**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 7.**

**РУЧНОЕ/АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ НОРМАЛЬНЫМ РЕЖИМОМ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА, РАБОТАЮЩЕГО ПАРАЛЛЕЛЬНО С ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ БЕСКОНЕЧНОЙ МОЩНОСТИ**

**1 Цель работы**

Изучение нормальных режимов работы синхронного генератора, управление подключением генератора к системе бесконечной мощности, регулирование активной и реактивной мощностей генератора, управление отключением генератора от электрической системы.

**2 Теоретическая часть**

Системой бесконечной мощности, к которой подключается синхронный генератор, называется такая система, которая характеризуется неизменностью напряжения на шинах по амплитуде и частоте, т.е.  и . Практически это означает, что суммарная мощность всех синхронных генераторов, работающих в этой сети настолько велика по сравнению с мощностью подключаемого синхронного генератора, что изменение режима работы подключаемого генератора не влияет на напряжение и частоту сети.

Напряжение параллельно работающего генератора равно напряжению сети на зажимах генератора (рисунок 7.1). Для простоты предположим также, что включаемая на параллельную работу машина является неявнополюсной и сопротивление якоря . Тогда ток якоря машины определяется простой зависимостью

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (7.1) |

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| *а)* | *б)* |

Рисунок 7.1 – Включение генератора на параллельную работу:

*а*) схема включения; б) схема замещения.

**Изменение реактивной мощности. Режим синхронного компенсатора.**

Предположим, что при включении на параллельную работу условия синхронизации возбужденного генератора были соблюдены в точности, т.е.  или °(рисунок 7.2, *а*). Тогда, согласно равенству (7.1), , т.е. генератор продолжает работать вхолостую – не потребляет и не отдает никакой мощности (в его статорной обмотке не будет никакого тока).

Увеличим ток возбуждение синхронного генератора, работающего параллельно с мощной сетью для того, чтобы он взял на себя нагрузку. При этом ЭДС генератора станет больше напряжения сети  на величину , вследствие чего в обмотке генератора потечет уравнительный ток  отстающий[[1]](#footnote-1) от  на 90° (рисунок 7.2, *б*). Кроме того этот уравнительный ток отстающий от  и . Таким образом генератор будет отдавать в сеть чисто индуктивный ток и реактивную мощность .

С точки зрения воздействия на сеть генерирование реактивной мощности равносильно потреблению из сети емкостного тока, т.е. синхронный генератор в этом случае подобен конденсатору.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
| *а*) | *б*) | *в*) |

Рисунок 7.2 – Векторные диаграммы при параллельной работе синхронного генератора с мощной сетью: а) при включении генератора на параллельную работу; б) при увеличении возбуждения генератора; в) при уменьшении возбуждения генератора.

Если ток возбуждения уменьшить, так что < (рисунок 7.2, *в*), то в обмотке генератора потечет уравнительный ток  отстающий от  на 90°. Но уравнительный ток будет опережать  и , следовательно генератор будет отдавать в сеть емкостной ток и потреблять из сети реактивную мощность, т.е. его влияние на сеть подобно действию индуктивности.

Таким образом, изменение тока возбуждения синхронной машины вызовет в ней только реактивные токи или изменение реактивного тока и реактивной мощности. При  синхронная машина называется **перевозбужденной**, а при  **недовозбужденной**. При равенстве активной мощности нулю перевозбужденная синхронная машина по отношению к сети эквивалентна емкости, а недовозбужденная – индуктивности.

Синхронная машина, не несущая активной нагрузки и загруженная реактивным током, называется **синхронным компенсатором**. Такие компенсаторы применяются для повышения коэффициента мощности и поддержания нормального уровня напряжения в сетях.

Если, например, такой компенсатор установить в районе большой промышленной нагрузки и перевозбудить его, то он будет снабжать асинхронные двигатели промышленных предприятий реактивной мощностью, питающая сеть и генераторы электрических станций будут полностью или частично разгружены от этой мощности, коэффициент мощности генераторов и сети повысится, потери мощности и падения напряжения в них уменьшатся и напряжение сети у потребителей сохранится на нормальном уровне.

**Изменение активной мощности. Режимы генератора и двигателя.**

Из сказанного выше следует, что изменение тока возбуждения не вызывает появления активной нагрузки или ее изменения. Чтобы включенная на параллельную работу машина приняла на себя активную нагрузку и работала в режиме генератора, необходимо увеличить движущий механический вращающий момент на ее валу, увеличив, например, поступление воды или пара в турбину. 

Тогда равенство моментов на валу нарушится, ротор генератора, а следовательно, и вектор ЭДС генератора  забегут вперед на некоторый угол  – угол нагрузки (рисунок 7.3, *а*). При этом возникнет ток , смотри равенство (7.1), отстающий, как и ранее, от  на 90°. Но, как следует из рисунка 7.2, *а*, в данном случае -90°<φ<90° и

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | , | (7.2) |

т.е. машина отдает в сеть активную мощность.

Если, наоборот, притормозить ротор машины, создав на его валу механическую нагрузку, то ЭДС  отстанет от  на некоторый угол , ток  будет отставать от  на 90°, а от  на угол 90°<φ<270°. При этом мощность машины

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (7.3) |

и машина будет работать в режиме двигателя, потребляя активную мощность из сети (рисунок 7.3, *б*).

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| а) | б) |

Рисунок 7.3 – Векторные диаграммы при параллельной работе синхронного генератора с мощной сетью: а) при увеличении механического вращающего момента на ее валу; б) при уменьшении механического вращающего момента на ее вал.

Как следует из рисунка 7.3, у генератора вектор  отстает от вектора , а у двигателя – наоборот. Угол нагрузки  в первом случае будем считать положительным, а во втором – отрицательным.

В данной лабораторной работе моделируется одномашинная электрическая система, работающая в нормальном режиме параллельно с электрической системой бесконечной мощности.



Рисунок 7.4 – Принципиальная схема синхронного генератора, работающего параллельно с системой бесконечной мощности

С помощью специальной компьютерной программы синхронный генератор G2 автоматически подключается к системе бесконечной мощности G1 методом точной синхронизации и нагружается активной мощностью (воздействуя на турбину Т) и реактивной мощностью (изменяя ток возбуждения в обмотке возбуждения GF. После получения от оператора команды на отключение происходит обратный процесс – генератор разгружается и отключается от электрической системы, возбуждение снимается, приводной двигатель останавливается.

Таким образом, в данной работе моделируется комплексное управление электрической системой в нормальном режиме работы – управление подключением генератора к системе бесконечной мощности, регулирование активной и реактивной мощностей генератора, управление отключением генератора от электрической системы.

**3 Оборудование**

Таблица 7.1 – Перечень аппаратуры, используемой в лабораторной работе № 7

| Обозначение | Наименование | Тип | Параметры |
| --- | --- | --- | --- |
| А1 | Трехполюсный выключатель | 301.1 | 400 В ~; 10 А |
| A2 | Трехфазная трансформаторная группа | 347.3 | 3×80 В⋅А (звезда) / 220, 225, 230 В / 133, 220, 230, 235, 240, 245 В |
| А3 | Модель линии электропередачи | 313.2 | 400 В ~; 3 × 0,5 А |
| A4 | Трехфазная трансформаторная группа | 347.4 | 3×80 В⋅А / 133, 220, 230, 235, 240, 245 В / (треугольник) 220, 225, 230 В |
| A5 | Блок синхронизации | 319 | 400 В ~; 10 А  3 индикаторные лампы;  синхроноскоп |
| А6 | Блок измерительных трансформаторов  тока и напряжения | 401.1 | 600 В / 3 В  (тр-р напряж.)  0,3 А / 3 В  (тр-р тока) |
| А7 | Терминал | 304 | 6 розеток с  8 контактами;  6×8 гнезд |
| А8 | Блок ввода-вывода цифровых сигналов | 331 | 8 входов типа  «сухой контакт»;  8 релейных выходов |
| А9 | Коннектор | 330 | 8 аналог. диф. входов;  2 аналог. выхода;  8 цифр. входов/  выходов |
| А10 | Персональный компьютер | 550 | IBM совместимый,  Windows 95-XP,  монитор, мышь, клавиатура,  плата сбора информации  PCI 6024E |
| G1 | Трехфазный источник питания | 201.2 | 400 В ~; 16 А |
| G2 | Источник питания двигателя постоянного тока | 206.1 | Цепь якоря  0…250 В −; 3 А  Цепь возбуждения  200 В −; 1 А |
| G3 | Источник постоянного напряжения | 214.1 | 0…125 В −; 3 А |
| G4 | Машина переменного тока | 102.1 | 100 Вт / ~ 230 В /  1500 мин−1 |
| G5 | Преобразователь угловых перемещений | 104 | 6 вых. каналов / 2500 импульсов  за оборот |
| M1 | Машина постоянного тока | 101.2 | 90 Вт / 220 В /  0,56 А (якорь) /  2×110 В / 0,25 А (возбуждение) |
| P1 | Измеритель мощностей | 507.2 | 15; 60; 150; 300; 600 В /  0,05; 0,1; 0,2; 0,5 А. |
| P2 | Измеритель напряжений и частот | 504.2 | 2 вольтметра 0…500 В ~  2 частотомера  45…55 Гц;  220 В ~ |
| P3 | Указатель частоты вращения | 506.2 | 2000…0…2000 мин−1 |

**4 Указание по технике безопасности:**

1. К работе на стендах допускаются студенты, прошедшие инструктаж по технике безопасности при выполнении работ в лабораториях кафедры «Электроснабжения и эксплуатации электрооборудования» и ознакомившиеся с настоящими методическими указаниями. Прохождение инструктажа по технике безопасности фиксируется преподавателем в специальном журнале.

2. Лабораторная работа должна выполняться не менее чем двумя студентами.

3. Сборку схемы осуществлять исправными соединительными проводами, используя при этом приведенные в лабораторной работе принципиальные схемы экспериментов.

4. Собранная цепь проверяется преподавателем и может включаться только по его разрешению и при его наблюдении. О включении напряжения предупреждают всех членов бригады, выполняющих работу.

5. Изменения схемы производят только при выключенном напряжении на стенде, а вновь собранная схема перед подачей на неё напряжения проверяется преподавателем.

6. По окончании испытания или при перерыве в работе схему отключают от напряжения питания. Разборку схемы осуществляют по разрешению преподавателя.

7. При возникновении неисправностей, а также в случае появления запаха, свидетельствующего о возгорании электрических проводов или оборудования, следует незамедлительно прекратить работу с лабораторным стендом, выключив его из сети, и обратиться к преподавателю или обслуживающему персоналу.

**5 Методика и порядок выполнения работы**

*Выполняем подготовительные операции.*

1. Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.

2. Соберите электрическую схему соединений тепловой защиты машины переменного тока (рисунок П.4.1).

3. Соедините гнезда защитного заземления "Заземление" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «РЕ» источника G1.

4. Соедините вилки питания 220 В устройств, используемых в эксперименте, сетевыми шнурами с розетками удлинителя.

5. Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений (рисунок 7.5).

6. Переключатели номинальных фазных напряжений трехфазных трансформаторных групп А2 и А4 установите соответственно равными 220 В. Параметры линии электропередачи А3 установите следующими: R = 50 Ом, L/RL = 0,9 Гн/ 24 Ом, С1=С2=0 мкФ.

*Готовим аппаратуру к проведению эксперимента в ручном режиме.*

1. Установите в положение «РУЧН.» переключатели режимов работы:

– трехполюсных выключателей А1;

– источника питания двигателя постоянного тока G2;

– блока синхронизации А5;

– источник постоянного напряжения G3.

Тумблеры делителей напряжения коннектора А9 установите в положение «1:1». Тумблер выбора режима работы общей точки аналоговых входов коннектора А9 установите в положение «AIGND».

Тумблеры выбора режима работы цифровых входов выходов блока А8 ввода-вывода цифровых сигналов установите в положение «выход» (тумблер вниз) для контактов DIO0…DIO3, в положение «вход» (тумблер вверх) для контактов DIO4…DIO7.

2. Включите выключатели «СЕТЬ»:

– трехполюсных выключателей А1;

– источник постоянного напряжения G3;

– измерителя мощностей Р1;

– указателя частоты вращения Р3;

– блока синхронизации А5.

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

4. Приведите в рабочее состояние персональный компьютер А10 и запустите программу «Автоматическое управление – 2».

5. Включите выключатель А1 нажатием на кнопку «ВКЛ.» на его передней панели.

6. Запустите сбор данных в ручном режиме, нажав для этого виртуальную кнопку «Запустить» Пуск или выбрав соответствующий пункт в меню «Действия».

7. Наблюдая изменения параметров генератора и сети по виртуальному графопостроителю программы, включите генератор на параллельную работу с сетью методом точной синхронизации. Для этого выполните следующие действия:

7.1 Включите источник G2, нажав на кнопку «ВКЛ.» на его передней панели. Вращая регулировочную рукоятку источника G2, установите частоту вращения двигателя М1 (генератора G4) 1500 мин–1.

7.2 Включите возбудитель G3, нажав на кнопку «ВКЛ.» на его передней панели. Вращая регулировочную рукоятку возбудителя G3, установите напряжение между фазами (линейное) генератора G4 равным линейному напряжению сети. Равенство напряжений и частот генератора и сети определяйте по измерителю Р2.

7.3 Обеспечьте условия синхронизации согласно таблицы 7.2 и подключите генератор к сети нажатием на кнопку «ВКЛ.» блока А5 синхронизации.

8 Нагрузите генератор активной мощностью, вращая регулировочную рукоять источника G2. Значения активной мощности наблюдайте по измерителю P1 и по виртуальному прибору на экране монитора.

9. Нагрузите генератор реактивной мощностью, вращая регулировочную рукоять возбудителя G3. Значения реактивной мощности наблюдайте по измерителю P1 и по виртуальному прибору на экране монитора.

*Эксперимент в ручном режиме окончен.*

Остановите силовой агрегат, выполнив следующие действия:

1. Разгрузите генератор по активной и реактивной мощностям, вращая регулировочные рукоятки источника G2 и возбудителя G3 соответственно.

2. Отключите генератор от сети, нажав для этого кнопку «ОТКЛ.» блока А5 синхронизации.

3. Вращая регулировочную рукоятку возбудителя G3, снимите возбуждение с генератора G4. Отключите возбудитель G3 нажатием на кнопку «ОТКЛ.» на его передней панели.

4. Вращая регулировочную рукоятку источника G2 против часовой стрелки до упора, остановите двигатель М1 (генератор G4). Отключите источник G2 нажатием на кнопку «ОТКЛ.» на его передней панели.

5. Остановите сбор данных, нажав для этого виртуальную кнопку «Остановить» Стоп или выбрав соответствующий пункт из меню «Действия».

*Готовим аппаратуру к проведению эксперимента в автоматическом режиме.*

1. Установите в положение «АВТ.» переключатели режимов работы:

– блока синхронизации А5;

– источника питания двигателя постоянного тока G2;

– источник постоянного напряжения G3.

2. Включите выключатель «СЕТЬ» блока ввода-вывода цифровых сигналов А8.

3. Выберите автоматический режим работы, нажав для этого соответствующую виртуальную кнопку Автоматический на экране компьютера.

4. Вращая виртуальные регулировочные рукоятки, задайте уставки активной и реактивной мощностей.

5. Задайте уставки управления, нажав на соответствующую виртуальную кнопку Настройки. Например, оставьте уставки, заданные по умолчанию.

6. Нажмите на виртуальную кнопку «Запустить» Пуск.

7. Нажмите на виртуальную кнопку программы «ПУСК». Генератор должен разогнаться, возбудиться, подключиться к сети и набрать заданные активную и реактивную мощности.

8. Вращая виртуальные регулировочные рукоятки, измените уставки мощностей генератора и наблюдайте изменение их значений.

9. Нажмите на виртуальную кнопку программы «СТОП». Генератор должен разгрузиться по активной и реактивной мощностям, отключиться от сети, плавно снизить возбуждение и остановиться.

10. Нажмите на виртуальную кнопку программы «Остановить» Стоп.

11. Нажмите на виртуальную кнопку программы «Отобразить записанный процесс» Нартсовать. На экране графопостроителя появятся зависимости записанных режимных параметров от времени. Проанализируйте их.

12. Для проведения исследования влияния параметров синхронизации (скольжения, разницы напряжений генератора и сети, угол или время опережения и др.) на процесс синхронизации повторяйте эксперимент, задаваясь требуемыми значениями упомянутых параметров.

13. По завершении экспериментов отключите источник G1 и выключатели «СЕТЬ» задействованных блоков. Закройте программу «Автоматическое управление - 2».

Таблица 7.2 – Условия синхронизации синхронного генератора на параллельную работу

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Условие | Средство  контроля | Критерий  выполнения  условия | Критерий  не выполнения условия | Рекомендации по выполнению  условия |
| Равенство напряжений синхронного генератора и сети | Вольтметры со стороны синхронного генератора и сети | Напряжения со стороны синхронного генератора и сети равны | Напряжения со стороны синхронного генератора и сети неравны | Регулировать напряжения возбуждения синхронного генератора до момента выравнивания напряжений со стороны синхронного генератора и сети |
| Одинаковый порядок чередования фаз напряжений синхронного генератора и сети | Лампы в разрывах фаз | Лампы в фазах периодически одновременно загораются и гаснут (частоты напряжений не равны); горят (напряжения в противофазе); не горят (напряжения синфазные) | Лампы в фазах периодически неодновременно загораются и гаснут, создавая эффект “кругового огня” | Переключить любые две фазы синхронного генератора |
| Равенство частот синхронного  генератора и сети | Синхроноскоп | Стрелка синхроноскопа неподвижна. | Стрелка синхроноскопа вращается | Регулировать частоту вращения синхронного генератора |
| Синфазность  напряжений  синхронного  генератора и сети | Синхроноскоп | Стрелка синхроноскопа располагается вертикально напротив риски | Стрелка синхроноскопа отклонена от вертикального положения | Регулировать частоту вращения синхронного генератора |



Рисунок 7.5 – Электрическая схема соединений



Продолжение рисунка 7.5 – Электрическая схема соединений

На рисунке 7.6 приведены отображение результатов эксперимента на экране монитора. Условия эксперимента соответствуют рекомендованным в описании.

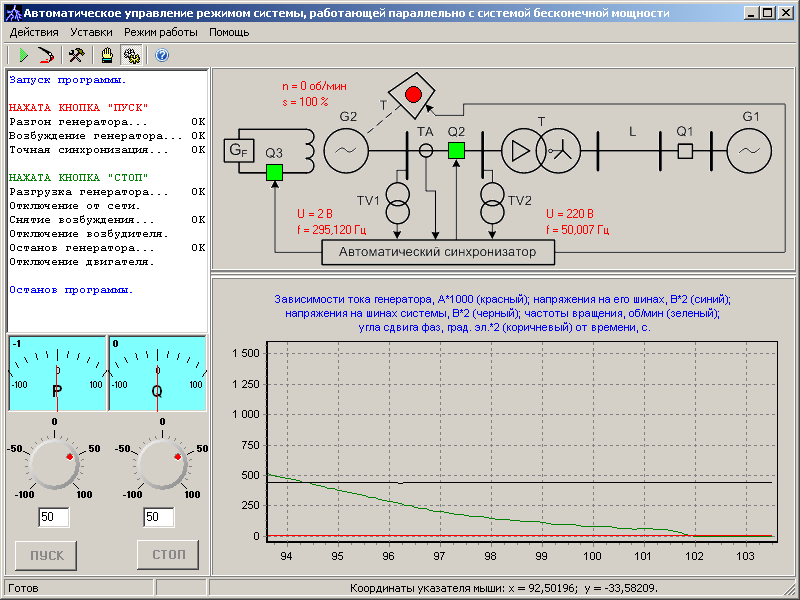
******

Рисунок 7.6 – Программа «Автоматическое управление – 2»

*Ниже перечислены некоторые полезные замечания.*

Для удобства определения значений величин по графикам на экране отображаются текущие координаты указателя мыши.

На экране отображаются состояния выключателей источника G2, возбудителя G3 и блока А5 синхронизации.

На экране отображается последовательность процесса автоматического управления.

На экране имеется виртуальный синхроноскоп.

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

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

Запись процессов производится программой в циклический буфер. Менять его параметры можно на вкладке «Запись процессов» в окне уставок управления.

Уставку скольжения задавайте в диапазоне 0,1…1,0 %.

Необходимо учитывать, что имеются погрешности определения режимных параметров, которые могут повлиять на выбор момента включения выключателя блока А5 синхронизации, кроме того, время включения этого выключателя также может колебаться в небольших пределах. Поэтому момент включения генератора в сеть носит вероятностный характер, другими словами, при одних и тех же уставках характер процессов в схеме может быть несколько различным. В связи с этим для более точной картины следует проводить несколько опытов с одними и теми же уставками параметров управления.

**6 Содержание отчета**

Каждый студент, выполнивший лабораторную работу должен оформить отчет и предоставить его преподавателю. В соответствии с общими требованиями отчет должен содержать:

1. Название и цель лабораторной работы;

2. Перечень используемой аппаратуры

3. Электрическая схема соединений;

4. Порядок выполнения работы;

5. Выводы по работе.

**7 Контрольные вопросы**

1. Чем характеризуется система бесконечной мощности.

2. Чему равен ток якоря синхронной машины?

3. За счет чего достигается изменение реактивной мощности синхронной машины.

4. Векторная диаграмма при перевозбужденной синхронной машины.

5. Векторная диаграмма при недовозбужденной синхронной машины.

6. Для каких целей служат синхронные компенсаторы.

7. За счет чего достигается изменение активной мощности синхронной машины.

8. Векторная диаграмма синхронной машины при увеличении механического вращающего момента на ее валу.

9. Векторная диаграмма синхронной машины при уменьшении механического вращающего момента на ее валу.

1. Напомним, что для того чтобы определить взаимное расположение двух векторов, обычно говорят, что один из них *опережает* или *отстает* от другого. При этом опережающим считается вектор, который при вращении против часовой стрелки раньше пересечет вертикальную ось. Горизонтальная ось – токовая ось. Ток отстает от напряжения при индуктивной нагрузке и ток опережает напряжения при емкостной нагрузке. [↑](#footnote-ref-1)