**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 9**

**РУЧНОЕ/АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ РЕЖИМОМ АВТОНОМНО РАБОТАЮЩЕГО СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА**

**1 Цель работы**

Изучить влияния режимов работы на частоту и напряжение автономно работающего синхронного генератора.

**2 Теоритическая часть**

Синхронные генераторы (СГ) часто используются как альтернативные источники питания в системах бесперебойного электроснабжения, либо как основные источники там, где отсутствует промышленная электрическая сеть.

Ранее мы рассматривали СГ параллельно работающий с системой бесконечной мощности у которой напряжение и частота остаются постоянными при любых изменениях режима работы СГ. В такой системе изменение тока возбуждения приводило к изменению реактивной мощности СГ и никак не влияло на напряжение системы, изменение частоты вращения турбины – к изменению активной мощности и никак не влияло на частоту системы.

Однако напряжение на выходе автономного синхронного генератора сильно зависит от величины и характера подключённой нагрузки.

Если не учитывать активное сопротивление обмотки статора (ввиду малости), то напряжение на зажимах неявнополюсного СГ можно выразить в следующей форме

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | , | (9.1) |

где  – ЭДС синхронного генератора, пропорциональная току возбуждения (току ротора);  – ток статора (ток нагрузки);  – синхронное индуктивное сопротивление.

При постоянном значении ЭДС (тока возбуждения) значение напряжения СГ, работающего на изолированную от энергосистемы нагрузку, сильно зависит от абсолютного значения тока нагрузки и его фазы относительно напряжения (коэффициента мощности ).

**Внешняя характеристика генератора.**

Внешними характеристиками синхронного генератора называют зависимость напряжения на зажимах генератора от тока нагрузки (рисунок 9.1) при неизменном токе возбуждения, частоте и , т.е.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | , при ,  и . | (9.2) |

Снимают внешние характеристики при значениях  – активной,  (φ>0) – индуктивной и  (φ<0) – емкостной нагрузке.

Вид внешних характеристик синхронного генератора объясняется характером действия реакции якоря.



Рисунок 9.1 – Внешняя характеристика генератора

1) При активной (φ=0) и активно-индуктивной нагрузке (φ>0) с увеличением тока нагрузки напряжение СГ уменьшается. Это связано с размагничивающим действием реакции якоря.

2) При активно-ёмкостной нагрузке (φ<0) напряжение увеличиваться, что объясняется намагничивающим действием реакции якоря.

*Реакцией якоря называется* воздействие поля якоря (статора) на поле возбуждая. Основной магнитный поток машины – это поток возбуждения, создаваемый обмоткой ротора. При отсутствии нагрузки этот поток является единственным потоком машины. При нагрузке синхронного генератора по обмотке статора (якоря) проходит ток *I*, который создает свой магнитный поток. Этот поток оказывает значительное влияние на магнитное поле машины в целом, изменяя его по величине или искажая его распределение.

Реакция якоря зависит от нагрузки. При активной и индуктивной нагрузке реакция якоря является намагничивающей, а при емкостной – размагничивающей.

*Выходное напряжение автономного генератора можно регулировать* или стабилизировать путём управления током возбуждения. На практике это часто делают с помощью импульсного релейного регулятора, подключающего обмотку возбуждения к источнику питания при снижении напряжения ниже заданного уровня и отключающего её при превышении этого уровня.

Если СГ работает в энергетической системе, т.е. совместно с другими генераторами, то уровень напряжения на его выводах зависит не только от собственного режима работы, но и от режима работы остальных генераторов. Причем если суммарная мощность генераторов значительно больше мощности рассматриваемого СГ (рассматриваемый СГ работает параллельно с системой бесконечной мощности), то при всех изменениях режима его работы напряжение будет оставаться практически постоянным. Если при этом изменить ток возбуждения СГ (не меняя активную мощность), то изменятся реактивная мощность. Причем при малых значениях тока возбуждения СГ потребляет реактивную мощность из системы, а при больших – генерирует. Данный вопрос рассматривался в лабораторной работе № 7 Ручное/автоматизированное управление нормальным режимом синхронного генератора, работающего параллельно с электрической системой бесконечной мощности. При токе возбуждения меньше некоторого значения или при полной потере возбуждения СГ выпадает из синхронизма (нарушение статической устойчивости). Этот вопрос рассматривался в лабораторной работе № 8 Ручное/автоматизированное управление асинхронными режимами синхронного генератора, работающего параллельно с электрической системой бесконечной мощности.

**Регулировочная характеристика генератора.**

Регулировочная характеристика представляет собой зависимость тока возбуждения от тока нагрузки при неизменных значениях напряжения на зажимах генератора, скорости вращения и , т.е.:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | , при ,  и . | (9.3) |

Характеристика, показывающая, как следует изменить ток возбуждения СГ для поддержания постоянного напряжения при изменении тока нагрузки.

Вид регулировочных характеристик показан на рисунке 9.2.



Рисунок 9.2 – Регулировочная характеристика генератора

Вид регулировочных характеристик также объясняется характером действия реакции якоря.

При индуктивной нагрузке, т.е. при отстающем токе от напряжения, (кривая 1 на рисунке 9.2) реакция якоря является размагничивающей и для компенсации ее влияния на напряжение с увеличением тока нагрузки *I* необходимо значительно увеличивать ток возбуждения . При чисто активной нагрузке (кривая 2) размагничивающая реакция якоря слабее и требуется меньшее увеличение . При емкостной нагрузке, т.е. при опережающем токе (кривая 3) реакция якоря намагничивающая и с увеличением тока нагрузки *I* необходимо уменьшить ток возбуждения .

При наличии автоматического регулятора напряжения ток возбуждения изменяется автоматически, в зависимости от нагрузки генератора.

**Регулирование частоты вращения турбины**

В отличие от системы, работающей параллельно с электрической сетью бесконечной мощности, где частота системы определяется частотой этой сети, в автономной электрической системе частота таким образом не поддерживается и возникает необходимость ее регулирования.

При нарушении баланса между мощностью турбины и нагрузкой генератора происходит изменение частоты.

Конструктивные параметры вращающихся агрегатов, производящих и потребляющих электрическую энергию, рассчитываются таким образом, чтобы при номинальной частоте КПД был максимальным. Изменение частоты вращения турбин вызывает рост потерь и ускоряет износ рабочих лопаток. Все это приводит к снижению экономических показателей работы электростанций. Снижение частоты тока ведет к изменению частоты вращения электродвигателей, увеличению потребления мощности, а поэтому к их перегреву. Кроме того, на многих производствах изменение частоты вращения рабочей машины может самым пагубным образом сказаться на качестве выпускаемой продукции.

Отклонение частоты допускается в пределах 50±(0,1-0,2) Гц. Таким образом, при нормальных эксплуатационных условиях частота должна регулироваться с очень высокой точностью. Регулирование частоты осуществляется изменением мощности турбин путем изменения впуска энергоносителя (пара, воды).

При  частота понижается, при  частота растет. Это станет понятным, если представить систему, состоящую из одного генератора и двигателя, вращающихся с одинаковой частотой. Как только мощность генератора начнет убывать, частота понизится. Справедливо и обратное.

Регулирование частоты в электрических системах требует изменения мощности, которую генераторы выдают в сеть. Мощность генераторов в установившихся режимах и ее изменения определяются мощностью турбин, которыми эти генераторы приводятся во вращение. Поэтому, рассматривая возможности регулирования частоты в электрических системах, необходимо проанализировать характеристики первичных двигателей – тепловых и гидравлических турбин, определяющих изменение их мощности под действием систем регулирования.

На рисунке 9.3, *а* изображена характеристика нерегулируемой турбины, мощность которой неизменна, – это прямая, параллельная вертикальной оси, . *Статические характеристики нагрузок по частоте* – это кривые 3, 1, 2, соответствующие нагрузкам .

Статические характеристики нагрузки по частоте  – это зависимости активной и реактивной мощностей от частоты при медленных изменениях параметров режима (рисунок 9.4).

При нагрузке  режим определяется пересечением характеристики турбины и характеристики нагрузки *1*, при этом частота равна номинальной. При изменении нагрузки частота в системе принимает новое, отличное от номинального значение. Например, пересечение характеристик турбины и нагрузки  соответствует частоте , т. е. увеличение нагрузки от  до  приводит к уменьшению частоты от  до .

Если турбина имеет автоматический регулятор скорости, то он изменяет отпуск энергоносителя (пара или воды) через турбину в зависимости от нагрузки. Регуляторы скорости турбин оказывают стабилизирующее влияние на частоту в системе и поэтому часто называются первичными регуляторами частоты. Процесс изменения частоты под действием этих регуляторов называются первичным регулированием частоты.

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

Рисунок 9.3 – Характеристики регуляторов скорости турбины:

*а* –нерегулируемая турбина; *б* – астатическая характеристика; *в* –статическая характеристика; *г* – вторичное регулирование частоты (АРЧ).

Регуляторы скорости турбины могут иметь астатическую или статическую (рисунок 9.3, *б* и *в*) характеристику. При изменении электрической нагрузки под действием регулятора скорости либо восстановится номинальная частота, либо установится некоторая новая частота, близкая к . В первом случае, когда после изменения нагрузки и окончания переходного процесса регулятор восстанавливает номинальную частоту, регулирование называется астатическим (рисунок 9.3, *б*). Если при изменении нагрузки и окончания переходного процесса устанавливается новая, отличная от номинальной частота, то такое регулирование называется статическим (рисунок 9.3, *в*).

Реальные регуляторы скорости имеют статическую характеристику. Добиться астатической характеристики у регулятора практически очень трудно.



Рисунок 9.4 – Статические характеристики нагрузки по частоте

Для астатического регулирования, т.е. для дополнительной корректировки частоты в системе, применяется так называемое вторичное регулирование. В процессе вторичного регулирования осуществляется изменение мощности, развиваемой турбинами, в зависимости от частоты переменного тока. Вторичное регулирование ведется либо автоматическими регуляторами частоты (вторичными регуляторами скорости), либо обслуживающим персоналом системы (вручную), который контролирует частоту по показаниям приборов. В результате вторичного регулирования статическая характеристика турбины перемещается параллельно самой себе до тех пор, пока частота не станет номинальной (рисунок 9.3, *г*).

В настоящем эксперименте моделируется автономная электрическая система, содержащая генератор G1, приводимый во вращение первичным двигателем T, а также электромеханическую и активную нагрузки (см. рисунок 9.5).



Рисунок 9.5 – Общая схема эксперимента

С помощью специальной компьютерной программы последовательно производятся разгон генератора и его возбуждение, после чего подключаются упомянутые нагрузки. Программа производит автоматическое регулирование частоты вращения синхронного генератора и поддержание напряжения на его выводах.

**3 Оборудование**

Таблица 9.1 – Перечень аппаратуры, используемой в лабораторной работе № 9

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Обозначение | Наименование | Тип | Параметры |
| А1, А7 | Указатель частоты вращения | 506.2 | 2000…0…2000 мин−1 |
| А2 | Измеритель напряжений и частот | 504.2 | 2 вольтметра 0…500 В ~  2 частотомера  45…55 Гц;  220 В ~ |
| А3 | Измеритель мощностей | 507.2 | 15; 60; 150; 300; 600 В,  0,05; 0,1; 0,2; 0,5 А. |
| А4 | Трехполюсный выключатель | 301.1 | 400 В ~; 10 А |
| А6 | Активная нагрузка | 306.1 | 220/380 В; 50Гц;  3×0…50 Вт; |
| А8 | Блок измерительных трансформаторов  тока и напряжения | 401.1 | 600 В / 3 В  (тр-р напряж.)  0,3 А / 3 В  (тр-р тока) |
| А9 | Терминал | 304 | 6 розеток с  8 контактами;  6×8 гнезд |
| А10 | Блок ввода-вывода цифровых сигналов | 331 | 8 входов типа  «сухой контакт»;  8 релейных выходов |
| А11 | Коннектор | 330 | 8 аналог. диф. входов;  2 аналог. выхода;  8 цифр. входов/  выходов |
| А12 | Персональный компьютер | 550 | IBM совместимый,  Windows ХP,  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 |

Продолжение таблицы 9.1

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 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, G6 | Преобразователь угловых перемещений | 104 | 6 вых. каналов / 2500 импульсов  за оборот |
| G7 | Источник постоянного напряжений | 214.1 | 0…125 В −; 3 А |
| M1, M2 | Машина постоянного тока | 101.2 | 90 Вт / 220 В /  0,56 А (якорь) /  2×110 В / 0,25 А (возбуждение) |
| M3 | Асинхронный двигатель | 106 | 120 Вт / 380 В |

**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 9.6).

6. Мощности фаз активной нагрузки А6 установите равными 10 % от 50 Вт.

*Готовим аппаратуру к проведению эксперимента в ручном режиме.*

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

– трехполюсных выключателей А4;

– источника питания двигателя постоянного тока G2;

– источника постоянного напряжения G7

– источник постоянного напряжения G3.

Тумблеры делителей напряжения коннектора А11 установите в положение «1:1». Тумблер выбора режима работы общей точки аналоговых входов коннектора А11 установите в положение «AIGND».

Тумблеры выбора режима работы цифровых входов выходов блока А10 ввода-вывода цифровых сигналов установите в положение «выход» (тумблер вниз) для контактов DIO0…DIO3, в положение «вход» (тумблер вверх) для контактов DIO4…DIO7.

2. Включите выключатели «СЕТЬ»:

– трехполюсных выключателей А4;

– источник постоянного напряжения G3;

– указателей частоты вращения А1 и А7;

– источника постоянного напряжения G7;

– измерителя мощностей А3.

3. Приведите в рабочее состояние персональный компьютер А12 и запустите программу «Автоматическое управление – 1».

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

5. Включите источник постоянного напряжения G3, нажав кнопку «ВКЛ.» на его передней панели. Вращая регулировочную рукоятку, установите ток обмотки возбуждения генератора равным 2А.

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

7. Регулировочные рукоятки источников G2 и G7 поверните против часовой стрелки до упора. Включите источники G2 и G7, нажав кнопки «ВКЛ.» на их передних панелях.

8. Наблюдая изменение параметров схемы по виртуальным приборам программы, вращайте регулировочную рукоятку источника G2 по часовой стрелке. Установите частоту вращения генератора равной примерно 1500 об/мин, после чего включите выключатель А4, нажав соответствующую кнопку на его передней панели. Убедитесь в том, что нагрузочный силовой агрегат пришел во вращение. Обратите внимание на изменение параметров режима работы схемы

9. Изменяйте мощности фаз активной нагрузки А6, напряжение источника питания G2 двигателя постоянного тока, ток возбуждения генератора, противодействующий момент на валу нагрузочного агрегата (вращением регулировочной рукоятки источника G7). Наблюдайте изменение режимных параметров схемы.

*Эксперимент в ручном режиме завершен.*

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

2. Регулировочные рукоятки источника питания G2 двигателя постоянного тока и источник постоянного напряжения G3 установите в положение против часовой стрелки до упора. Отключите источники G2 и G3, нажав на кнопки «ОТКЛ.» на их передней панели. Отключите трехполюсный выключатель А4.

*Готовим аппаратуру к проведению эксперимента в автоматическом режиме.*

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

– источника питания двигателя постоянного тока G2;

– источник постоянного напряжения G3;

–  трехполюсного выключателя А4.

2. Включите выключатель «СЕТЬ» блока ввода-вывода цифровых сигналов А10.

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

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

6. Нажмите на виртуальную кнопку «Запустить» Пуск.

7.  Нажмите виртуальную кнопку «ПУСК». После завершения разгона и возбуждения генератора включите виртуальный выключатель (Q3). Изменяйте частотную характеристику задания (путем «перетаскивания» мышкой белой точки на соответствующем графике), мощности фаз активной нагрузки А6, противодействующий момент на валу нагрузочного агрегата (вращением регулировочной рукоятки источника G7), задание напряжения на шинах генератора (с помощью виртуальной регулировочной рукоятки). Наблюдайте изменение режимных параметров схемы.

8. При «аварийной» остановке генератора остановите программу и запустите вновь (кнопкой «Остановить» Стоп и «Запустить» Пуск соответственно).

9. По завершении экспериментов отключите источник G1 и выключатели «СЕТЬ» блоков G2, G3, G7, A1, A3, A4, A7, A10. Закройте программу «Автоматическое управление – 1».



Рисунок 9.6 – Электрическая схема соединений



Продолжение рисунка 9.6 – Электрическая схема соединений

На рисунке 9.7 приведены отображение результатов эксперимента на экране монитора в программе «Автоматическое управление - 1».

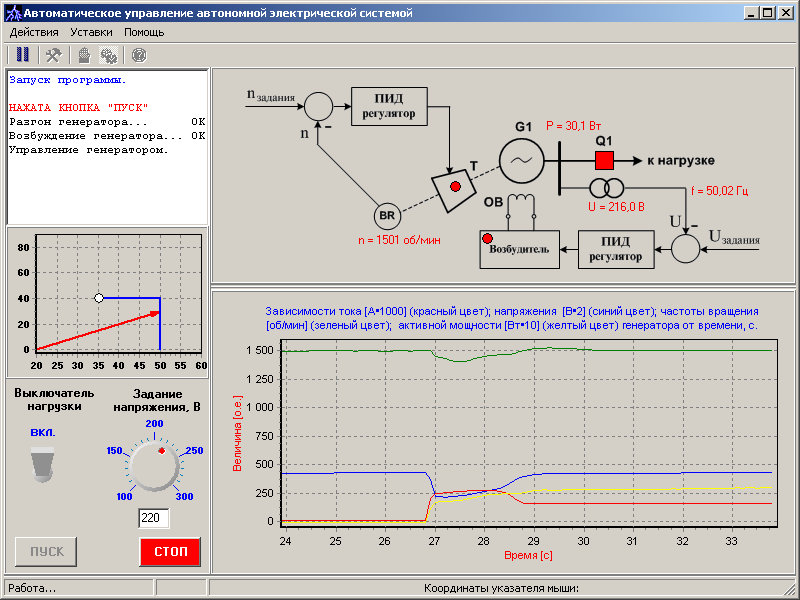
******

Рисунок – 9.7 Отображение результатов эксперимента на экране монитора

При работе с программой следует пользоваться её возможностями:

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

– 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.

**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. Что такое внешняя характеристика синхронного генератора?

2. Чем объясняется увеличение (уменьшение) напряжения при увеличении тока на выходе генератора при активно-ёмкостной (активно-индуктивной) нагрузке?

3. Как можно стабилизировать выходное напряжение автономного синхронного генератора?

4. Что такое реакция якоря?

5. Что такое регулировочная характеристика синхронного генератора?

6. Чем объясняется уменьшение (увеличение) тока возбуждения при увеличении тока на выходе генератора при активно-ёмкостной (активно-индуктивной) нагрузке?

7. К чему приводит нарушение баланса по активной мощности?

8. Каково негативное влияние изменения частоты.

9. Что такое статические характеристики нагрузки по частоте?

10. Как осуществляется регулирование частоты вращения турбины?