на номинальные параметры напряжения на определенный промежуток времени, которого

будет достаточно чтобы ввести в параллель второй ДГ.



Рис. 5.7. Тумблеры подключения различных типов нагрузки



Рис. 5.8. Органы измерения

Для того, чтобы ввести в параллель нужно:

1. Чтобы $\Delta\varphi=0$, то есть в момент $\Delta\varphi=0$ включаем автомат синхронизации АВ



Рис. 5.9. Автомат синхронизации АВ

2. При этом должен включиться генераторный автомат ВГ – QSG.



Рис. 5.10. Генераторный автомат QSG

3. ДГ введен в параллельную работу с сетью.



Рис. 5.11. Микропроцессорный светодиодный синхроскоп в положении параллельной работы

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Условия ввода в параллель ДГА.
2. Микропроцессорный синхроскоп.
3. Виды реактивных компенсаторов.
4. На сколько опережает ток напряжение компенсатора?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6

Определение и расчет полной и реактивной мощности при одионочной работе генератора на сеть.

ЦЕЛИ РАБОТЫ

Расчет мощности при одионочной работе генератора на сеть для математического подтверждения и определения погрешностей;

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К РАБОТЕ

Под переменным током обычно подразумевают такой ток в установившемся режиме, величина и направление которого изменяются по периодическому закону. Значения тока повторяются через равные промежутки времени, называемые периодом T . В течение одного полупериода ток имеет одно направление, в течение следующего - обратное.

Всякая цепь переменного тока характеризуется следующими основными параметрами: активным сопротивлением R ; индуктивным сопротивлением X_L ; емкостным сопротивлением X_C .

Индуктивное сопротивление

$$X_L = \omega L$$

где ω - угловая скорость (вектора), рад/с, $\omega = 2\pi f$ (f - частота, равная 50 Гц); L - коэффициент самоиндукции (индуктивность).

Емкостное сопротивление

$$X_C = 1/(\omega C) =$$

$1/(2\pi f C)$, где C -

емкость, Ф.

Активные сопротивления существуют в лампах накаливания, электрических цепях, резисторах, нагревательных приборах, реостатах и т.п. При переменном токе возникает переменное магнитное поле, которое непрерывно индуцирует ЭДС самоиндукции. ЭДС самоиндукции

направлена навстречу приложенному напряжению и уменьшает действующее значение переменного тока. Ее влияние на ток электрической цепи учитывается так

называемым индуктивным сопротивлением X_L . Катушки (без стального сердечника и с ним), обмотки электрических машин и трансформаторов являются значительными индуктивными сопротивлениями. При переменном токе на режим работы цепи оказывает влияние также емкость. Влияние емкости учитывается емкостным сопротивлением X_C . Все виды электрических конденсаторов представляют емкостные сопротивления. Параллельно расположенные провода, разделенные диэлектриком, надо рассматривать как конденсаторы (ёмкость).

Если максимальные и нулевые значения токов и напряжений не совпадают во времени, то говорят, что они сдвинуты по фазе. В цепях переменного тока с одним лишь резистором ток совпадает по фазе (или во времени) с приложенным к цепи напряжением. В цепях переменного тока с

идеальной индуктивностью (при $R=0$ и $C=0$):

- ток отстает по фазе от приложенного напряжения на угол $\pi/2$ или на четверть периода во времени;

- в течение первой и третьей четвертей периода при возрастании тока от нуля до максимума генератор посылает энергию в цепь (мощность положительна), где она накапливается в индуктивности как энергия магнитного поля; при этом ЭДС самоиндукции направлена против тока;

- при убывании тока в течение второй и четвертой четвертей периода накопленная в индуктивности энергия магнитного поля возвращается генератору, при этом ЭДС самоиндукции совпадает по направлению с током.

Так происходит колебательный процесс с непрерывным обменом энергией между источником питания и индуктивностью цепи. ЭДС самоиндукции играет роль как бы промежуточного механизма в этом обмене. Поскольку $R=0$, полная энергия источника за период равна нулю;

В цепях переменного тока с чистой емкостью ($R=0$ и $L=0$):

- ток опережает по фазе приложенное напряжение на угол $\pi/2$ или на четверть периода во времени;

- в течение первой и третьей четвертей периода при возрастании напряжения от нуля до максимума генератор посылает энергию в цепь (мощность положительная), где она накапливается в конденсаторе в виде энергии электрического поля;

- при убывании напряжения в течение второй и четвертой четвертей периода накопленная в конденсаторе энергия электрического поля возвращается к генератору, при этом ЭДС емкости совпадает по направлению с током.

Таким образом, в цепи с емкостью, так же как и в цепи с индуктивностью, происходит непрерывный обмен энергией между источником питания и емкостью (конденсатором). Поскольку $R=0$, полная энергия источника питания за период равна нулю.

При последовательном соединении активного, индуктивного, емкостного сопротивлений (рис. 6.1) полное сопротивление цепи может быть определено по следующей формуле:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}.$$

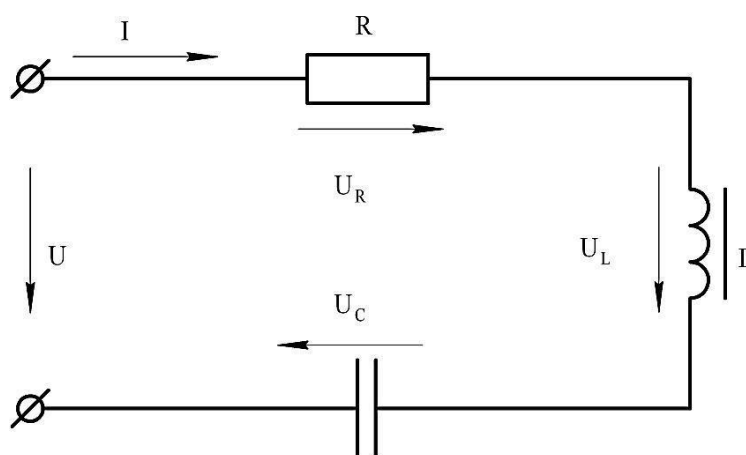


Рис.6.1. Электрическая цепь с последовательным соединением резистора, идеальной индуктивной катушки и конденсатора

Тогда действующее значение тока в цепи с последовательным соединением сопротивлений определится по закону Ома из формулы $I = \frac{U}{Z}$.

Если в цепях постоянного тока напряжение на зажимах равнялось алгебраической сумме напряжений на отдельных участках цепи, то в цепях переменного тока действующее значение напряжения на зажимах будет равно геометрической (комплексной) сумме действующих значений напряжений на отдельных участках цепи, т.е. $\bar{U} = \bar{U}_L + \bar{U}_C + \bar{U}_R$.

Это указывает на то, что протекающий во всех участках цепи один и тот же ток I на участке $-R$ совпадает по фазе с напряжением U_R , на участке

$-X_L$ - отстает от напряжения U_L , и на участке $-X_C$ опережает напряжение U_C (здесь $\bar{U}_R = IR$; $U_L = IX_L$; $U_C = IX_C$) по фазе на угол $\pi/2$.

Векторная диаграмма тока и напряжений на участках цепи может быть представлена следующим образом (рис. 6.2).

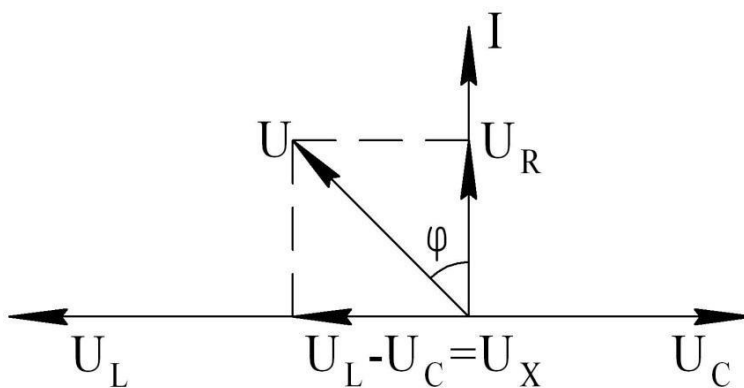


Рис. 6.2. Треугольник напряжений

При $X_L = X_C$ или $\omega L = 1/(\omega C)$ ток в цепи достигает наибольшего значения $I = U / \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = U / Z = U / R$, а полное сопротивление уменьшается до активного R .

Тогда напряжение на индуктивности $\bar{U}_L = \bar{I}X_L$ будет равно и противоположно напряжению на емкости $\bar{U}_C = \bar{I}X_C$. Приложенное к зажимам

цепи напряжение U будет уравнивать лишь одно активное падение

напряжения и, следовательно, совпадать по фазе с током. Это явление носит название *резонанса напряжений*.

Напряжения на участках цепи U_L и U_C могут быть при резонансе значительно больше напряжения, приложенного к зажимам цепи.

Легко

$$\text{доказать, что } U_L = IX_L$$

$$= (U/R) X_L = (X_L/R)U,$$

$$U_C = IX_C = (U/R)X_C =$$

$$(X_C/R)U,$$

т.е. напряжения на зажимах индуктивности и на обкладках конденсаторов при резонансе напряжений во столько раз больше приложенного к цепи напряжения, во сколько раз сопротивления $X_L=X_C$ больше активного сопротивления R . Вследствие повышенных напряжений на отдельных участках цепи могут быть повреждены приборы, находящиеся на этих участках, а также пробита изоляция проводов или диэлектрика конденсатора. Однако работа электрической цепи в режиме резонанса напряжений находит широкое применение в радиотехнике, электронике, автоматике и других слаботочных цепях. Такую цепь часто называют *последовательным (колебательным) контуром*.

Отношение напряжения на индуктивности или на емкости к напряжению, приложенному к цепи, при резонансе, или емкости больше, чем приложенное к цепи напряжение.

При резонансе напряжений энергия электрического и магнитного полей будет переходить одна в другую таким образом, что обмен реактивной энергией между L и C будет происходить помимо внешнего источника, доставляющего в цепь в этом случае только активную энергию.

Разделив стороны треугольника UOU_R (см.рис. 6.2) на I , получим треугольник сопротивлений (рис. 6.3).

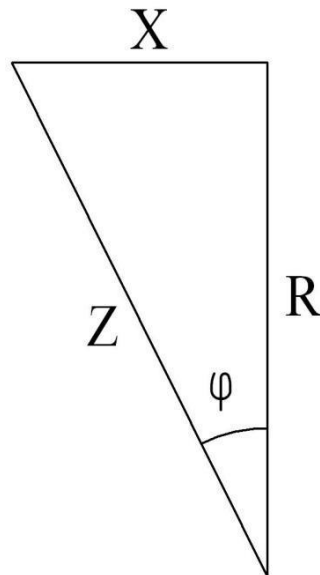


Рис. 6.3. Треугольник сопротивлений

Сдвиг фаз φ между током в цепи и напряжением на ее зажимах может быть определен из формулы:

$$\cos \varphi = R/Z = U_R/U; \text{ или } \operatorname{tg} \varphi = X/R = (U_L - U_C)/U_R = U_X/U_R.$$

Мощность, потребляемая цепью, которая содержит сопротивление R , индуктивность L и емкость C , расходуется на нагрев резистора, создание магнитного поля в индуктивности и создание электрического поля в емкости (конденсаторе).

При возрастании энергии магнитного поля убывает энергия электрического поля. Энергия, преобразуемая в тепло или механическую работу, называется *активной*.

Энергия, запасенная в магнитном и электрическом поле и затем отдаваемая обратно генератору, называется *реактивной*.

Активная мощность, Вт, переменного тока выражается формулой:
 $P = UI \cos \varphi$; реактивная мощность, вар, - формулой: $Q = UI \sin \varphi$.

Полная (кажущаяся) мощность, ВА: $S = UI$.

Если каждую сторону треугольника UOU_R (см. рис. 6.2) умножить на I , то можно получить треугольник мощностей (рис. 6.4).

$$U_R I = UI \cos \varphi = P;$$

$$U_x I = UI \sin \varphi = Q;$$

$$UI = S = \sqrt{P^2 + Q^2}.$$

Из треугольника следует, что $\cos \varphi = P/S$ и $\sin \varphi = Q/S$.

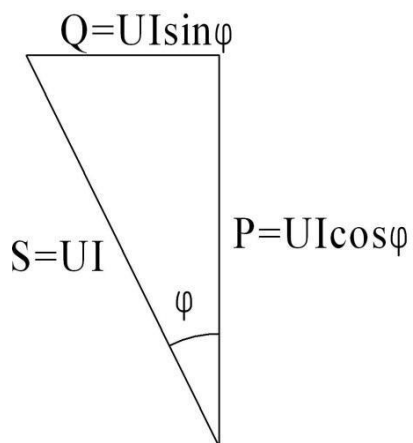


Рис. 6.4. Треугольник мощностей

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2};$$

$$S = P + Q \cdot j;$$

$$\cos \varphi = \frac{P}{S};$$

$$S = \frac{P}{\cos \varphi};$$

Таблица 1

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| P, кВт | | | | | | | | | | |
| cos φ | | | | | | | | | | |



Рис. 6.5. Цифровой измерительный орган

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

Пример расчета по значениям ДГ 1 САЭЭС DEIF:

1. Исходные параметры:

$$P_{\text{факт}} = 79 \text{ кВт};$$

$$\cos \varphi = 0.81;$$

$$Q_{\text{факт}} = 63 \text{ кВар};$$

$$S_{\text{факт}} = 101 \text{ В} \cdot \text{А}$$

2. Расчет полной мощности:

$$S = \frac{P}{\cos \varphi} \Rightarrow S = \frac{79}{0.81} = 97.53 \text{ В} \cdot \text{А}$$

3. Расчет реактивной мощности:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \Rightarrow Q = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{97.5^2 - 79^2} = 57.14 \text{ кВар}$$

$$4. \Delta Q = \frac{Q_{\text{факт}} - Q_{\text{расч}}}{Q_{\text{факт}}} \cdot 100\% = \frac{63 - 57.14}{63} \cdot 100\% = 9.3\%$$

$$\Delta S = \frac{S_{\text{факт}} - S_{\text{расч}}}{S_{\text{факт}}} \cdot 100\% = \frac{101 - 97.53}{101} \cdot 100\% = 3.43\%$$

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что подразумевают под переменным током. Какими параметрами характеризуется цепь переменного тока.
2. Причины возникновения ЭДС самоиндукции и её влияние на ток в электрической цепи.
3. Какие процессы происходят в электрических цепях с идеальной индуктивностью (ёмкостью).
4. Объясните, что является активной энергией, а что является реактивной.
5. Как рассчитывается полная, реактивная и активная мощность.

Что необходимо сделать, чтобы получить треугольник мощностей.

6. Чему равно действующее значение напряжения на зажимах электрической цепи переменного тока.
7. В чём заключается явление резонанса напряжений. Условие его возникновения. Коэффициент резонанса.
8. На что расходуется мощность, потребляемая цепью, содержащей резистор, катушку индуктивности и конденсатор.

Виды мощности.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7

Расчет мощности двух параллельно работающих генераторов.

ЦЕЛИ РАБОТЫ

Расчет мощности параллельно работающих генераторов для математического подтверждения и определения равномерного распределения нагрузки;

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К РАБОТЕ

Основные сведения

Если включить СГ на параллельную работу с соблюдением перечисленных выше условий, он останется работать в режиме холостого хода.

Поэтому вслед за включением генератора на шины его надо нагрузить, при этом распределяя нагрузку между включенными СГ пропорционально их номинальным активным мощностям.

Распределение активной нагрузки осуществляют путем изменения подачи топлива (пара), т. е. по регуляторным характеристикам ПД. Равномерность распределения зависит от наклона (статизма) характеристик (рис. 7.1).

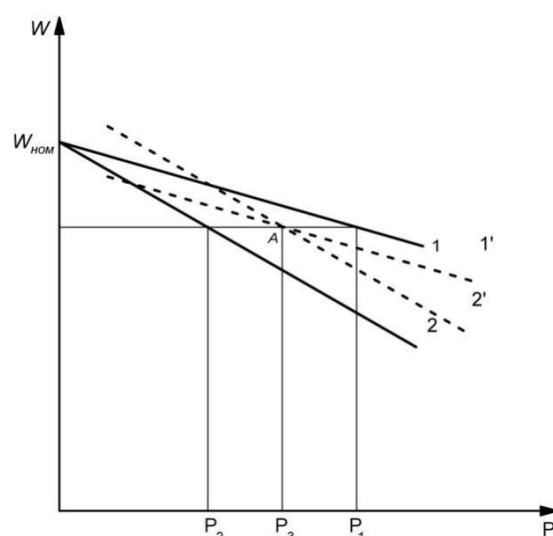


Рис. 7.1. Регуляторные характеристики приводных двигателей СГ при распределении

активных нагрузок

Предположим, что для каждого из двух приводных двигателей по отдельности были сняты регуляторные характеристики 1 и 2, которые изображены на рис. 7.1.

После включения генераторов на параллельную работу их угловые скорости должны быть одинаковы и равны, например, номинальной угловой скорости $\omega_{\text{ном}}$. Напомним, что если угловые скорости приводных двигателей неодинаковы, то, значит, неодинаковы частоты тока генераторов (например, $f_1 \neq f_2$, $49 \neq 51$ Гц), что недопустимо при параллельной работе.

Как следует из рис. 7.1, одинаковой угловой скорости $\omega_{\text{ном}}$ соответствуют разные значения активной мощности генераторов, а именно: для генератора со статической характеристикой 1 это значение равно P_1 , а для генератора с характеристикой 2 – P_2 (чтобы найти эти значения мощности, надо при

значении скорости $\omega = \omega_{\text{ном}}$ провести вспомогательную горизонтальную прямую до ее пересечения с характеристиками 1 и 2, а затем эти точки пересечения спроектировать на горизонтальную полуось активных мощностей). При этом меньшему наклону (меньшему статизму) характеристики соответствует большая активная нагрузка генератора, что следует из сравнения

регуляторных характеристик 1 и 2.

Таким образом, при одинаковой (номинальной) частоте вращения $\omega_{\text{ном}}$ активная нагрузка 1-го генератора составляет P_1 , а второго – P_2 , причем $P_1 > P_2$.

Для того чтобы распределить активные нагрузки и в то же время оставить частоту генераторов неизменной, надо увеличить подачу топлива (пара) на ГА, имеющий меньшую нагрузку, и одновременно уменьшить подачу топлива (пара) на ГА большей нагрузкой.

При этом регуляторные характеристики переместятся параллельно самим себе: характеристика 2 второго ГА вверх, а характеристика 1 первого ГА вниз.

Изменение подачи топлива (пара) следует прекратить в момент, когда характеристики пересекутся в точке *A*. Каждый генератор будет нагружен

$$\text{одинаковой мощностью: } P_3 = (P_1 + P_2) / 2.$$

Системы распределения активной нагрузки с повышенной точностью регулирования скорости

Недостатком рассмотренной выше системы автоматического распределения активной нагрузки (рис. 7.2) является изменение частоты вращения СГ при изменении нагрузки.

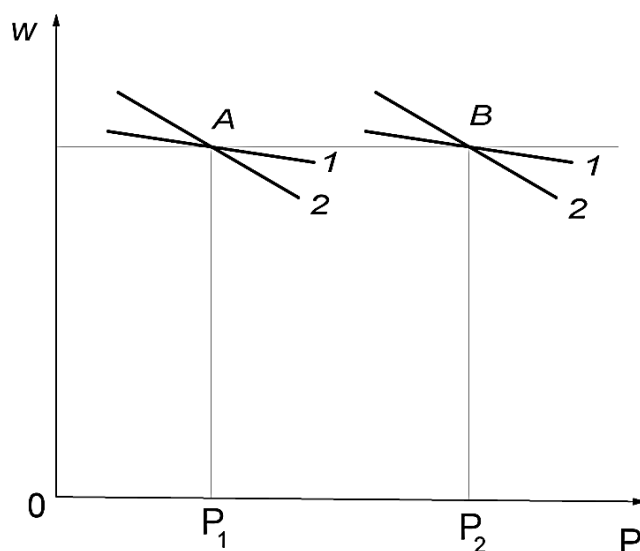


Рис. 7.2. Регуляторные характеристики приводных двигателей при распределении активных нагрузок СГ с сохранением частоты

Если требуется повышенная стабильность частоты, серводвигатель *MI* приводного двигателя *ПДГ* генератора *G1* включается через усилитель *A1* на датчик частоты *B* (рис. 7.2, а).

Пусть в исходном состоянии общая нагрузка СЭС составляет $2P_1$, регуляторные характеристики *1* и *2* пересекаются в общей точке *A*.

При номинальной угловой скорости $\omega_{ном}$ каждый генератор нагружен мощностью P_1 .

Увеличение нагрузки СЭС до значения $2P_2$ сопровождается снижением угловой скорости и возникновением токов в усилителях $A1$ и $A2$ (см. рис. 7.2, а). Включение серводвигателей $M1$ и $M2$ приведет к параллельному смещению регуляторных характеристик и восстановлению частоты. Работа серводвигателей прекратится в момент времени, когда характеристики пересекутся в точке B (рис. 7.2).

Подобное пропорциональное распределение активной мощности с сохранением частоты ранее выполняли устройства типа УРЧН (устройства автоматического регулирования частоты и распределения активной нагрузки), которые применялись совместно с датчиком частоты.

В связи с внедрением новых типов 2-импульсных регуляторов частоты вращения ПД задача поддержания частоты исключена из функций автоматизированных устройств СЭС.

В настоящее время распределение активных нагрузок выполняют устройство распределения мощности типа УРМ в системе "Ижора" (включено постоянно, пока работает генератор) и блок распределения нагрузок генератора типа БРНГ в системе "Ижора-М".

Распределение реактивной нагрузки

Основные сведения

Распределение реактивной нагрузки при параллельной работе СГ проводится путем изменения тока возбуждения генераторов: у перегруженного генератора ток возбуждения уменьшают, а у недогруженного - увеличивают.

При ручном перераспределении реактивных нагрузок (если нет АРН или он не работает) токи возбуждения изменяют при помощи ручных реостатов (регуляторов) возбуждения, маховики, которых

выведены на лицевую часть генераторной секции каждого генератора.

При наличии АРН распределение реактивных нагрузок осуществляется автоматически, при помощи компенсаторов реактивной нагрузки.

Равномерность распределения зависит от наклона внешних характеристик СГ, при чем меньшему наклону характеристики соответствует больший ток нагрузки, что следует из сравнения внешних характеристик 1 и 2 (рис. 7.3).

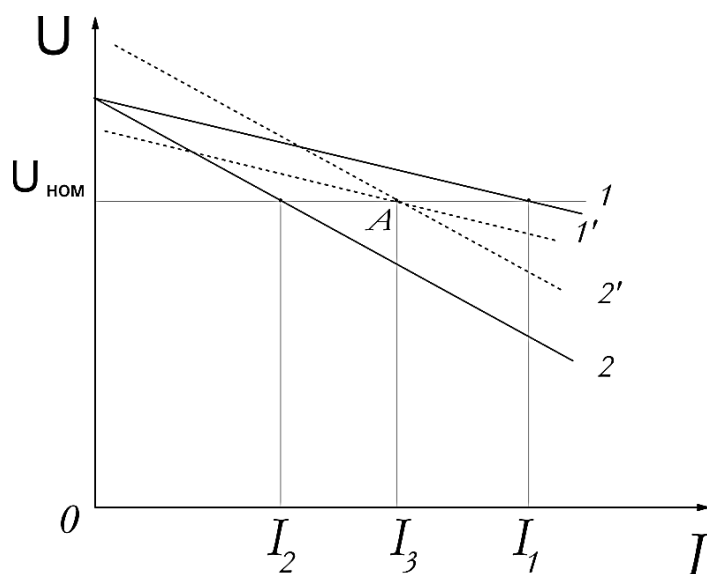


Рис. 7.3. Внешние характеристики СГ при распределении реактивных нагрузок

Предположим, что для каждого из генераторов по отдельности были сняты внешние характеристики 1 и 2, которые изображены на рис. 7.3.

После включения генераторов на параллельную работу их угловые скорости должны быть одинаковы и равны, например, номинальной угловой скорости $\omega_{ном}$. Напомним, что если угловые скорости приводных двигателей неодинаковы, то, значит, неодинаковы частоты тока генераторов (например, $f_1 \neq f_2$, $49 \neq 51$ Гц), что недопустимо при параллельной работе.

Как следует из рис. 7.3, одинаковой угловой скорости

$\omega_{\text{ном}}$ соответствуют разные значения тока генераторов, а именно: для генератора с внешней характеристикой 1 это значение равно I_1 , а для генератора с характеристикой 2 – I_2 (чтобы найти эти значения токов, надо при значении скорости $\omega = \omega_{\text{ном}}$ провести вспомогательную горизонтальную прямую до ее пересечения с

характеристиками 1 и 2, а затем эти точки пересечения спроектировать на горизонтальную полуось активных мощностей).

При этом меньшему наклону (меньшему статизму) характеристики соответствует больший ток нагрузки генератора, что следует из сравнения внешних характеристик 1 и 2.

При одинаковом номинальном напряжении $U_{ном}$ ток нагрузки 1-го генератора составляет I_1 , а 2-го - I_2 , причем $I_1 > I_2$.

Для того чтобы распределить реактивные нагрузки и в то же время оставить напряжение СГ неизменным, надо увеличить ток возбуждения генератора с меньшим током нагрузки и одновременно уменьшить у генератора с большим током нагрузки.

При этом внешние характеристики СГ переместятся параллельно самим себе: характеристика 2 вверх, а характеристика 1 вниз. Изменение токов возбуждения надо прекратить в точке А (рис. 7.3), где реактивные нагрузки равны.

Автоматическое распределение реактивной нагрузки СГ

При параллельной работе СГ автоматическое распределение реактивной нагрузки обеспечивают реактивные компенсаторы.

В отсутствие реактивных компенсаторов реактивную нагрузку распределяют при помощи т.н. уравнительных связей (рис. 7.4).

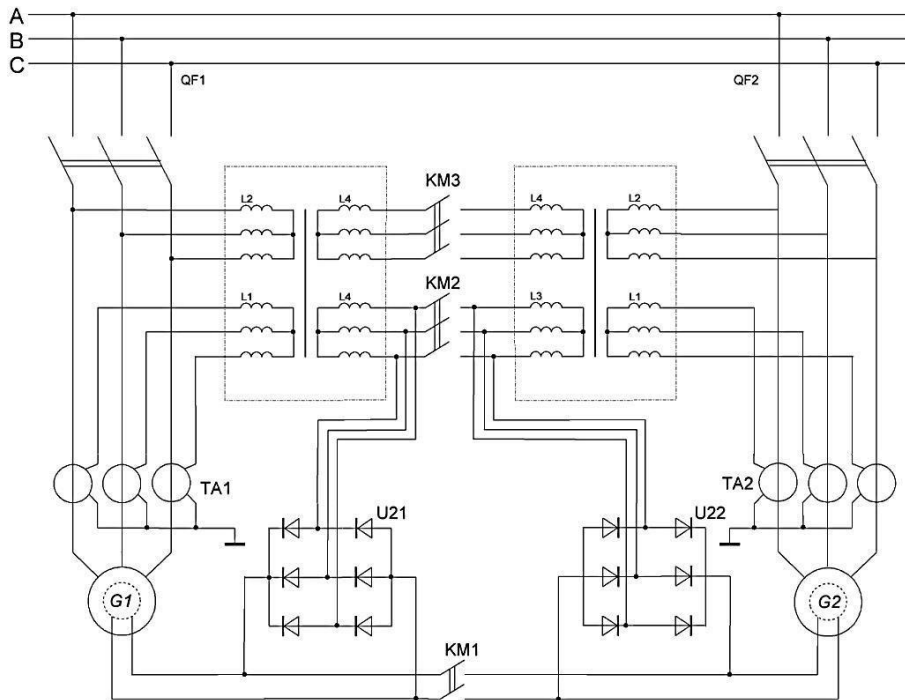


Рис. 7.4. Принципиальная схема различных способов подключения уравнивательных связей между параллельно работающими СГ

Для однопольных генераторов с одинаковым номинальным напряжением возбуждения уравнивательную связь устанавливают между обмотками возбуждения, т. е. на стороне постоянного тока. При замыкании контактов *KM1* обмотки возбуждения соединяются параллельно, поэтому любое изменение напряжения на одной из них автоматически приводит к такому же изменению напряжения на другой.

Уравнивательные соединения применяют также на стороне переменного тока. Для СГ одинаковой мощности могут быть установлены уравнивательные соединения между выходными обмотками *L3* компаундирующих трансформаторов. При замыкании контактов *KM2* эти обмотки соединяются параллельно, поэтому изменение напряжения на одной из них вызовет такое же изменение напряжения на другой.

Для СГ разной мощности, имеющих разные напряжения возбуждения, применяют дополнительные обмотки $L4$ с одинаковыми выходными напряжениями. Если реактивные нагрузки СГ одинаковы, то в уравнильных проводах, соединяющих эти обмотки, токи не протекают. При изменении реактивной нагрузки одного из генераторов возникающие между обмотками $L4$ уравнильные токи будут подмагничивать магнитопровод одного из компаундирующих трансформаторов и размагничивать магнитопровод другого, что приведет к выравниванию реактивных нагрузок генераторов.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

1. Какой должна быть нагрузка на каждом из двух параллельно работающих генераторов, если их номинальные мощности $P_{н1} = 79$ кВт и $P_{н2} = 90$ кВт; $Q_{н1} = 63$ Вар, $Q_{н2} = 70$ Вар; $S_{н1} = -101$ В*А, $S_{н2} = 110$ В*А, а нагрузка электростанции $P_{э.с} = 160$ кВт; $Q_{э.с} = 126$ Вар; $S_{э.с} = 200$ В*А?

1.1 коэффициент загрузки судовой электростанции

$$k_{з.эс} = \frac{P_{э.с}}{P_{н1} + P_{н2}} = \frac{160}{79 + 90} = 0,95$$

1.2. Активная нагрузка первого генератора

$$P_1 = k_{з.эс} * P_{н1} = 0,95 * 79 = 75,05 \text{ кВт}$$

1.3. Активная нагрузка второго генератора

$$P_2 = k_{з.эс} * P_{н2} = 0,95 * 90 = 85,5 \text{ кВт}$$

2.1 коэффициент загрузки судовой электростанции

$$k_{з.эс} = \frac{P_{э.с}}{P_{н1} + P_{н2}} = \frac{126}{63 + 70} = 0,95$$

2.2. Реактивная нагрузка первого генератора

$$Q_1 = k_{з.эс} * Q_{н1} = 0,95 * 63 = 59,85 \text{ кВт}$$

2.3. Реактивная нагрузка второго генератора

$$Q_2 = k_{3.эс} * Q_{н2} = 0.95 * 70 = 66.5 \text{ кВт}$$

3.1 коэффициент загрузки судовой электростанции

$$k_{3.эс} = \frac{S_{э.с}}{S_{н1} + S_{н2}} = \frac{200}{101+110} = 0.95$$

3.2. Реактивная нагрузка первого генератора

$$S_1 = k_{3.эс} * S_{н1} = 0.95 * 101 = 95.95 \text{ В*А}$$

3.3. Реактивная нагрузка второго генератора

$$S_2 = k_{3.эс} * S_{н2} = 0.95 * 110 = -104.5 \text{ В*А}$$

Проверка.

1. В сумме нагрузки первого и второго генератора должны дать значение, равное нагрузке электростанции, т.е.

$$P_1 + P_2 = P_{э.с}; \quad Q_1 + Q_2 = Q_{э.с}.$$

2. находим сумму нагрузок генераторов

$$P_1 + P_2 = 75.05 + 85.5 = 161 \text{ кВт};$$

$$Q_1 + Q_2 = 59.85 + 66.5 = 126.35 \text{ Вар};$$

$$S_1 + S_2 = -95.95 - 104.5 = 200.45 \text{ В*А};$$

3. Проверка погрешностей;

$$\Delta P_{э.с.} = \left| \frac{P_{э.с.ф.} - P_{э.с.расч.}}{P_{э.с.ф.}} \cdot 100\% = \frac{160 - 161}{160} \cdot 100\% \right| = 0.625\%$$

$$\Delta Q_{э.с.} = \left| \frac{Q_{э.с.ф.} - Q_{э.с.расч.}}{Q_{э.с.ф.}} \cdot 100\% = \frac{126 - 126.35}{126} \cdot 100\% \right| = 0.28\%$$

$$\Delta P_{э.с.} = \left| \frac{P_{э.с.ф.} - P_{э.с.расч.}}{P_{э.с.ф.}} \cdot 100\% = \frac{200 - 200.45}{200} \cdot 100\% \right| = 0.23\%$$

поскольку условие п.1 выполнено, нагрузка распределена правильно;

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. От чего зависит равномерность распределения активных нагрузок.
2. Какое главное условие после включения генераторов на параллельную работу.
3. Что необходимо выполнить для того чтобы распределить активные нагрузки и в то же время оставить частоту генераторов неизменной.
4. Как проводится распределение реактивной нагрузки при параллельной работе СГ. Как проводится распределение с перегруженным генератором, а как с недогруженным.
5. При помощи чего осуществляется автоматическое распределение реактивной нагрузки при параллельной работе СГ. Назовите не менее двух типов.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №8

Исследование работы микропроцессорного потенциометра частоты тренажёрного комплекса DIEF в автоматическом режиме.

ЦЕЛИ РАБОТЫ

1. Исследовать работу системы регулирования частоты.
2. Изучить принцип работы и схему системы регулирования частоты современных судовых электростанций.

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К РАБОТЕ

ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ РАБОТА ГЕНЕРАТОРОВ

Автоматические регуляторы частоты вращения приводных двигателей

Основное требование к ПД генераторных агрегатов любого типа - сохранение частоты вращения вала ПД (приводного двигателя), что необходимо для стабилизации частоты тока генераторов. Поэтому ГА снабжают АРЧ, для которых регулирующим воздействием является изменение подачи топлива (пара), а регулирующим органом - топливная рейка у дизелей и паровпускной клапан у турбин.

В зависимости от наклона регуляторной характеристики АРЧ подразделяют на астатические (И-регуляторы), статические (П-регуляторы), универсально-статические (ПИ-регуляторы). Основной характеристикой приводных двигателей ГА является регуляторная, представляющая собой зависимость частоты вращения n приводного двигателя от мощности P генератора при фиксированном положении регулирующего органа. Наклон регуляторной характеристики, или статизм (%),

$$\delta = [(n_{x.x} - n_{ном}) / n_{ном}] 100;$$

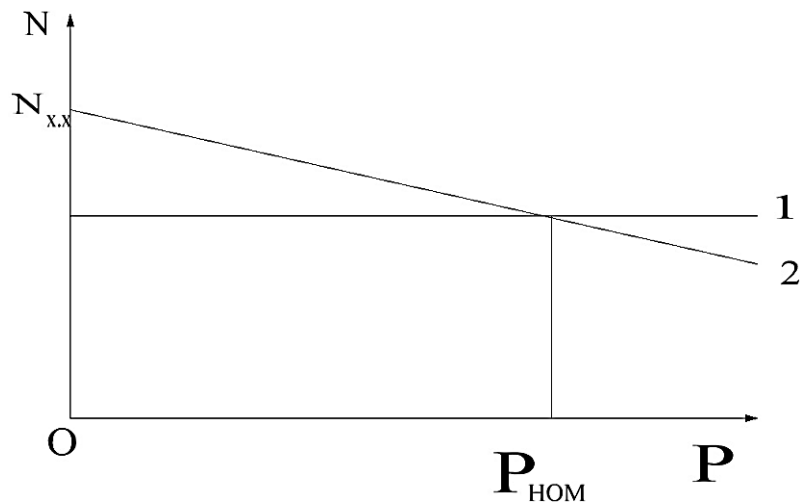


Рис. 8.1. Характеристика статизма

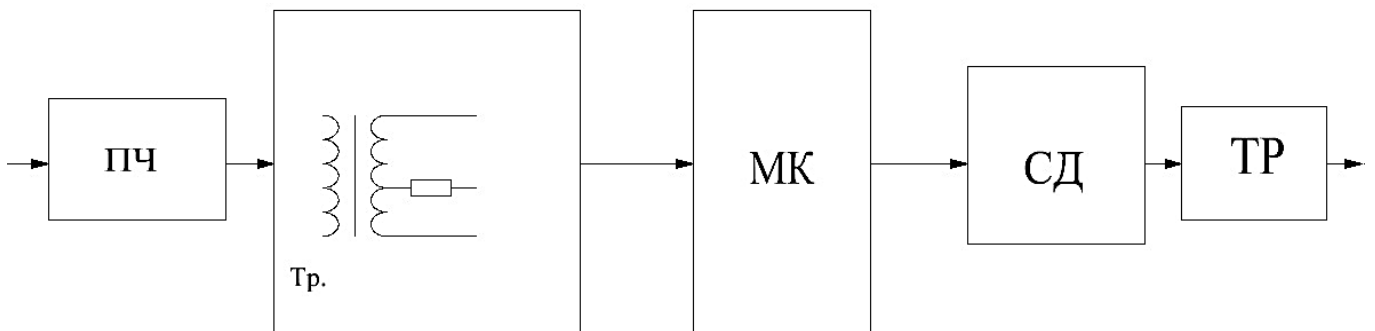


Рис. 8.2. Принцип регулирования частоты вращения ДГА

Процесс регулирования частоты ДГА происходит следующим образом. Воздействием на преобразователь частоты в транзисторе образуется определённый сигнал, он подается на МК (Микропроцессор), под действием сигнала с МК запускается СД (серводвигатель) который регулирует ТР (топливную рейку), отвечающую за подачу топлива в дизель генератор.

Для астатической характеристики $b = 0$, т. е. частота вращения приводного двигателя ГА не зависит от нагрузки генератора (см. рис. 8.1, характеристика 2). Иначе говоря, определённому значению частоты вращения ПД соответствует множество значений мощности генератора. Это не позволяет обеспечить пропорциональное распределение активных

нагрузок параллельно работающих генераторов. Поэтому АРЧ, обеспечивающие работу приводных

двигателей ГА по астатическим характеристикам, применяют при одиночной работе ГА и называют *астатическими*.

Для статической характеристики $b > 0$, т. е. частота вращения ПД уменьшается с увеличением нагрузки генератора (см. рис. 8.1, характеристика 2). Такие характеристики имеют статические АРЧ, применяемые при параллельной работе генераторов.

Регуляторы, обеспечивающие работу ПД по астатической и статической характеристикам, называют *универсально-статическими*.

Для равномерного распределения активных нагрузок при параллельной работе СГ необходимо иметь возможность изменять наклон регуляторных характеристик и перемещать их параллельно самим себе. Наклон характеристики устанавливается в процессе настройки АРЧ. Параллельное перемещение характеристики обеспечивается установкой регулирующего органа в новое фиксированное положение. Если этому положению соответствует увеличение подачи топлива (пара), регуляторная характеристика перемещается вверх, если уменьшение - вниз. Изменяют положение регулирующего органа с помощью серводвигателя - электрического двигателя постоянного или переменного тока небольшой мощности. Управление серводвигателем осуществляется вручную (оператором) или автоматически. Для обеспечения устойчивой параллельной работы генераторов и равномерного распределения активной нагрузки статизм регуляторных характеристик дизелей должен быть не менее 3 %.

Регуляторы, имеющие гибкую обратную связь по частоте вращения, совмещают свойства статического и астатического регуляторов, однако не могут применяться при параллельной работе ДГ. В этом случае используют регуляторы, которые имеют жесткую обратную связь с регулируемой степенью статизма. Такие регуляторы являются универсальными.

В зависимости от изменяемых величин различают АРЧ 1- и 2-

импульсные. *Одноимпульсные* АРЧ изменяют подачу топлива при изменении

частоты и потому снабжаются центробежными (частоты вращения вала) или электрическими (частоты тока) датчиками. *Двух* импульсные АРЧ дополнительно снабжены датчиком активного тока, поэтому у них подача топлива зависит от частоты и активной нагрузки.

В зависимости от наличия усиления различают АРЧ прямого и непрямого действия. В АРЧ *прямого действия* датчик частоты вращения воздействует на регулирующий орган непосредственно, а в АРЧ непрямого действия - через усилитель (сервомотор).

Автоматические регуляторы частоты приводных двигателей ГА должны удовлетворять следующим требованиям:

- при набросе (сбросе) 100 %-ной нагрузки изменение частоты вращения ПД не должно превышать ± 10 % номинального значения, а установившаяся частота вращения не должна отличаться более чем на ± 5

% номинальной (это требование одинаково для турбин и дизелей, за тем исключением, что у дизелей наброс нагрузки проводится в 2 ступени, по 50 % каждая);

- колебания частоты вращения (размах) ДГ при нагрузках 25-100 % номинальной должны находиться в пределах ± 1 % номинальной;

- должна обеспечиваться возможность местного и дистанционного изменения частоты вращения в пределах ± 10 % номинальной.



Рис. 8.3. Табло электронного потенциометра



Рис. 8.4. Частотомер



Рис. 8.5. Силовой трёхфазный инвертор



Рис. 8.6. Физическая модель дизель генератора

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Устройство регулирования частоты микропроцессорной системы управление частотой.
2. Математическое описание механической работы ДГ.
3. На какие электрические характеристики ДГА влияет изменение частоты вращения.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №9

Определение качества электроэнергии, производимой СЭЭС

ЦЕЛИ РАБОТЫ

Научиться определять показатели качества судовой электроэнергии при включении энергоемких потребителей

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К РАБОТЕ

К а ч е с т в о э л е к т р о э н е р г и и - это совокупность свойств электроэнергии, обуславливающих ее пригодность для нормальной работы судовых приемников. Приемники потребляют электроэнергию от судовых источников непосредственно или через преобразователи. Качество электроэнергии оказывает существенное влияние на режимы работы приемников, источников и линий электропередачи. Поэтому упомянутое качество характеризуют показателями, перечень которых и допустимые значения большинства из них установлены Правилами Регистра СССР.

П о к а з а т е л и к а ч е с т в а электроэнергии определяют в период швартовных и ходовых испытаний отдельно для установившихся и переходных режимов.

В *установившемся режиме работы* показатели (%) качества электроэнергии следующие:

- длительное отклонение напряжения ΔU - относительная разность между фактическим U и номинальным $U_{ном}$ значениями напряжения:

$$\Delta U = [(U - U_{ном}) / U_{ном}] * 100$$

- длительное отклонение частоты Δf - относительная разность между фактическим f и номинальным $f_{ном}$ значениями частоты:

$$\Delta f = [(f - f_{НОМ}) / f_{НОМ}] * 100$$

- коэффициент k_d искажения синусоидальности кривой напряжения - отношение квадратного корня из суммы квадратов действующих значений высших гармонических составляющих напряжения U_v к действующему значению основной гармонической составляющей U_1 :

$$k_d = \left[\left(\sqrt{\sum_{v=2}^{\infty} U_v^2} \right) / U_1 \right] 100$$

- коэффициент k_u несимметрии (небаланса) напряжения в 3-фазной системе - относительная разность между максимальным U_{\max} и минимальным U_{\min} значениями линейного напряжения:

$$k_u = [(U_{\max} - U_{\min}) / U_{\text{ном}}] 100$$

В *переходных режимах* показатели (%) качества электроэнергии следующие:

- кратковременное отклонение напряжения ΔU_t - относительная разность между минимальным U_{\min} или максимальным U_{\max} и номинальным $U_{\text{ном}}$ значениями напряжения:

$$- \Delta U_t = [(U_{\min} - U_{\text{ном}}) / U_{\text{ном}}] 100$$

$$+ \Delta U_t = [(U_{\max} - U_{\text{ном}}) / U_{\text{ном}}] 100$$

- кратковременное отклонение частоты Δf_t - относительная разность между минимальным f_{\min} или максимальным f_{\max} и номинальным $f_{\text{ном}}$ значениями частоты:

$$- \Delta f_t = [(f_{\min} - f_{\text{ном}}) / f_{\text{ном}}] 100$$

$$+ \Delta f_t = [(f_{\max} - f_{\text{ном}}) / f_{\text{ном}}] 100$$

Основные причины отклонения напряжения частоты заключаются в ограниченной мощности СЭЭС и несовершенстве АРН и АРЧ.

Эти отклонения изменяют режим работы приемников

электроэнергии. Например, при снижении напряжения сети до $U = 0,95 U_{ном}$ вращающийся

момент АД уменьшается на 10 %, а потребляемый ток увеличивается на 11 %. Колебания напряжения могут вызвать ложные срабатывания защитных устройств источников и приемников электроэнергии, настроенных на номинальное напряжение.

Колебания частоты тока приводят к практически пропорциональным изменениям частоты вращения ТАД и сопряженных с ними механизмов.

Искажение синусоидальности кривой напряжения обусловлено влиянием как источников, так и приемников электроэнергии. В СГ это искажение объясняется невозможностью получения на практике распределения магнитной индукции в воздушном зазоре по синусоидальному закону. Напомним, что для получения синусоидальной ЭДС генератора увеличивают зазор под краями полюсов.

В специфических группах приемников электроэнергии, таких, как статические преобразователи частоты, искажение синусоидальности кривой напряжения объясняется использованием в них нелинейных элементов - полупроводниковых диодов, тиристоров и др. Работа этих приемников связана с образованием несинусоидальных токов, замыкающихся через СГ и линии электропередачи. Возникающие высшие гармонические составляющие тока вызывают дополнительный нагрев СГ, электродвигателей и линий электропередачи, уменьшение вращающего момента АД и приводят к сбоям в работе устройств электроавтоматики.

Один из путей подавления высших гармоник - применение мощных фильтров L и LC-типов.

Несимметрия напряжения в 3-фазных системах обусловлена наличием 1- фазных приемников электроэнергии, основную часть которых составляют светотехнические приборы. Упомянутая несимметрия проявляется как дополнительное увеличение отклонений напряжения и неблагоприятно сказывается на работе АД и особенно радиоэлектронной аппаратуры.

Приемники электроэнергии СЭЭС

Основные сведения

Приемник электроэнергии - это устройство, предназначенное для преобразования электроэнергии в другой вид энергии.

Приемники электроэнергии обеспечивают безопасность плавания, безаварийную работу энергетической установки, сохранность грузов и нормальные бытовые условия экипажа. На многих судах - лихтеровозах, ледоколах, парамах, земснарядах, плавкранах - электроэнергия применяется для привода гребных винтов и специальных технологических механизмов.

Классификация приемников электроэнергии

Приемники электроэнергии классифицируют по трем основным признакам:

1. назначению;
2. степени важности (ответственности);
3. режиму работы.

По назначению приемники электроэнергии делят на следующие группы:

- *средства навигации и связи* - гирокомпас, лаг, эхолот, радиолока- торы, радиопеленгаторы, радиостанция;
- *механизмы судовых систем и устройств* - насосы, вентиляторы, компрессоры;
- *палубные механизмы* - грузовые лебедки и краны, рулевое уст- ройство, брашпили, шпили, автоматические швартовные лебедки;
- *бытовые механизмы и приборы* - климатическая установка, оборудование камбуза, прачечной;
- *электрическое освещение.*

По степени важности приемники электроэнергии подразделяют на 3 группы:

- *особо ответственные* приемники, перерыв в питании которых может привести к аварии судна и гибели людей. К ним относятся радио- и навигационное оборудование в соответствии с Правилами по конвенционному оборудованию морских судов, рулевое устройство, пожарный насос, аварийное освещение и др. На грузовых судах валовой вместимостью 300 рег. т и более, а также на некоторых других судах приемники этой группы питаются практически бесперебойно от основной, а при ее обесточивании - от аварийной электростанции;

- *ответственные* приемники, обеспечивающие работу СЭУ, управление судном и сохранность груза. В эту группу входит основная часть судовых приемников электроэнергии - насосы, вентиляторы, компрессоры, якорные и швартовные механизмы, грузовые устройства, средства внутрисудовой связи и сигнализации и др. Эти приемники получают питание во всех режимах работы основной СЭС;

- *малоответственные* приемники, допускающие перерыв питания в аварийных ситуациях или при перегрузке СЭС - бытовая вентиляция, камбузное оборудование и др.

По режиму работы различают приемники электроэнергии с продолжительным S1, кратковременным S2, повторно-кратковременными S3- S5 и перемежающимися S6-S8 режимами.

В *продолжительном* режиме работают ЭП насосов постоянной подачи, вентиляторов, компрессоров, воздуходувок и др.; в *кратковременном* - ЭП шпильей, брашпильей, шлюпочных и траповых лебедок; в *повторно-кратковременных* - грузовые лебедки и краны; в *перемежающихся* - технологическое оборудование судов технического флота.

Основную долю производимой электроэнергии на судах потребляют ЭД. Для ЭП постоянного тока, работающих в

продолжительном режиме,

применяют электродвигатели общесудового исполнения серий П и 2П в диапазонах мощностей 0,1 - 200 кВт и частот вращения 750-3000 об/мин для серии П и 750-4000 об/мин для серии 2П.

Для ЭП переменного тока используют асинхронные электродвигатели серии 4А в диапазонах мощностей 0,1 - 315 кВт с пятью уровнями синхронных частот вращения (600, 750, 1000, 1500 и 3000 об/мин).

Для приемников кратковременного и повторно-кратковременного режимов с большой частотой включений, тяжелыми условиями пуска и частыми реверсами на постоянном токе применяют электродвигатели серии ДПМ мощностью до 100 кВт, серии Д800 мощностью 120-350 кВт и серии ДП мощностью 136-540 кВт, а на переменном токе -асинхронные электродвигатели серии МАП в диапазоне мощностей 1-100 кВт.

Электродвигатели серии 2П могут питаться от тиристорных преобразователей постоянного тока, серии МАП в специальном исполнении — от тиристорных преобразователей частоты с регулируемой частотой в пределах 5-80 Гц для 1-скоростных и 5-20 Гц для обмоток малой скорости 2- и 3- скоростных ЭД.

Электродвигатели серии ВМАП являются взрывозащищенной модификацией электродвигателей серии МАП, устанавливаются в судовых помещениях, где возможно образование взрывоопасных смесей газов и паров, и выдерживают до 20 внутренних взрывов без утраты работоспособности.

Эксплуатационные качества приемников электроэнергии

Э к с п л у а т а ц и о н н ы е к а ч е с т в а приемников электроэнергии оказывают существенное влияние на режим работы СЭС.

Прямой пуск АД при недостаточной суммарной мощности включенных генераторов приводит к понижению частоты тока и

провалам напряжения, что может повлечь выпадение генератора из синхронизма, остановку ПД генератора, а также отключение работающих машин и механизмов. Для

ограничения пусковых токов АД применяют пуск переключением со "звезды" на "треугольник", а также автотрансформаторный, реакторный и другие способы пуска.

Асинхронные электродвигатели, работающие с недогрузкой, перегружают сеть и генераторы реактивными токами, не позволяя использовать полностью мощность генераторов. Эффективным способом компенсации реактивной мощности является применение конденсаторных батарей с автоматическим регулированием емкости, подключаемых к шинам СЭС.

Не выключенные вовремя приемники ЭЭ перегружают судовую электростанцию и линии электропередачи, снижают степень электро- и пожаробезопасности.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ В СЭС ПРИ ПРЯМОМ ПУСКЕ АД С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ И АВТОНОМНОЙ РАБОТЕ ГА

СГ работает по внешней характеристике с небольшим коэффициентом статизма, поэтому при резких бросках тока, близкого к номинальному значению и более, он снимает свое напряжение под воздействием реакции статора.

Исходные данные генератора:

- тип;
- полная мощность: $S_{HG}(кВА)$
- синхронные индуктивные сопротивления: - по продольной оси: $X_d(o.e.)$
- по поперечной оси: $X_q(o.e.)$
- переходное индуктивное сопротивление по продольной оси: $X'_d(o.e.)$

- сверхпереходные индуктивные сопротивления: - по продольной оси:

$X''_d(o.e.)$

- по поперечной оси: X''_q (о.е.)
- коэффициент магнитной связи фаз статора и поперечного демпферного контура: μ_q (о.е.)

Исходные данные потребителя:

- тип двигателя;
- полная мощность: S_{HD} (кВА)
- коэффициент мощности: $\cos\phi_{HD}$
- усредненный коэффициент мощности: $\cos\phi_0$
- полная мощность предварительной нагрузки:

$$S_{H0} = \frac{S_{HG}}{\text{кол} - \text{во} _ \text{потреб}} \text{ (кВА)}$$

Расчет ведем аналитическим методом:

1. Определяем полную проводимость включаемой нагрузки:

$$\gamma_{ВКЛ} = \frac{S_{HD}}{S_{HG}}$$

2. Определяем активные и реактивные составляющие полной проводимости включаемой нагрузки:

$$q_{ВКЛ} = \gamma_{ВКЛ} \times \cos\phi_{HD}$$

$$b_{ВКЛ} = \gamma_{ВКЛ} \times \sin\phi_{HD}$$

3. Определяем полную проводимость предварительной нагрузки:

$$\gamma_{H0} = \frac{S_{H0}}{S_{HG}}$$

4. Определяем активные и реактивные составляющие полной проводимости предварительной нагрузки:

$$q_{H0} = \gamma_{H0} \times \cos\phi_0$$

$$b_{H0} = \gamma_{H0} \times \sin\phi_0$$

5. Определяем суммарные активные и реактивные составляющие проводимости нагрузки:

$$q_{H\Sigma} = q_{BKЛ} + q_{H0}$$

$$b_{H\Sigma} = b_{BKЛ} + b_{H0}$$

6. Определяем составляющие напряжения генератора для исходного установившегося режима:

$$U_{d0} = \frac{X_q \times q_{H0}}{\sqrt{(1 + X_q \times b_{H0})^2 + (X_q \times q_{H0})^2}}$$

$$U_{q0} = \frac{1 + X_q \times b_{H0}}{\sqrt{(1 + X_q \times b_{H0})^2 + (X_q \times q_{H0})^2}}$$

7. Определяем составляющие тока статора и тока возбуждения генератора в исходном установившемся режиме:

$$i_{d0} = q_{H0} \times U_{d0} + b_{H0} \times U_{q0}$$

$$i_{q0} = \frac{U_{d0}}{X_q^2}$$

$$i_{f0} = U_{q0} + X_d \times i_{d0}$$

8. Определяем составляющие напряжения генератора с учетом демпферных обмоток в первый момент времени после включения нагрузки:

$$U_{d1} = \frac{X''_q \times q_{H\Sigma} \times (i_{f0} - (X_d - X''_d) \times i_{d0}) + (1 + X''_d \times b_{H\Sigma}) \times \mu_q \times X_q \times i_{q0}}{(1 + X''_q \times b_{H\Sigma}) \times (1 + X''_d \times b_{H\Sigma}) + X''_d \times X''_q \times q_{H\Sigma}^2}$$

$$U_{q1} = \frac{(1 + X''_q \times b_{H\Sigma}) \times (i_{f0} - (X_d - X''_d) \times i_{d0}) - X''_d \times q_{H\Sigma} \times \mu_q \times X_q \times i_{q0}}{(1 + X''_q \times b_{H\Sigma}) \times (1 + X''_d \times b_{H\Sigma}) + X''_d \times X''_q \times q_{H\Sigma}^2}$$

9. Определяем составляющие напряжения генератора на момент включения без учета демпферных обмоток:

$$U_{d2} = \frac{X_q \times q_{H\Sigma} \times (i_{f0} - (X_d - X'_d) \times i_{d0})}{(1 + X'_d \times b_{H\Sigma}) \times (1 + X_q \times b_{H\Sigma}) + X'_d \times X_q \times q_{H\Sigma}^2}$$

$$U_{q2} = \frac{(1 + X_q \times b_{H\Sigma}) \times (i_{f0} - (X_d - X'_d) \times i_{d0})}{(1 + X'_d \times b_{H\Sigma}) \times (1 + X_q \times b_{H\Sigma}) + X'_d \times X_q \times q_{H\Sigma}^2}$$

10. Определяем отклонение напряжения с учетом и без учета демпфера

$$\Delta U_1 = (\sqrt{U_{d1}^2 + U_{q1}^2} - 1) \times 100\%$$

$$\Delta U_2 = (\sqrt{U_{d2}^2 + U_{q2}^2} - 1) \times 100\%$$

11. Определяем окончательное значение отклонения напряжения генератора:

$$\Delta U = \frac{\Delta U_1 + \Delta U_2}{2} \text{ - Это значение должно удовлетворять требованиям}$$

РЕГИСТР-а.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Перечислите основные типы СЭО.
2. Перечислите условия работы СЭО.
3. Какие нормативные документы определяют условия производства и эксплуатации СЭО.
4. Что такое Регистр. Каковы функции Регистра.
5. Перечислите требования нормативных документов к характеристикам СЭО.
6. Перечислите требования нормативных документов к конструкции СЭО.
7. Каким образом классифицируется СЭО в зависимости от климатических условий плавания.

8. Каким образом классифицируется СЭО в зависимости от места расположения на судне.

9. Каким образом классифицируется СЭО в зависимости от степени защищенности обслуживающего персонала и корпусов СЭО.

10. Каковы назначение и состав СЭЭС.

11. Перечислите источники электроэнергии, применяемые на судах.

12. Каким образом классифицируются электрораспределительные щиты.

13. По каким признакам классифицируются СЭЭС.

14. В чем состоит различие автономных, с отбором мощности от СЭУ и единых с СЭУ электроэнергетических систем.

15. Каковы возможные режимы работы СЭС с одной системой сборных шин.

16. Каковы достоинства и недостатки СЭО постоянного и переменного тока.

17. Почему СЭС с повышенной частотой тока нашли ограниченное применение.

18. По каким признакам классифицируются судовые приемники электроэнергии.

19. Каким образом эксплуатационные качества приемников электроэнергии влияют на режим работы СЭС. Приведите примеры.

20. Перечислите показатели качества ЭЭ.

21. Поясните понятие «приемник электроэнергии». По каким признакам характеризуются приемники ЭЭ.

22. В чем состоит разница между особо ответственными, ответственными и неответственными приемниками ЭЭ. Каким образом снабжаются электроэнергией эти три категории приемников.

23. Как влияют эксплуатационные качества приемников ЭЭ на режим работы судовой электроэнергетической установки.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №10

Оценка технического состояния электроэнергетической системы при динамических возмущениях

ЦЕЛИ РАБОТЫ

Практическим путем уметь оценить условия синхронизации синхронных генераторов.

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К РАБОТЕ

Любая электростанция включает в себя как минимум два источника питания. В целях обеспечения бесперебойной подачи электрической энергии на различные энергообъекты электростанции объединяются в единую электроэнергетическую систему, содержащую большое количество синхронных генераторов, которые и являются основными источниками питания. Такие объединения позволяют обеспечить экономическое покрытие максимумов нагрузки, маневрирование и резервирование генераторных агрегатов. Особенностью совместной работы синхронных генераторов является включение их на параллельную работу, называющийся синхронизацией. Процесс синхронизации источников переменного тока является сложным технологическим процессом, при котором необходимо учесть много различных факторов.

Включение в параллель даже неинерционного источника электрической энергии является сложным технологическим процессом, обусловленным рядом условий. Для безударного включения источника, в данном случае даже инвертора, на параллельную работу необходимо выполнить следующие условия синхронизации:

– для трехфазной системы питания:

- 1) равенство напряжения U_c сети и ЭДС E подключаемого источника, т.е. $|U| = |E|$;
- 2) равенство частот сети f_c и подключаемого источника f , т.е. $f_c = f$;
- 3) совпадение по фазе одноименных векторов фазных напряжений подключаемого источника и сети, а именно равенство нулю угла сдвига по фазе указанных векторов, т.е. $\varphi = 0^\circ$;
- 4) одинаковый порядок чередования фаз трехфазных генераторов, т.е. А- В - С и А-В- С. На практике это означает, что выводы А, В и С каждого генератора должны при включении на шины подключаться к шинам, соответственно, А, В и С ГРЩ [6];

Выполнение этих условий геометрическая разность напряжений подключаемых источников будет равна нулю и источники успешно войдут в синхронизм и не создаст существенных отклонений по частоте питающей сети и напряжению, определенных различными требованиями:

$$\Delta U = U_1 - U_2 = 0(10.1)$$

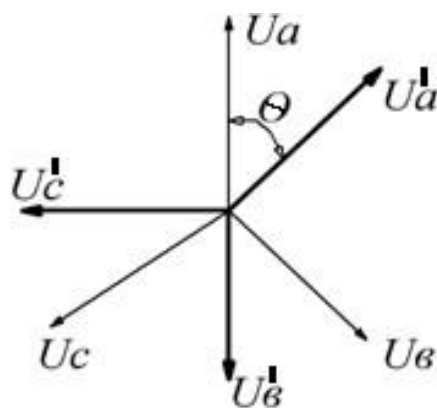


Рис. 10.1. Диаграмма напряжений параллельно работающих синхронных генераторов

УРАВНИТЕЛЬНЫЙ ТОК

Если же условия синхронизации не выполняются, то при включении в параллель может возникнуть уравнительный ток:

$$i_{yp1} = \frac{2\sqrt{2} \cdot K_y \cdot E''_d}{X''_{d1} + X_c + X''_{d2}} \cdot \sin \frac{\theta}{2}$$

Произведем расчет уравнительного тока (i_{yp}) при включении генераторов типа МСК-82-4 на параллельную работу, при максимальном рассогласовании и при нормальных углах фазового сдвига, принципиальная схема представлена на рисунке 10.2:

$$E_d = 395 \text{ В};$$

$$X_c =$$

$$0,0107$$

$$\text{Ом}; X''_d =$$

$$0,178$$

$$\text{Ом}; K_y =$$

$$1,7;$$

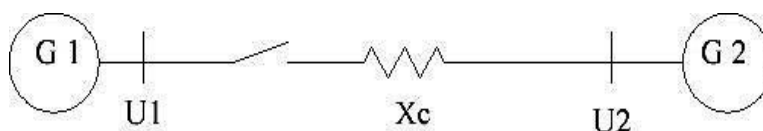
При $\theta = 180^\circ$ и при $\theta = 7^\circ$.

X_c – индуктивное сопротивление судовой сети;

X_{d1}, X_{d2} – сверх переходные индуктивные сопротивления генераторов;

K_y – ударный коэффициент, учитывающий апериодическую составляющую тока, для судовых систем: = 1,6 – 1,9;

а)



б)

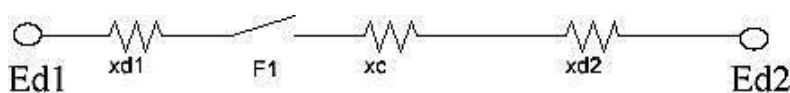


Рис. 10.2. Включение генераторов на параллельную работу

а – принципиальная схема; б – схема замещения

$$I_{yp1} = \frac{\sqrt{2} K_y 2 E''}{\frac{1}{X_1} + \frac{1}{X_2}} * \frac{180}{2} = \frac{\sqrt{2} * 1,7 * 2 * 395}{0,178 + 0,0107 + 0,178} * \frac{180}{2} = 4983(A)$$

$$I_{yp2} = \frac{\sqrt{2} K_y 2 E''}{\frac{1}{X_1} + \frac{1}{X_2}} * \frac{180}{2} = \frac{\sqrt{2} * 1,7 * 2 * 395}{0,178 + 0,0107 + 0,178} * \frac{180}{2} = 305(A)$$

Найти напряжение биения (U_s).

Мгновенное значение разности напряжений при включении генераторов на параллельную работу, рис.3.

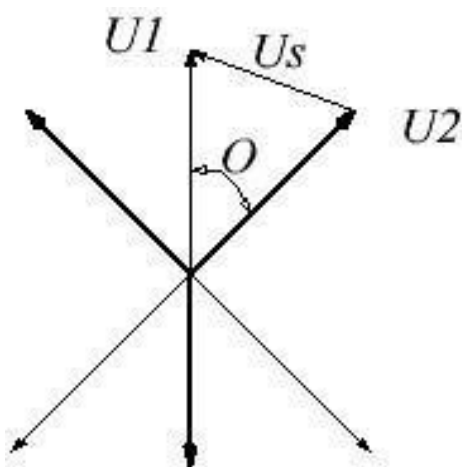


Рис. 10.3 Векторная диаграмма напряжений

При: $U_{a1} = U_{a2} = 380 (В)$;

$\theta = 7^\circ$.

$$U_s^2 = (U_1 - U_2)^2;$$

Откуда:

$$U_s^2 = U_1^2 + U_2^2 - 2 U_1 U_2 \cos \theta;$$

□ □1 □2 □1 □2

и получим:

$$U^2 = U_1^2 + U_2^2 - 2 U_1 U_2 \cos \alpha$$

$$U^2 = 380^2 - 2 * 380 * 380 * \cos 70^\circ = 1744,1(\text{В}^2)$$

Тогда напряжение биений при угле рассогласования 70° будет $U = 41,76(\text{В})$

$$U^2 = U_1^2 + U_2^2 - 2 U_1 U_2 \cos 180^\circ = 380^2 + 380^2 - 2 * 380 * 380 * \cos 180^\circ$$

$$U = 760(\text{В})$$

Тогда напряжение биений при максимальном угле рассогласования будет

$$U = 760(\text{В})$$

Анализируя полученные данные можно сделать вывод, что включение на параллельную работу источников тока сопровождается большими скачками уравнивающего тока и высокие всплески напряжений биений. Даже при небольших углах рассогласования могут возникнуть такие скачки токов и напряжений, которые могут привести к аварии всей электростанции в целом.

Наряду с развитием технологий совершенствуются и системы синхронизации генераторов переменного тока, однако небезызвестным фактом является то, что большое количество оборудования электростанций в различных отраслях российских предприятий имеют срок службы более 20 лет. Проводя аналогию между полученными расчетными данными и реальным техническим состоянием электростанций, можно судить о том, что на сегодняшний день работа электростанций российских предприятий имеет высокую вероятность отказа. Выходом из сложившейся проблемы будет являться модернизация отдельных, наиболее устаревших энергоузлов.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каковы особенности параллельной работы генераторов.
2. Каковы последствия нарушений условий синхронизации СГ.

3. Объясните суть методов точной, грубой и самосинхронизации СГ и назовите область применения каждого
4. Чем отличаются схемы «на погасание» и «на вращение огня» ламповых синхроскопов. Какой тип схемы Вы бы выбрали.
5. От чего зависит в ламповых синхроскопах направление "вращение огня" и частота мигания ламп.
6. Что такое синхронно-несинфазный режим. Как вывести подключаемый генератор из этого режима.
7. Объясните устройство и принцип действия стрелочного синхроскопа.
8. Каково назначение уравнивающих связей между СГ. Какие виды этих связей применяют на практике.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №11

Исследование компьютерной модели СЭС с применением альтернативных источников питания

ЦЕЛИ РАБОТЫ

Научиться моделировать энергообъекты в виртуальной среде *Matlab*, производить синхронизацию инерционных и безынерционных трехфазных источников питания.

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К РАБОТЕ

За последние два десятилетия рыболовный флот РФ сильно устарел. Правительство РФ для решения данной проблемы разработало федеральную целевую программу по ежегодному обновлению флота в количестве до 20 единиц и списанию 17 единиц, на практике же все происходит с точностью до наоборот. Коэффициент ежегодного списания судов в несколько раз превышает коэффициент обновления. С другой стороны, появляются новые суда с установками, производительность которых намного выше установок существующих судов. В результате судовладелец становится перед выбором либо производить покупку нового судна, либо производить модернизацию отдельных ее элементов, чтобы продлить срок эксплуатации и увеличить его производительность. Закупить новое судно может позволить себе далеко не каждый судовладелец, поэтому они пошли по пути глубокой модернизации всей судовой электроэнергетической системы (СЭС) путем замены оборудования на зарубежный аналог. Установленная зарубежная аппаратура после монтажа становится частью всей СЭС. На рис.1.11 представлена структурная схема транспортировки электроэнергии СЭС.

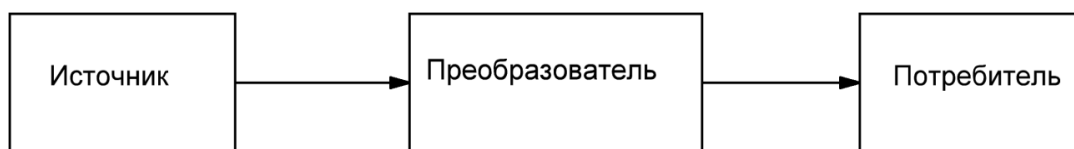


Рис.11.1. Структурная схема транспортировки электроэнергии СЭС

По своей структуре СЭС состоит из трех основных частей:

- источник (Дизель-генераторный агрегат);
- преобразователь;
- потребитель (приемник).

Модернизация СЭС в настоящее время осуществляется заменой одного из вышеуказанных блоков. И замена одной части приводит к тому, что необходимо производить также замену либо источника, либо преобразователя. Замена источника является довольно дорогостоящим мероприятием, чтобы добраться до машинно-котельного отделения необходимо производить вырез нескольких палуб, на что уйдет много времени и средств. Так, например вырез и сварка только одной палубы судна типа СРТМ обойдется судовладельцу порядка 200 тысяч рублей. Для судовладельца этот путь невыгоден. Поэтому из экономических соображений целесообразно становится модернизации элементов переработки электрической энергии, как вариант, путем установки источника бесперебойного питания (ИБП).

В условиях развития современного рыбопромыслового флота в судовые электроэнергетические системы начинают внедрять современные электронные источники энергии (ионисторы, ультраконденсаторы) и полупроводниковые приборы управления как слаботочной, так и силовой техникой.

Силовая электроника относится к числу очень быстро развивающейся технической отрасли. Наряду с ее развитием появились новые источники электрической энергии, преобразующие постоянную

электрическую энергию в переменную при помощи различных полупроводниковых устройств (GTO, биполярные транзисторы с изолированной базой IGBT, мощные полевые

транзисторы MOSFET). Появление в силовой электронике таких устройств привело к улучшению качества и увеличило спектр применения техники преобразования электрической энергии. Особенностью улучшения является значительное увеличение быстродействия полупроводниковых преобразователей, что дало возможность снизить показатели массы и габаритов, увеличить КПД, надежность, а также реализовать микропроцессорное управление и широтно-импульсную модуляцию [1].

Возможность использования полупроводниковых силовых преобразователей в судовых электроэнергетических системах и других отраслях дает громадный экономический эффект, хотя оставляет за собой много неизученных вопросов, связанных с энергосбережением. В связи с ростом уровня индустриализации, высоким количеством устаревших технологий и преобладанием природоемких отраслей данная проблема становится особо актуальной. Поэтому, все большее и большее внимание уделяется созданию и исследованию новых альтернативных источников питания [2,3].

Для того, чтобы оценить результаты предлагаемой модернизации, необходимо разработать математическую и имитационную модель параллельной работы ИБП и дизель-генераторного агрегата (ДГА) и проанализировать все преимущества и недостатки.

Уравнение дизель-генератора (ДГ)

$$J \frac{dw}{dt} = M_{\partial} - M_{\epsilon} \quad (11.1)$$

где Jdw/dt – избыточный динамический момент; M_{∂} – вращающий момент дизеля; M_{ϵ} – тормозной момент, вызванный нагрузкой генератора; J – момент инерции вращающихся частей дизеля и генератора; w – угловая частота вращения; t – время работы [4].

Величина вращающегося момента дизеля M_{∂} будет зависеть от положения топливной рейки топливного насоса и от угловой частоты

вращения вала

$$M_{\delta} = f(x, w) \quad (11.2)$$

где x – относительное перемещение заслонки.

Линеаризуя, получаем

$$\begin{aligned} M_{\delta} &= \frac{df}{dx} + \frac{df}{dw} w \\ M_{\delta} &= k_1 x + k_2 w \end{aligned} \quad (11.3)$$

Величина M_{δ} при постоянной частоте вращения пропорциональна нагрузке λ : $M_{\delta} = \alpha \lambda$

Подставляя значения M_{δ} и M_{δ} в уравнение (11.1) и учитывая, что $df/dw < 0$, получим

$$\begin{aligned} J p w &= k_1 x - k_2 w - \alpha \lambda \\ \left[\frac{J}{k_2} p + 1 \right] w &= \frac{k_1}{k_2} x - \frac{\alpha}{k_2} \lambda \end{aligned}$$

Тогда уравнение динамики дизель-генераторного агрегата (ДГА) примет вид

$$\left(\frac{J}{k_2} p + 1 \right) w = \frac{k_1}{k_2} x - \frac{\alpha}{k_2} \lambda \quad (11.4)$$

$$w = \frac{\frac{k_1}{k_2} x - \frac{\alpha}{k_2} \lambda}{\left(\frac{J}{k_2} p + 1 \right)}$$

$$w = \frac{k_1 x - \alpha \lambda}{J p + k_2} \quad (11.5)$$

Уравнение трехфазной широтно-импульсной модуляции(ШИМ).

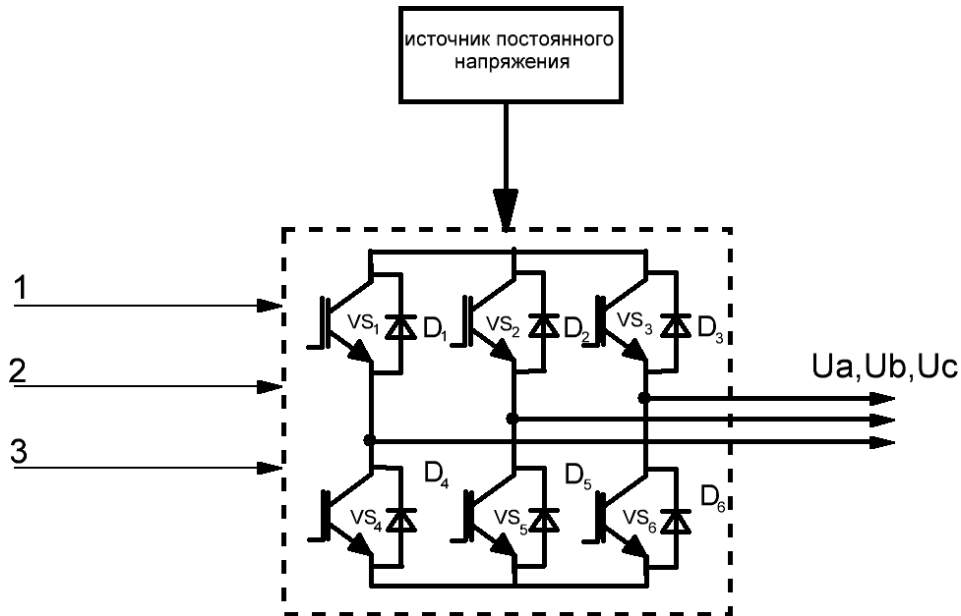


Рис.11.2.ШИМ – инвертор

При реализации ШИМ – инвертора подаваемый на входы трехфазного ШИМ-модулятора (рис.2) управляющий сигнал каждой фазы имеет вид:

$$u_{yA} = K_m U_m \sin(\theta) \quad (11.6)$$

$$u_{yB} = K_m U_m \sin\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) \quad (11.7)$$

$$u_{yC} = K_m U_m \sin\left(\theta - \frac{4\pi}{3}\right) \quad (11.8)$$

где $\theta = 2\pi f_{\text{вых}} t$; U_m – максимально допустимая амплитуда управляющего сигнала, не вызывающего перемодуляцию. При $\omega \cdot t = \theta$ будет наблюдаться фазовый сдвиг между напряжением ДГ и судовой трехфазной сетью близкий к нулю. Исходя из этого, подаваемый на входы трехфазного ШИМ-модулятора управляющий сигнал каждой фазы будет иметь вид:

$$u_{yA} = K_m U_m \sin\left(\frac{k_1 x - \alpha \lambda}{Jp + k_2}\right)$$

$$u_{yB} = K_m U_m \sin\left(\frac{k_1 x - \alpha \lambda}{Jp + k_2} - \frac{2\pi}{3}\right)$$

$$u_{yC} = K_m U_m \sin\left(\frac{k_1 x - \alpha \lambda}{Jp + k_2} - \frac{4\pi}{3}\right),$$

По рассчитанной выше математической модели построен блок в пакетах Simulink и Simscape (рис.11.3).

При параллельной работе трехфазного ШИМ-инвертора и судового синхронного генератора необходимо выполнение условий синхронизации:

Включение в параллель даже неинерционного источника электрической энергии является сложным технологическим процессом, обеспечиваемым рядом условий. Для безударного включения источника в данном случае даже инвертора на параллельную работу необходимо выполнить следующие условия синхронизации:

для трехфазной системы питания

- 5) напряжение U_c сети, к которой подключается источник, должно равняться ЭДС E источника, т. е. $|U| = |E|$.
- 6) значения частоты питающей сети f_c и частоты подключаемого источника f должны совпадать, т. е. $f_c = f$.
- 7) совпадение по фазе одноименных векторов фазных напряжений подключаемого источника и сети, т. е. $\varphi = 0^\circ$.
- 8) Порядок чередования фаз подключаемого на параллель источника должен быть такой же, как и на шинах электрической сети [5].

При выполнении этих условий источник успешно войдет в синхронизм сетью и не даст существенных отклонений по частоте

питающей сети и напряжению, определенных требованиями Морского Регистра судоходства РФ в судовых и требованиями межгосударственного стандарта [6] в береговых электроэнергетических системах.

Разработка виртуальной модели позволит понять структуру объекта исследования, а также подробно изучить причинно-следственные связи. Для исследования параметров качества электрической энергии в программе *MatlabR2012a* в пакетах *Simulink* и *Simscape* была исследована имитационная модель параллельной работы дизель-генераторного агрегата и трёхфазного управляемого инвертора, собранная по схеме устройства для определения и ликвидации предотказных состояний синхронной машины [2].

ХОД РАБОТЫ

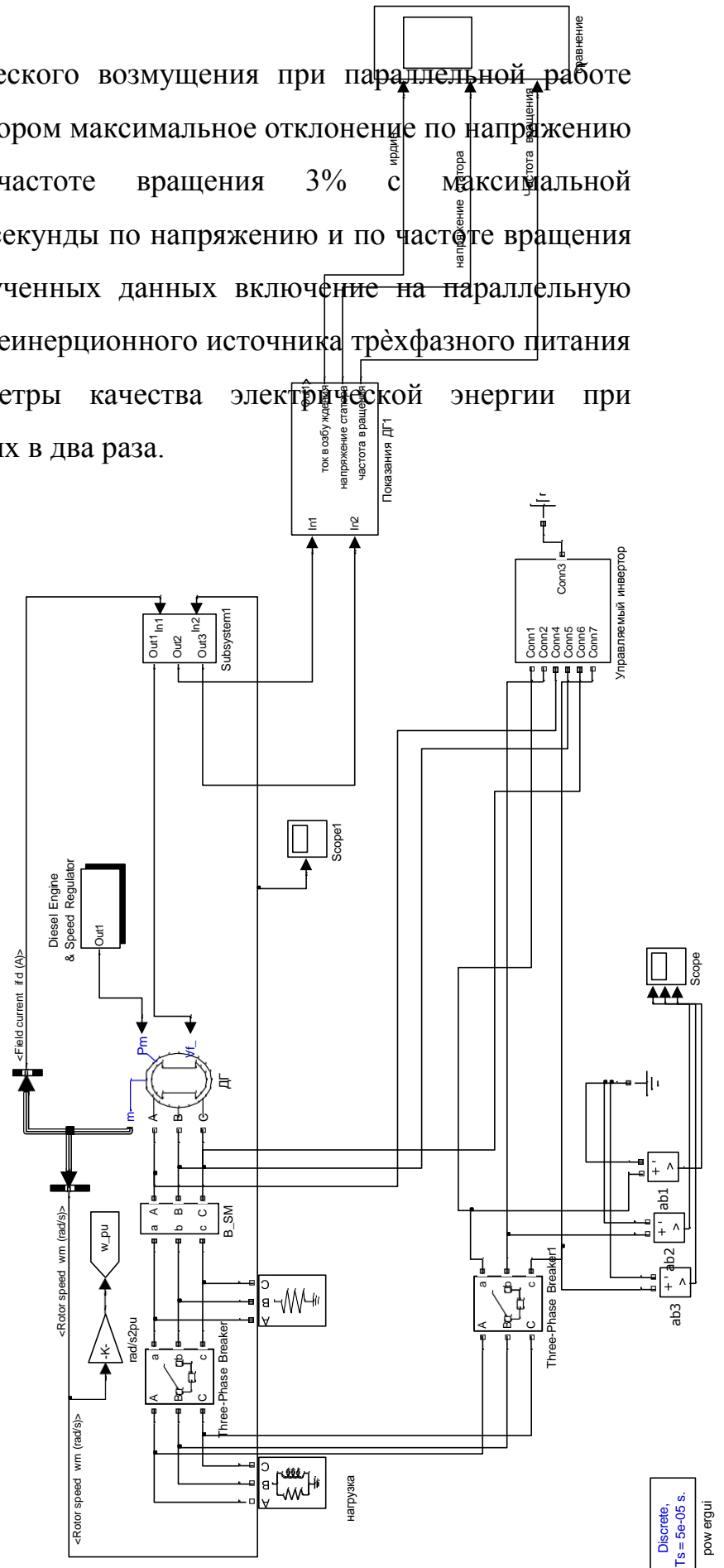
Для исследования модели необходимо произвести следующий эксперимент: на шины электрической сети, питающейся одиночного дизель-генератора мощностью $S=2000$ кВ·А в момент времени $t=3$ секунды подключилась активно-индуктивная нагрузка соизмеримая с мощностью одного генератора, затем через одну секунду была отключена.

После восстановления, при помощи систем автоматического регулирования напряжения и частоты, в момент времени $t=8$ секунд было осуществлено повторное нагружение ДГА той же самой активно-индуктивной мощностью, с той разницей, что в этот же момент, для подавления динамического возмущения, был включен на параллельную работу трехфазный инвертор с учетом четырех условий синхронизации трехфазных источников электрической энергии переменного тока. В ходе эксперимента на осциллографе были зафиксированы следующие данные, представленные на рисунке 4.

В момент динамического возмущения без дополнительного источника питания отклонение по напряжению составило 32% ,по частоте вращения 6% с максимальной продолжительностью 2 секунды по

напряжению и 1,5 секунды по частоте вращения ДГА.

В момент динамического возмущения при параллельной работе ДГА с трехфазным инвертором максимальное отклонение по напряжению составило 14% ,по частоте вращения 3% с максимальной продолжительностью 0,8 секунды по напряжению и по частоте вращения ДГА. Как видно из полученных данных включение на параллельную работу дополнительного неинерционного источника трёхфазного питания с ДГА улучшит параметры качества электрической энергии при динамических возмущениях в два раза.



Discrete,
Ts = 5e-05 s.
pow ergui

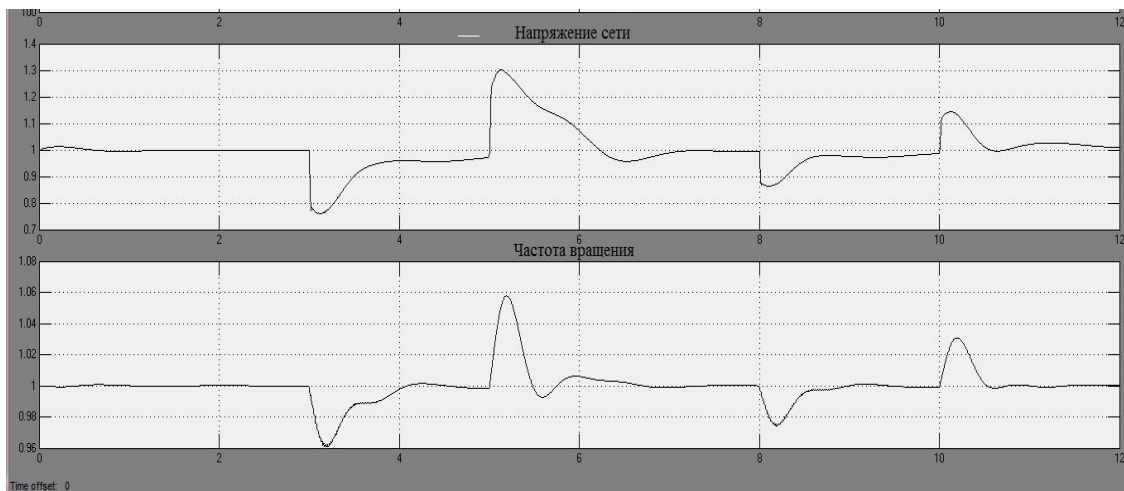


Рис.11.4. Зависимость напряжения и частоты вращения от времени имитационной модели ДГА

Отличительной особенностью и недостатком дизель-генератора является его высокая инерционность, поэтому в различных модификациях такие агрегаты изготавливаются с турбиной для снижения реакции инерции дизеля на выходные параметры генератора. Турбина имеет высокую массу и габариты, поэтому в электроэнергетических системах транспортных судов турбины не используются.

По полученным отклонениям необходимо привести в соответствие установленные параметры требованиям Морского регистра через настройку модели генераторного агрегата (системы возбуждения и частоты) в окнах на рисунке 11.5 и 11.6.

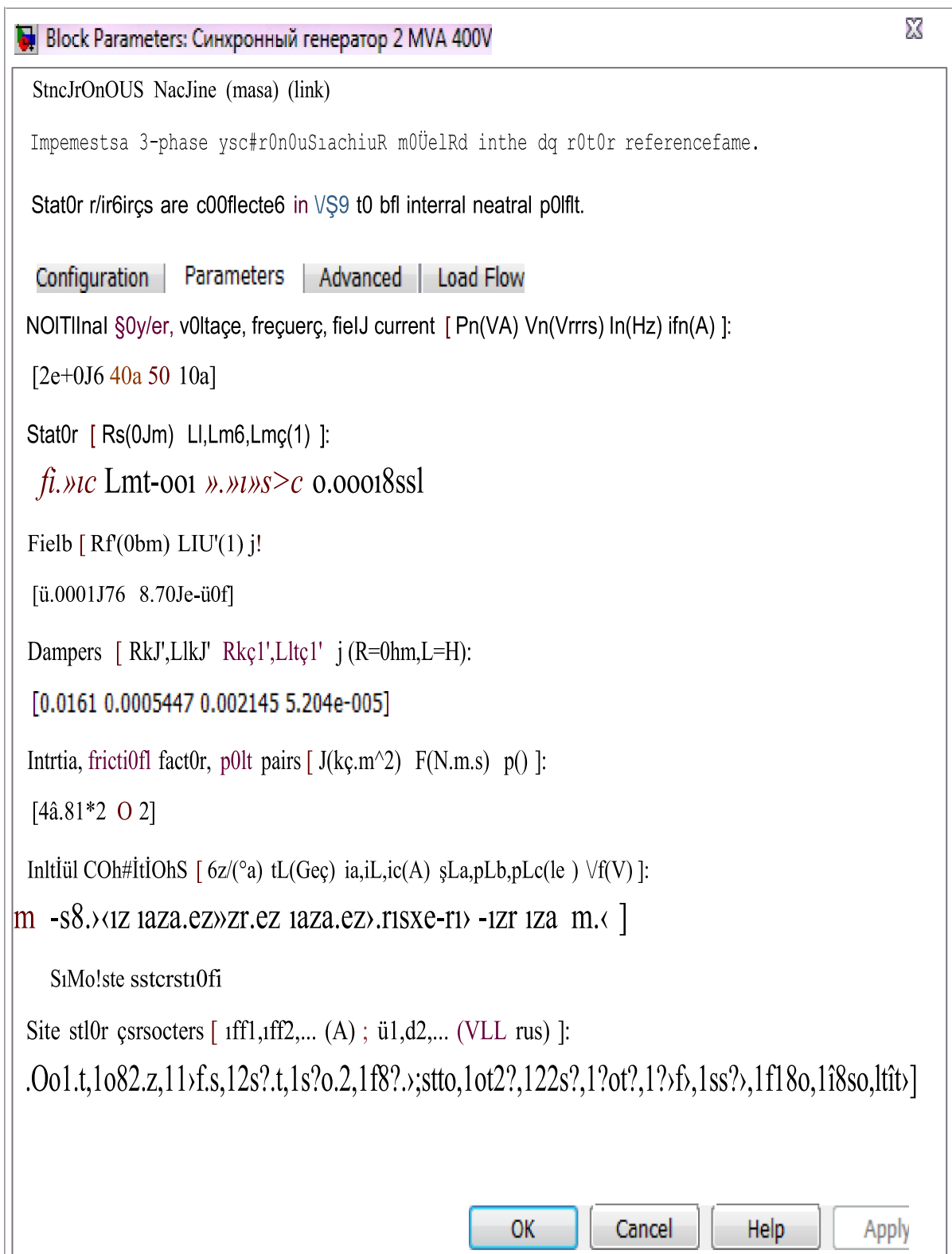
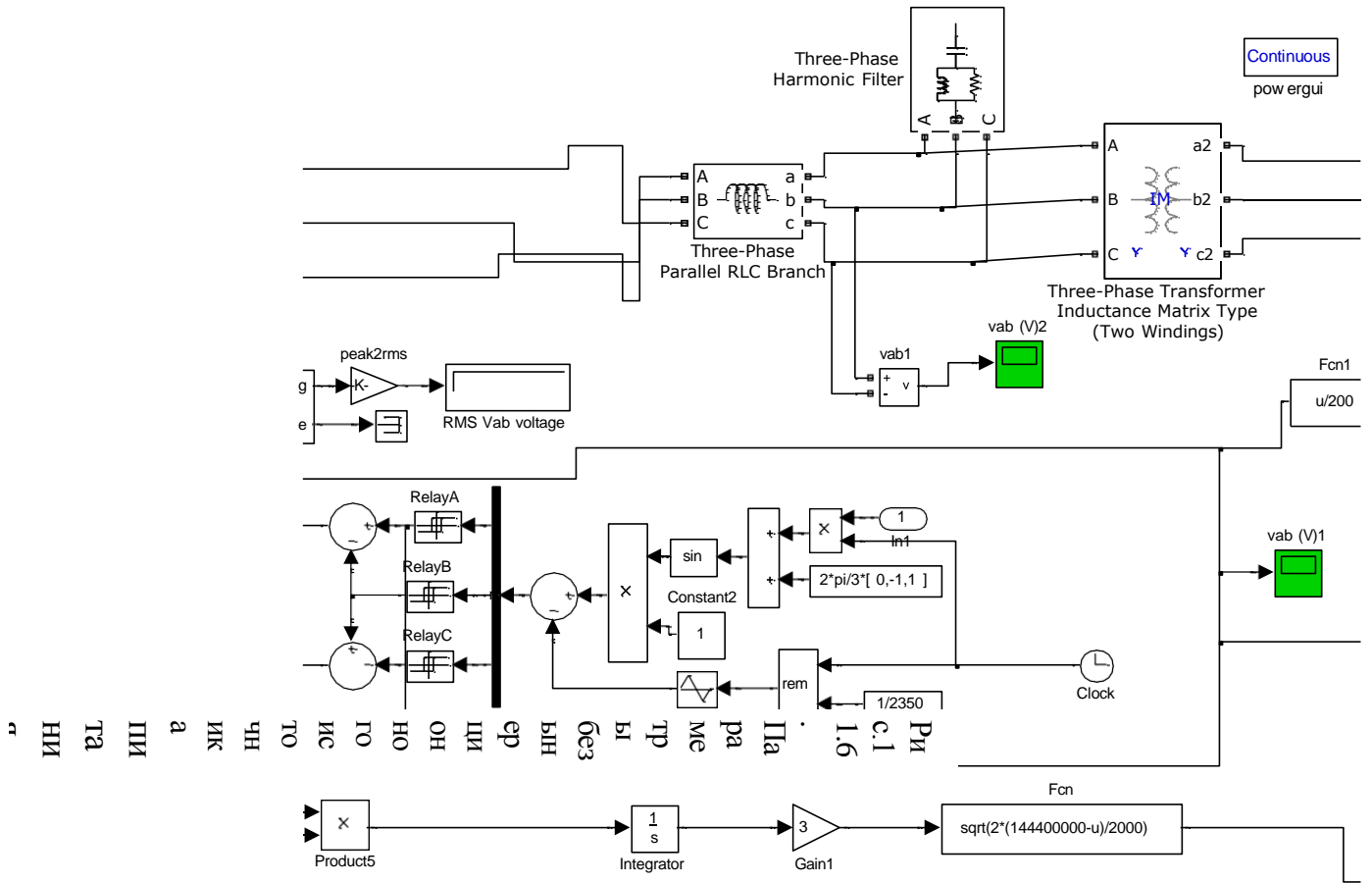


Рис.11.5. Параметры синхронного генератора



Continuous
powergui

Fcn1
u/200

vab (V)1

Fcn
sqrt(2*(144400000-u)/2000)

Three-Phase
Harmonic Filter

Three-Phase
Parallel RLC Branch

Three-Phase Transformer
Inductance Matrix Type
(Two Windings)

peak2rms
RMS Vab voltage

RelayA
RelayB
RelayC

Product5
Integrator
Gain1

Pi
c:1
1.6
1/2350
rem
pa
me
TP
bl
be3
ep
OH
HO
TO
IC
a
IK
CH
TA
HN
r

Рассмотрим требования к качеству электрической энергии судовых электростанций, регламентируемые правилами Морского Регистра:

- максимальный допустимый провал напряжения $\pm \Delta U_{\max}$, (%): от -15 до $+20\%$ при включении и отключении нагрузки значением $60\% \cdot I$ и с $\cos\varphi = 0,4$;
- при включении и отключении стопроцентной нагрузки изменение частоты вращения первичных двигателей не должно превышать $\pm 10\%$ от номинального значения, а частота вращения в статическом режиме не должна отличаться более чем на $\pm 5\%$ номинальной;
- время восстановления системы в установившийся режим не более 1 секунды;
- размах частоты вращения дизель-генератора при нагрузках от 25% до 100% номинальной должен находиться в пределах от -1% до $+1\%$ от номинальной;
- при резком отключении стопроцентной нагрузки генератора кратковременное отклонение частоты вращения дизель-генератора не должно превышать 10% ;
- при резком включении или отключении до пятидесятипроцентной расчетной нагрузки дизель-генератора кратковременное изменение частоты вращения первичного двигателя не должно быть больше десятипроцентной расчетной частоты вращения;
- при любых нагрузках от 0 до 100% установившаяся частота вращения дизель-генератора не должна превышать расчетную частоту более чем на пять процентов;
- установившаяся частота вращения не должна колебаться более чем на $\pm 1\%$ частоты вращения, соответствующей установившейся нагрузке генератора [6].

Анализируя вышеуказанные требования, а также полученные экспериментальные данные можно судить о том, что системы автоматического

регулирования не всегда способны обеспечить динамическую устойчивость при одиночной работе генератора на электрическую сеть. С другой стороны включение потребителей, мощность которых соизмерима с мощностью одного генератора в составе электростанций, может привести к увеличению отклонений параметров напряжения и частоты вращения, значения которых выходят за рамки обусловленных требованиями Морского Регистра. Выходом из данной проблемы будет являться запуск второго ДГА, это является достаточно нецелесообразным с точки зрения энергоэффективности. Наиболее экономически выгодным и надежным будет подключение дополнительного неинерционного источника питания через управляемый трехфазный инвертор.

На основании представленных моделей можно сделать вывод о том, что включение на параллельную работу с ДГА трехфазного инвертора не только снизит энергозатраты до 20%, но и улучшит параметры качества электрической энергии, что позволит при динамических возмущениях энергосистемы поддерживать работу электростанции в нормальном режиме. Кроме того, применение интегральных схем, повышающие качество электроэнергии, позволяют устранить помехи и снизить скачки напряжения.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каковы особенности параллельной работы генераторов и инверторов.
2. Каковы последствия нарушений условий синхронизации.
3. Объясните суть точной синхронизации.
4. Перечислить современные источники питания.
5. Разработать практическую модель в программе *Matlab*.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №12

Исследование распределения электрической энергии на примере имитационной модели

ЦЕЛИ РАБОТЫ

Научиться исследовать работу энергообъектов в различных компьютерных программах, изучить принцип работы ГРЩ.

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К РАБОТЕ

Особенностью процесса производства, передачи и потребления электроэнергии является его непрерывность. Процесс производства электроэнергии совпадает по времени с процессом ее потребления, поэтому электростанции, электрические сети и электроприемники потребителей связаны общностью режима. Общность режима вызывает необходимость организации энергетических систем.

Энергетическая система (энергосистема) представляет собой совокупность электростанций, линий электропередачи, подстанций и тепловых сетей, связанных в одно целое общностью режима и непрерывностью процесса производства, преобразования и распределения электрической и тепловой энергии при общем управлении этим режимом. Частью энергетической системы является электрическая система, представляющая собой совокупность электроустановок электрических станций и электрических сетей энергосистемы.

Электрическая сеть - это совокупность электроустановок для передачи и распределения электрической энергии, состоящая из подстанций, распределительных устройств, токопроводов, воздушных и кабельных линий электропередачи, работающих на определенной территории.

Электроприемник - аппарат, агрегат, механизм, предназначенный для

преобразования электрической энергии в другой вид энергии. Потребитель электроэнергии - один или группа электроприемников, объединенных технологическим процессом и размещающихся на определенной территории. *Электроустановки*, в которых производится, преобразуется, распределяется и потребляется электроэнергия, делятся в зависимости от рабочего напряжения на электроустановки напряжением до 1000 и выше 1000 В. *Распределительным устройством* (РУ) является электроустановка, служащая для приема и распределения электроэнергии и содержащая сборные и соединительные шины, коммутационные аппараты, устройства защиты, автоматики и телемеханики, измерительные приборы и вспомогательные устройства. Распределительные устройства подразделяются на открытые (расположенные на открытом воздухе) и закрытые (в здании). В городских условиях в большинстве случаев применяют закрытые РУ. *Подстанция* - это электроустановка, служащая для преобразования и распределения электрической энергии и состоящая из РУ до и выше 1000 В, силовых трансформаторов или других преобразователей электроэнергии и вспомогательных сооружений.

На распределительных подстанциях 6-10 кВ устанавливается, как правило, два и более понижающих трансформатора. Схема электроснабжения с одним трансформатором применяется редко. Группа соединений и аппаратура напряжением 0,4 кВ допускают параллельную работу этих трансформаторов.

Обычно на параллельную работу устанавливаются трансформаторы одинаковой мощности. В таком случае суммарная нагрузка потребителей распределяется между потребителями поровну. При большой нагрузке потребителей, когда трансформаторы загружены на 0,7 $P_{ном}$ и выше, совместная работа трансформаторов оправдана. В дипломной работе АВР будут обеспечивать целый район в городе Петропавловске – Камчатском, а, значит, совместная работа трансформаторов целесообразна.

Проблема надежности заключается в обеспечении автоматического введения в работу отключенного трансформатора при выходе из строя работающего. Поэтому был рассмотрен вариант построения схемы питания потребителей, когда в нормальном режиме секционный выключатель отключен, и каждый трансформатор питает свою нагрузку. Такая схема приведена ниже.

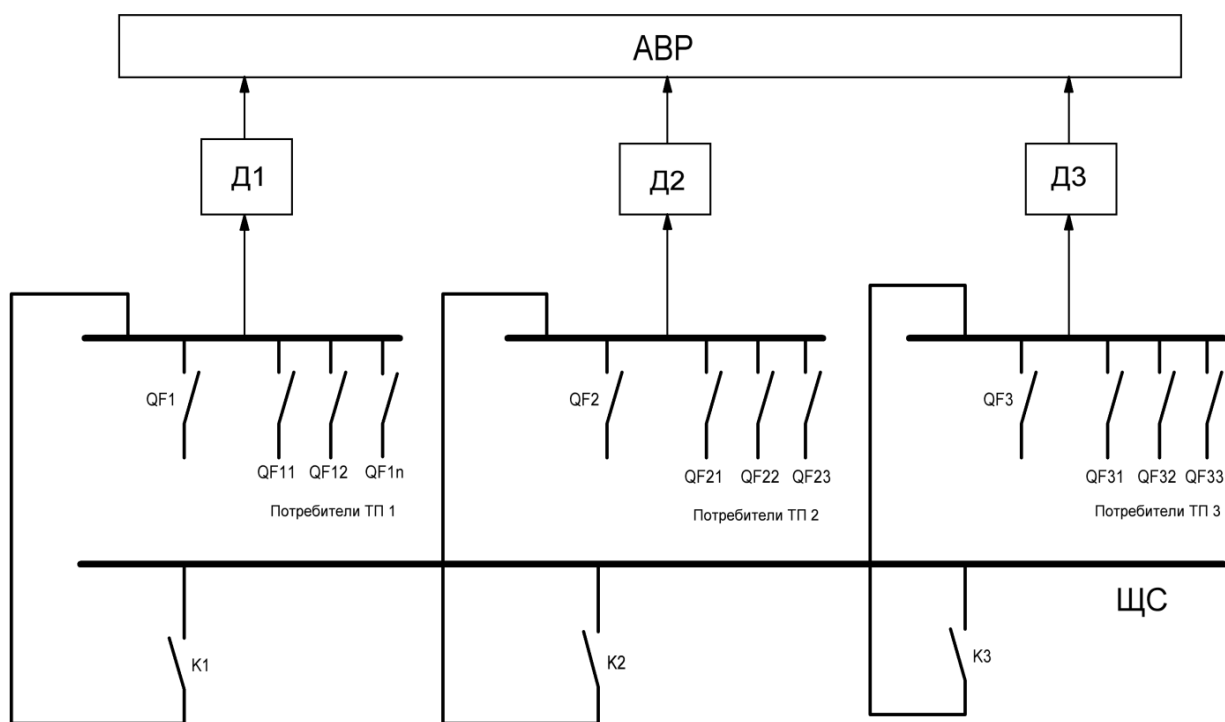


Рис. 12.1. Функциональная схема автоматической системы управления включения резерва

Если в одной из ТП, например ТП 1, произойдет короткое замыкание и она будет отключена действием релейной защиты, то после замыкания выключателя К1, срабатывает датчик Д1 и включается АВР. Потребители ТП 1 станут получать питание от ТП2. Для этого нужно, чтобы трансформатор Т2 имел достаточную мощность для питания потребителей двух секций.

Из схемы резервированного питания следует алгоритм работы АВР, который изображен на рисунке 12.2.

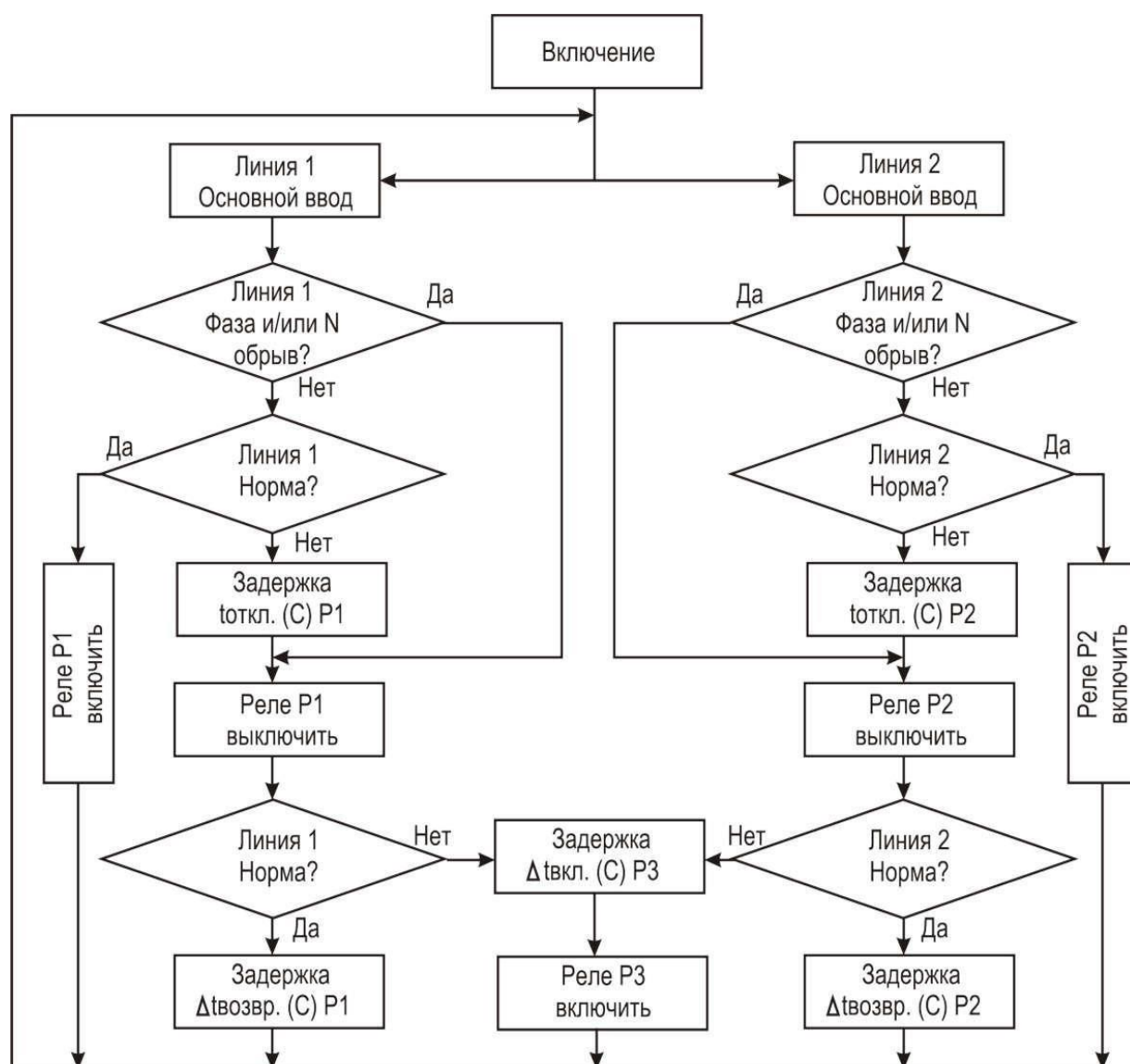


Рис. 12.2. Алгоритм работы устройства АВР

Ввод 1 (Линия 1) – первый основной трехфазный ввод электропитания. Ввод 2 (Линия 2) – второй основной трехфазный ввод электропитания. Оба трехфазных ввода имеют общий нулевой провод «N» (общаянейтраль). Реле P1 – внутреннее реле включения/отключения первого основного ввода, реле P2 – внутренне реле включения/отключения второго основного ввода, реле P3 –

внутренне реле включения/отключения внешнего секционного переключателя (контактора).

Информация о начавшемся режиме потери питания может быть получена двумя путями: непосредственно, от устройства релейной защиты, действующих на отключение выключателей питающих линий, или вспомогательных контактов этих выключателей, а также косвенным путем, используя фиксацию изменения электрических величин до уровня, однозначно свидетельствующего о нарушении электроснабжения, т.е. с помощью датчиков. В данном дипломном проекте будет применяться второй способ, так как он наиболее дешевый. Датчики контроля уровня напряжения и частоты на шинах распределительных устройств в нагрузке будут снимать необходимые данные и информировать систему.

На рисунке 12.3 изображена компьютерная модель транспортировки электрической энергии на примере района Горизонт – Север г. Петропавловска – Камчатского.

От трансформаторных подстанций непосредственно к потребителям отходят воздушные линии или распределительные кабели, проложенные к вводно-распределительным устройствам (вводам) ВРУ или распределительным щитам, находящимся в зданиях потребителей. От вводов или распределительных щитов в домах проложены магистрали (стояки), от которых, в свою очередь, отходят линии распределительной сети по квартирам. Электроэнергия распределяется по распределительным кабельным линиям и преобразуется с помощью силовых трансформаторов. Далее по кабельным линиям передается непосредственно к электроприемникам.

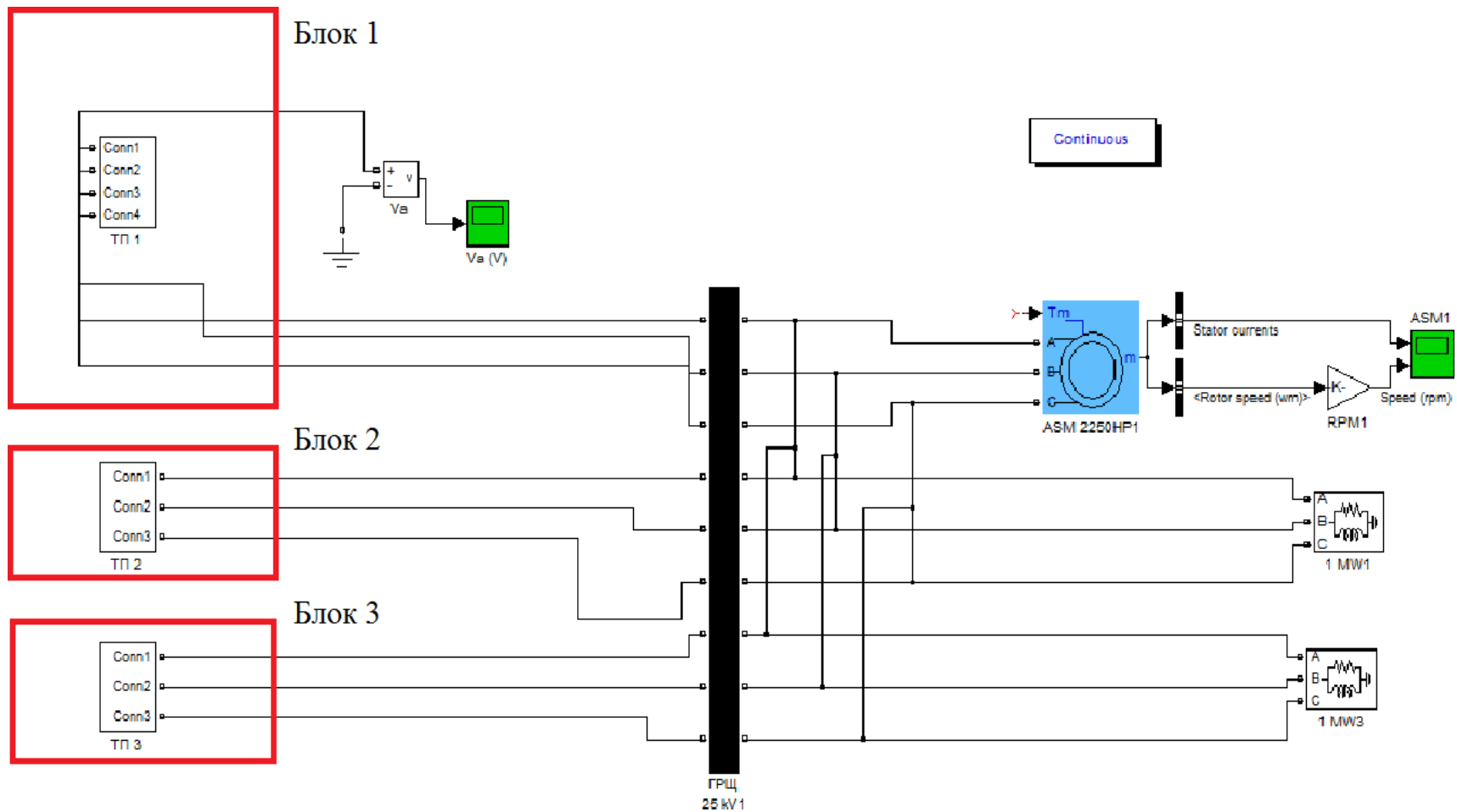


Рис.12.3. Имитационная модель распределения электрической энергии

ХОД РАБОТЫ

Компьютерная модель включения и работы автоматического резерва при авариях была разработана на основе законов электротехники и физических свойств трансформатора, с учетом требований Межгосударственных стандартов, в программе MATLAB с помощью пакета Simulink и Simscape.

Блок 1, представленный на рисунке 12.4, – это ТП, на которой произошла авария – короткое замыкание. Короткое замыкание длится около 2 секунд, после чего автоматически включается аварийный резерв питания и вся нагрузка осуществляется за счет резервов блоков 2 и 3, (ТП 2 и ТП 3 соответственно). Блоки 2 и 3 изображены на рисунках 12.5 и 12.6.

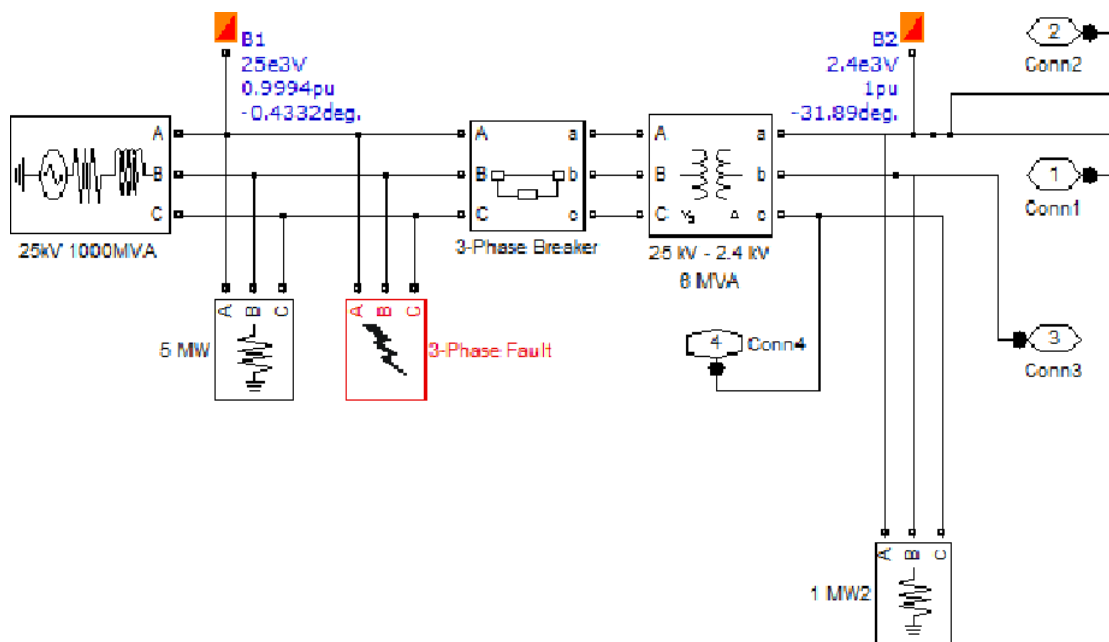


Рис.12.4. Блок 1 имитационной модели

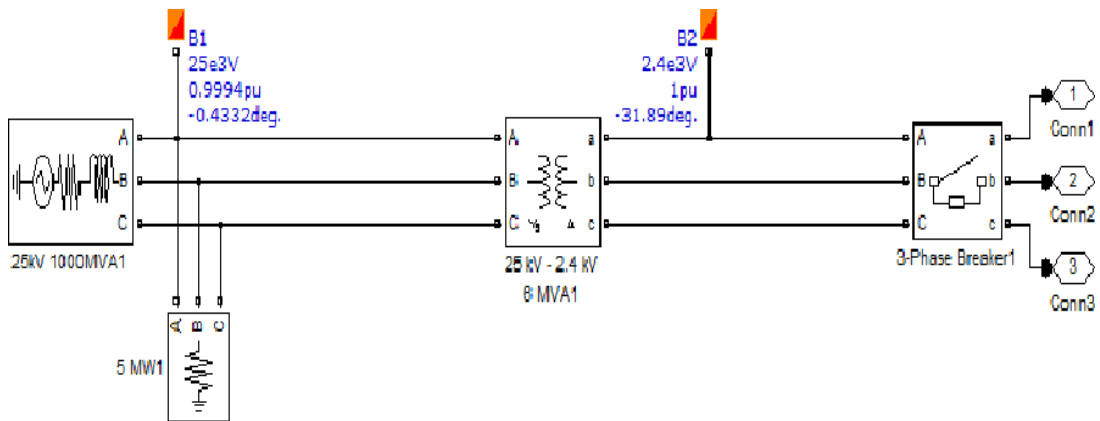


Рис. 12.5. Блоки 2 и 3 имитационной модели

Из рисунка 12.6, на котором изображена осциллограмма, видно, что короткое замыкание случилось в промежутке с 5 до 7 секунд. При коротком замыкании в системе сила тока и напряжение резко падают, при этом срабатывает датчик, который воздействует на переключатель. Линия, получающая питание от ТП 1 обесточивается, нагрузка равномерно распределяется между подключенными источниками (ТП2, ТП3, ..., ТП-n). Время срабатывания выключателя может корректироваться от нескольких сотых до нескольких десятков секунд, в зависимости от системы энергоснабжения.

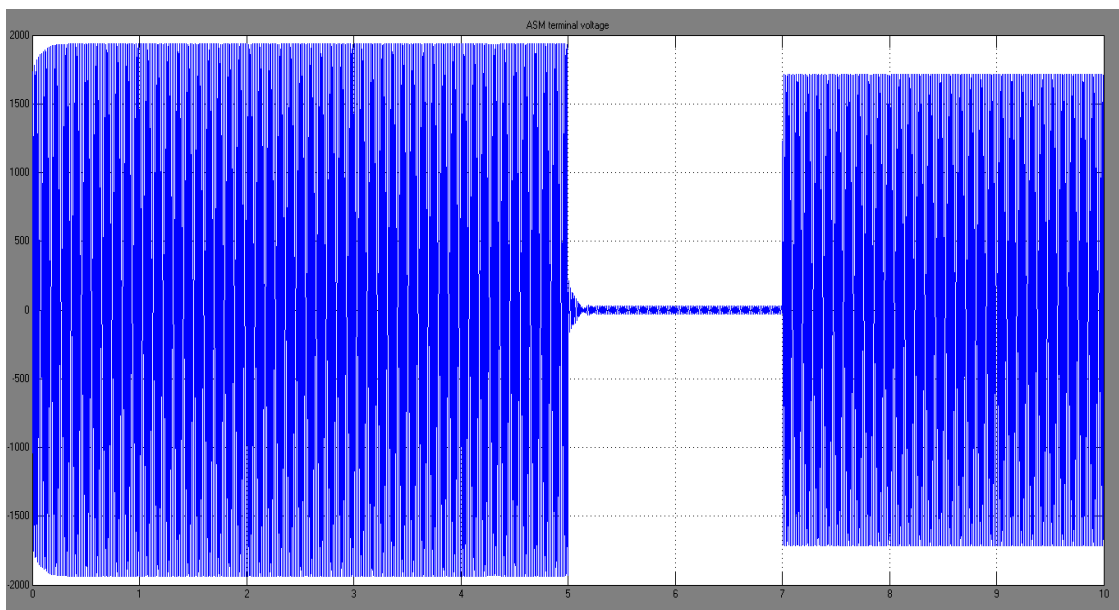


Рис.12.6.Осциллограмма короткого замыкания на ТП 1

На примере вышеуказанного эксперимента при помощи окна настройки блоков (рис.12.4, 12.5,12.7) произвести моделирование для других подстанций г. Петропавловска – Камчатского.

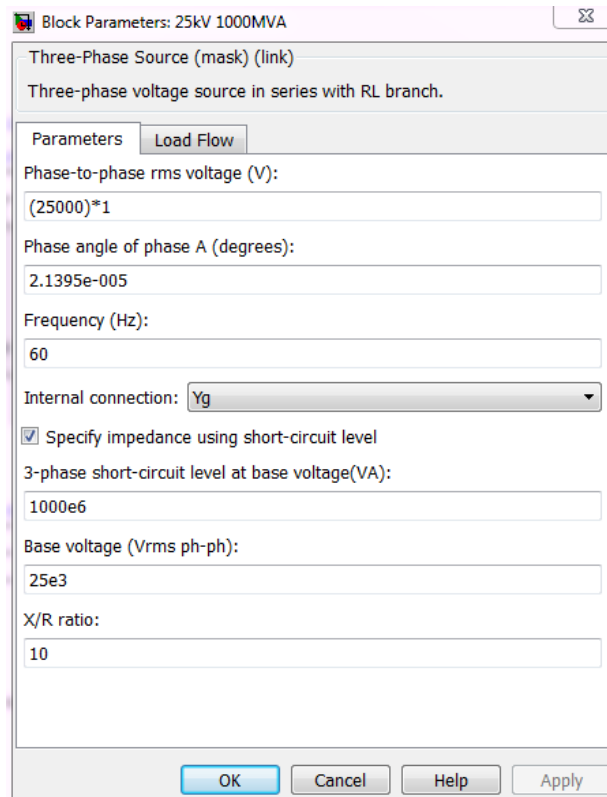


Рис. 12.7.Окно настройки

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каковы особенности распределения электрической энергии.
2. Принципы моделирования технических систем.
3. Типы распределительных устройств.
4. Разработать практическую модель в программе *Matlab*.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №13

Синхронизация генераторов

ЦЕЛИ РАБОТЫ

Изучить методы и получить навыки включения генераторов на параллельную работу и регулирования нагрузки генераторов.

Программа работы

1. Изучить порядок включения на параллельную работу генераторов методом грубой и точной синхронизации.
2. Ознакомиться со стендом учебной электростанции,
3. Произвести на ручном управлении включение генераторов на параллельную работу методом точной синхронизации.

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К РАБОТЕ

Синхронизацией называется приведение к возможной близости частоты, величины, положения вектора напряжения в любой момент времени одной электрической системы по отношению к другой и включение на параллельную работу, т.е. соблюдение следующих условий:

— равенство действующих значений напряжений подключаемого генератора и сети, $U_g = U_c$;

— равенство частот напряжений генератора и сети, $f_g = f_c$;

— совпадение фаз одноименных напряжений генератора и сети.

Для трехфазных систем при этом требуется одинаковый порядок чередования фаз.

Понятие о методе самосинхронизации. При самосинхронизации генератор включается в сеть без возбуждения при частоте вращения, примерно

равной синхронной. Сразу после включения подаётся возбуждение и генератор за 1-2 секунды втягивается в синхронизм.

Включение генератора методом самосинхронизации осуществляется в следующем порядке:

— генератор разворачивается первичным двигателем до частоты вращения, отличающейся от синхронной не более, чем на 2 - 3 %;

— шутовой реостат должен быть установлен на положение, соответствующее возбуждению, которое обеспечит $U_{ГНОМ}$ на холостом ходу, при этом АГП - в отключённом состоянии;

— включается выключатель генератора, и после этого включается АГП (в цепи возбуждения появляется ток).

После включения в сеть генератор кратковременно работает как асинхронный.

Асинхронный момент скольжения подтягивает ротор генератора к синхронной частоте вращения. После подачи возбуждения появляется синхронный момент, который постепенно нарастает по мере увеличения тока в обмотке ротора. В результате вал генератора не испытывает резких механических толчков.

В момент включения в сеть невозбуждённый генератор потребляет значительный реактивный ток. Вращающееся магнитное поле, создаваемое этим током, наводит ЭДС в обмотке ротора генератора. Во избежание повреждения изоляции из-за перенапряжений, обмотка ротора до включения: должна быть замкнута на гасительное сопротивление устройства АГП. Самосинхронизация не приемлема:

а) для турбогенераторов мощностью более 3 МВт, работающих на общие сборные шины генераторного напряжения, если периодическая слагающая переходного тока включения генератора при самосинхронизации превышает номинальный ток более чем в 3,5 раза;

б) если генератор выпал из параллельной работы с остальными генераторами станции или системы, но несёт нагрузку.

Способ точной синхронизации.

Способом точной синхронизации можно включать на параллельную работу генераторы любых типов, а также синхронные компенсаторы.

В момент включения генератора в сеть необходимо строгое выполнение условий синхронизации.

Несоблюдение хотя бы одного из этих условий при точной синхронизации приводит к большим толчкам тока, опасным не только для подключаемого генератора, но и для устойчивой работы энергосистемы. Разность напряжений при включении генератора в сеть допускают равной 5 - 10 % номинального напряжения. Угол расхождения векторов напряжения синхронизируемых источников в момент включения не должен превышать 15 градусов, допустимая разность частот при включении - 0,1 %.

Регулирование активной и реактивной нагрузки генератора.

После включения генератора на параллельную работу производится его загрузка активной и реактивной мощностью.

Из курса «Электрические машины» известна формула активной мощности генератора:

$$P = \frac{E_0 U_0}{x_d} \cdot \cos \theta$$

где E_0 - линейное значение ЭДС генератора, индуцируемой током возбуждения;

U_0 - линейное напряжение на генераторных шинах;

x_d - синхронная реактивность генератора по продольной оси;

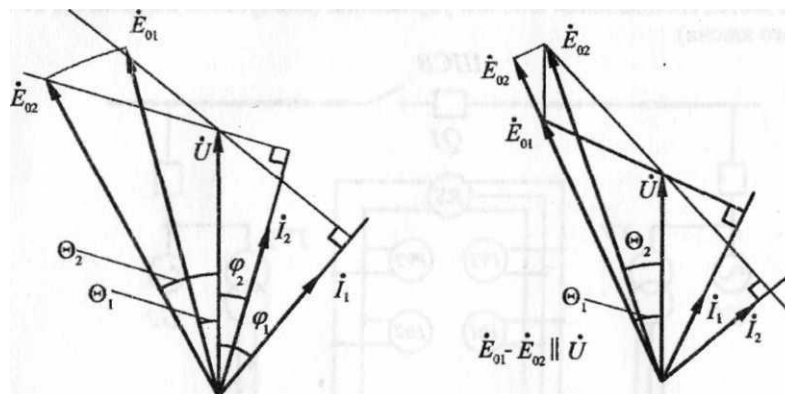
θ - угол между E_0 и U_0 (рис. 13.1).

При холостом ходе генератора угол θ увеличивается. Увеличение активной мощности генератора, выдаваемой в сеть, сопровождается увеличением активной мощности, подводимой к генератору первичным

двигателем, а значит увеличением подачи топлива, отпуска пара в паровую

турбину или воды в гидротурбину. Это увеличивает вращающий момент турбины, ранее уравновешенный синхронным электромагнитным моментом генератора. Возникает динамический (избыточный) вращающий момент, вызывающий ускорение вращения сверх синхронной скорости - увеличивается угол θ . При этом возрастает активная нагрузка генератора до тех пор, пока она не уравновесит момент на валу при некотором новом угле θ_2 . Наступит новый установившийся синхронный режим с увеличением активной нагрузки при $\theta_2 > \theta_1$. При увеличении активной нагрузки уменьшается угол φ между напряжением и током статора и несколько увеличивается ток статора I_1 . Это ясно видно из рис. 13.1 по длине и положению вектора $I_1 \cdot x_d$ до и после увеличения θ .

Рис. 13.1 Увеличение активной мощности и реактивной мощности



Реактивная нагрузка изменяется при изменении тока возбуждения (рис. 13.1 справа). Увеличение или уменьшение тока возбуждения соответственно увеличивает или уменьшает ЭДС генератора E_0 . Увеличение E_0 при неизменной активной нагрузке P , неизменном напряжении и постоянном x_d требует уменьшения угла θ . Это объясняется тем, что увеличение E_0 при неизменных параметрах уравнения активной мощности U и θ должно увеличивать активную мощность генератора P . Подача же механической энергии от турбины остается прежней. В результате возникает тормозящий динамический момент, и скорость вращения ротора замедляется, уменьшая θ до тех пор, пока не наступит равновесие: $P_{турб} = P_{ген}$. Как видно из рис. 13.1, с

увеличением E_0 при $P = const$ увеличивается угол φ и величина тока I_1 . Таким образом, происходит увеличение реактивной нагрузки.

ХОД РАБОТЫ

Щит управления учебной электростанцией состоит из трех панелей, соединенных вместе. В левой части расположена электроаппаратура управления и сигнализации генератором 1 и его первичным двигателем. В правой части щита управления расположена аппаратура управления и сигнализации генератором 2.

Для включения генераторов на параллельную работу предусматривается панель синхронизации, которая состоит из колонки синхронизации и наклонного пульта с ключами управления.

Визуальный контроль за выполнением условий точной синхронизации производится с помощью колонки синхронизации: двух вольтметров, двух частотомеров и синхроскопа, который даёт возможность контролировать совпадение векторов напряжений одноименных фаз (рис. 1.3). Колонка синхронизации подключается специальным ключом управления (синхроскоп включается от отдельного ключа).

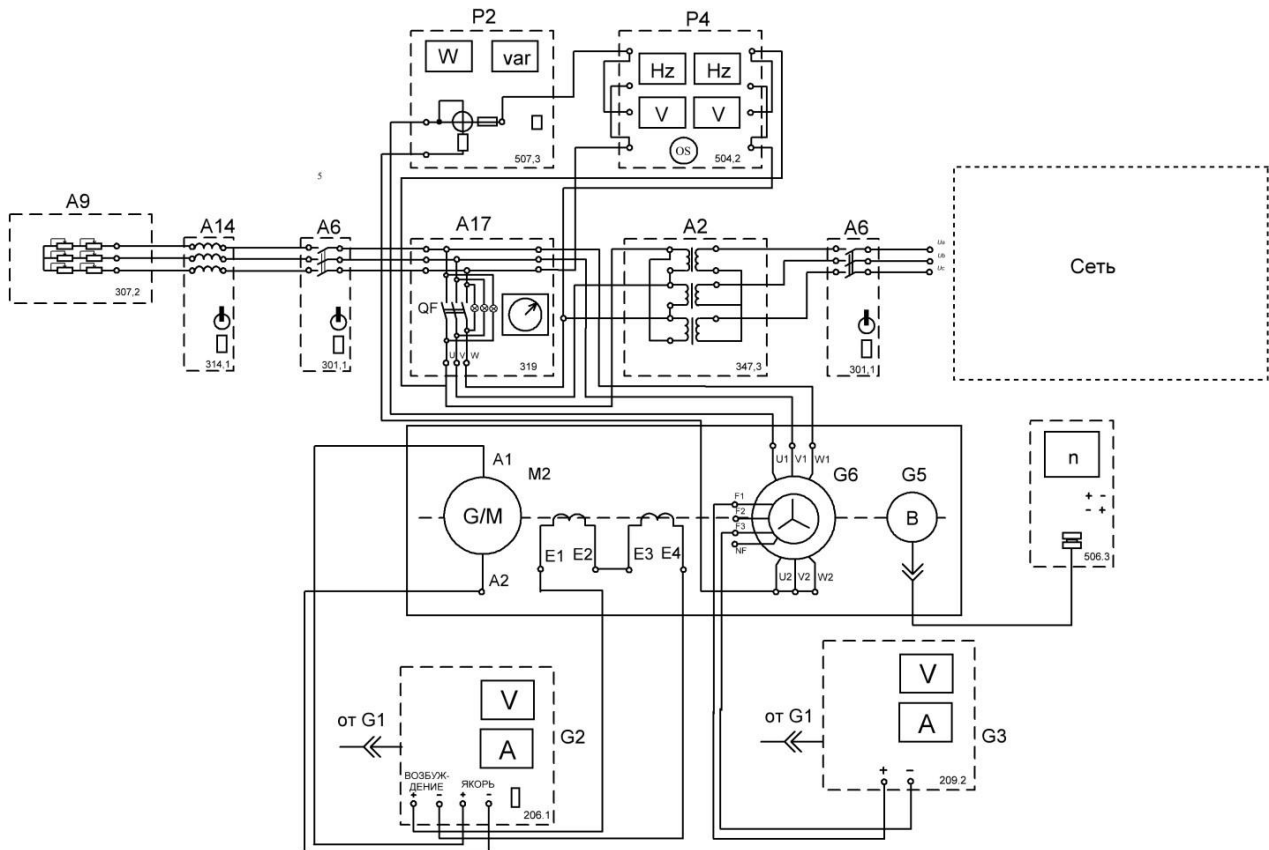


Рис. 13.2. Схема включения измерительных приборов колонки синхронизации

Сами генераторы расположены в подвальном помещении, там же находятся первичные двигатели постоянного тока, трансформаторы тока, сборные шины. Так как пульт панели установлен в лаборатории на первом этаже, а управляемые агрегаты в подвальном помещении, то применяется дистанционное управление.

На нижней вертикальной панели пульта размещены рукоятки регулировочных реостатов (рис. 13.3).

Порядок выполнения работы

На учебной электрической станции производится включение на параллельную работу двух синхронных генераторов методом точной синхронизации. Для выполнения работы необходимо:

1. Осмотреть щит управления учебной электростанции, убедиться, что все ключи и рубильники отключены, реостаты находятся в крайних положениях в соответствии с маркировкой и надписями.

2. Подать напряжение на цепи управления учебной электростанции включением рубильников в силовой сборке лаборатории (производится преподавателем).

3. Включить в работу двигатель постоянного тока:

а) включить ключ управления «первичный двигатель»;

б) постепенно вывести пусковой реостат двигателя в правое положение, наблюдая за показаниями амперметра в цепи якоря двигателя так, чтобы не было значительных толчков пускового тока;

в) убедиться по приборам, что двигатель работает нормально.

4. Включить в работу синхронный генератор 1:

а) отключить АГП ключом;

б) включить рабочее возбуждение генератора ключом управления;

в) реостатом регулирования возбуждения поднять напряжение статора генератора $U = 220 \text{ В}$;

г) реостатом регулировки оборотов двигателя постоянного тока установить частоту генератора $f = 50 \text{ Гц}$.

5. Включить ключ «генераторный выключатель» - подать напряжение на систему шин.

6. Повторить пункты 3,4,5 для генератора 2.

7. Включить ключ управления «колодка синхронизации». По вольтметрам и частотомерам колодки синхронизации убедиться в совпадении напряжений и частот двух генераторов.

8. Включить ключ «синхроскоп». Произвести более точную регулировку оборотов генераторов 1 и 2. При скорости вращения стрелки синхроскопа 3 -5 об/мин, когда стрелка подходит к нулю, производится включение шиносоединительного выключателя (ШСВ). Команда на включение ключа ШСВ подаётся с небольшим опережением до подхода стрелки синхроскопа к нулю с учетом собственного времени выключателя так, чтобы в момент касания контактов выключателя стрелка синхроскопа была на нуле.

9. После успешного включения генератора на параллельную работу стрелка синхроскопа останавливается. Таким образом, два генератора оказываются включенными на параллельную работу и можно производить их загрузку активной и реактивной мощностью.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Почему нельзя включать методом самосинхронизации на параллельную работу генераторы, выпавшие из синхронизма.
2. Что такое напряжение и частота биения.
3. Какие приборы входят в состав колонки синхронизации.
4. Какие отклонения допустимы по частоте, напряжению, углу расхождения напряжения при включении генераторов на параллельную работу по методу точной синхронизации.
5. Как регулируется активная и реактивная мощность на валу генератора.

ЛИТЕРАТУРА

Основная литература:

1. Баранов А.П. Судовые автоматизированные электроэнергетические системы.– СПб: Судостроение, 2005.– 254с.
2. Алексеев Н.А., Макаров С.Б., Портнягин Н.Н. Микропроцессорные системы управления электроэнергетическими установками промысловых судов.– М.: Колос, 2008.– 132с.

Дополнительная литература:

3. Богомолов В.С. Судовые электроэнергетические системы и их эксплуатация – М.: Мир, 2006. – 122с.
4. Труднев С.Ю. Разработка и исследование модели устройства активной защиты генераторного агрегата от кратковременных перегрузок // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова – г.Санкт-Петербург, — 2014. — № 2. — С. 23- 31.
5. Международная конвенция о подготовке и дипломировании моряков и несении вахты 1978 г.(ПДНВ-78) с поправками (консолидированный текст), – СПб.: ЗАО«ЦНИИМФ», 2010г. – 806с.
6. Правила классификации и постройки морских судов. – СПб: Транспорт, 2010 – 280 с.
7. Сергиенко Л.И., Миронов В.В. Электроэнергетические системы морских судов.М.: Транспорт, 1991. – 201с.