**Лабораторная работа №1**

**Автоматическое регулирование частоты и активной мощности**

Отклонение частоты является общесистемным показателем качества электрической энергии, так как во всех точках синхронно работающей электроэнергетической системы частота одинакова. Изменение частоты происходит при нарушении баланса между суммарной мощностью первичных двигателей (турбин) и нагрузкой генераторов. При набросе или сбросе нагрузки, а также при аварийном отключении отдельных агрегатов возникает небаланс мощностей, приводящий к изменению частоты в электроэнергетической системе.

Конструктивные параметры вращающихся агрегатов, производящих и потребляющих электрическую энергию, рассчитываются таким образом, чтобы при номинальной частоте КПД был максимальным. Отклонение частоты от номинального значения ухудшает экономические показатели отдельных элементов и электроэнергетической системы в целом. Наиболее существенно отклонения частоты сказываются на работе самих электростанций: изменение производительности механизмов собственных нужд, приводом которых являются асинхронные электродвигатели (питательные насосы, циркуляционные насосы, дымососы, вентиляторы) нарушает режим работы парогенератора и турбины; изменение частоты вращения турбин вызывает рост потерь и ускоряет износ рабочих лопаток. Все это приводит к снижению экономических показателей работы электростанций.

Таким образом, для надежной и экономичной работы отдельных элементов электроэнергетической системы недопустимы значительные отклонения частоты (более 1-2%). Однако точность поддержания частоты в пределах 1-2% совершенно недостаточна для обеспечения экономичной работы электроэнергетической системы в целом. Объясняется это тем, что при изменении частоты значительно и по-разному меняются нагрузки генераторов вследствие различных коэффициентов статизма характеристик первичных регуляторов турбин.

Даже кратковременные перераспределения нагрузок приводят к частым отклонениям режима электроэнергетической системы от экономически наивыгоднейшего, а следовательно, к пережогу топлива в целом по электроэнергетической системе.

Поэтому согласно Правилам устройства электроустановок и Правилам технической эксплуатации в современных электроэнергетических системах 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 суммарной мощности турбин путем изменения впуска энергоносителя (пара, воды). Однако для обеспечения минимума затрат электроэнергетической системы на покрытие фактической нагрузки изменение мощностей турбин должно изменяться так, чтобы не нарушались ограничения по допустимым значениям перетоков мощности и условия наивыгоднейшего распределения активных нагрузок. Таким образом, регулирование частоты в электроэнергетической системе неразрывно связано с регулированием мощности и распределением активных нагрузок между отдельными агрегатами и электростанциями.

***Автоматическое регулирование частоты автономной электрической системы***

* Общие сведения
* Электрическая схема соединений
* Перечень аппаратуры
* Указания по проведению эксперимента

**Общие сведения**

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.

В настоящем эксперименте моделируется автономная электрическая система, содержащая генератор, приводимый во вращение первичным двигателем, а также электромеханическую и активную нагрузки. Целью эксперимента является исследование влияния на частоту электрической системы параметров частотной характеристики генератора P(f), а также вида и параметров частотной характеристики нагрузки.

С помощью программы «Регулирование частоты автономной электрической системы» можно, во-первых, регистрировать режимные параметры работы системы и, во-вторых, (в автоматическом режиме работы программы) задавать необходимую частотную характеристику генератора. В последнем случае генератор будет поддерживать заданный режим работы до тех пор, пока частота в системе не станет меньше критической, после чего возникает лавина частоты и электрическая система аварийно останавливается.

**  Перечень аппаратуры**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 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 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 |

***Продолжение таблицы***

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| G3 | Возбудитель синхронной машины | 209.2 | 0…40 В −; 3,5 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 напряжения | 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 |

**Указания по проведению эксперимента**

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

Соберите электрическую схему соединений тепловой защиты машины переменного тока.

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

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

Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений.

Мощности фаз активной нагрузки А6 установите равными 40 % от 50 Вт.

Переключатели режимов работы трехполюсного выключателя А4, источника G2 питания двигателя постоянного тока, возбудителя G3 синхронной машины, источника постоянного напряжения G7 установите в положение «РУЧН.». 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.

Включите выключатели «СЕТЬ» трехполюсного выключателя А4, источника G2 питания двигателя постоянного тока, возбудителя G3 синхронной машины, указателей А1 и А7 частоты вращения, источника постоянного напряжения G7, измерителя мощностей А3.

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

Приведите в рабочее состояние персональный компьютер А12 и запустите программу «Регулирование частоты автономной электрической системы».

Включите возбудитель G3 синхронной машины, нажав кнопку «ВКЛ.» на его передней панели. Вращая регулировочную рукоятку, установите ток обмотки возбуждения генератора равным 2А.

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

Регулировочную рукоятку источника питания G2 двигателя постоянного тока поверните против часовой стрелки до упора. Включите источник G2, нажав кнопку «ВКЛ.» на его передней панели.

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.

Нажмите кнопку «ВКЛ» источника постоянного напряжения G7.

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.

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

Регулировочную рукоятку источника питания G2 двигателя постоянного тока установите в положение против часовой стрелки до упора. Отключите источник G2, нажав на кнопку «ОТКЛ.» на его передней панели. Отключите трехполюсный выключатель А4.

Переключатель режима работы источника G2 установите в положение «АВТ.».

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

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

Задайте уставки управления (кнопка Настройки), используемые программой. Например, оставьте уставки, заданные по умолчанию.

Нажмите на виртуальную кнопку «Запустить» Пуск. После завершения разгона генератора включите выключатель А4. Изменяйте частотную характеристику задания (путем «перетаскивания» мышкой зеленой точки на соответствующем графике), мощности фаз активной нагрузки А6, противодействующий момент на валу нагрузочного агрегата (вращением регулировочной рукоятки источника G7). Наблюдайте изменение режимных параметров схемы.

При «аварийной» остановке генератора остановите программу и запустите вновь (кнопкой «Остановить» Стоп и «Запустить» Пуск соответственно). Если генератор аварийно останавливается при первоначальном разгоне или подключении нагрузки, уменьшите его ток возбуждения до значения 1,5-1,2 А.

Измените значения уставок управления. Повторите эксперимент.

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.

По завершении экспериментов отключите источник G1 и выключатели «СЕТЬ» блоков G2, G3, G7, A1, A3, A4, A7, A10. Закройте программу «Регулирование частоты автономной электрической системы».

***Автоматическое регулирование активной мощности синхронного генератора, работающего параллельно с электрической системой бесконечной мощности***

* Общие сведения
* Электрическая схема соединений
* Перечень аппаратуры
* Указания по проведению эксперимента

**Общие сведения**

Основная задача автоматического управления активной мощностью синхронных генераторов – обеспечить выработку и передачу необходимого количества электроэнергии при наименьшем удельном расходе условного топлива. Однако автоматическое управление мощностью связано с автоматическим регулированием частоты вращения энергоагрегатов, при этом одно из них оказывается главным, определяющим режим работы синхронного генератора.

Синхронный генератор, работающий параллельно с энергосистемой бесконечной мощности, увеличивает отдаваемую в систему активную мощность при увеличении вращающего момента на его валу. Этот момент, в свою очередь, определяется моментом первичного двигателя, вращающего синхронный генератор. Если первичный двигатель – паровая или гидротурбина, то момент на ее валу обеспечивается энергией соответственно пара или воды. Поэтому для того, чтобы увеличить активную мощность синхронного генератора, необходимо увеличить впуск пара или воды в турбину.

В более общем случае для увеличения активной мощности синхронного генератора нужно увеличить механическую мощность первичного двигателя, приводящего этот генератор во вращения.

Однако синхронный генератор способен устойчиво преобразовывать механическую энергию в электрическую, развивая активную мощность не более некоторого предельного значения, выше которого произойдет проворот ротора генератора относительно поля статора. Генератор в этом случае выйдет из синхронизма (потеряет устойчивость) и будет вращаться с частотой больше синхронной. Для промышленных синхронных генераторов такой режим работы недопустим. Одним из способов выхода из него является разгрузка генератора по активной мощности.

В данной работе присутствует синхронный генератор, включаемый на параллельную работу с электрической системой бесконечной мощности, роль которой выполняет источник трехфазного питания стенда. Синхронизация генератора с сетью производится вручную по способу точной синхронизации. После того, как генератор окажется включенным на параллельную работу, с помощью программы «Регулирование активной мощности» можно задавать значение активной мощности, развиваемой генератором. В случае превышения мощностью генератора предельного по устойчивости значения, генератор переходит в асинхронный режим работы и через какое-то время возвращается в нормальный режим вследствие работы регулятора частоты вращения первичного двигателя. Если к этому времени оператор не уменьшит значение мощности, которое должен развивать генератор, процесс повторится.

Меняя параметры системы автоматического регулирования, можно изучить их влияние на качество процесса регулирования активной мощности синхронного генератора.

** Перечень аппаратуры**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Обозначение | Наименование | Тип | Параметры |
| А1 | Трехполюсный выключатель | 301.1 | 400 В ~; 10 А |
| A2 | Трехфазная трансформаторная группа | 347.1 | 3 х 80 В⋅А;  230 (звезда) /  242, 235, 230, 126, 220, 133, 127 В |
| А3, А4 | Модель линии электропередачи | 313.2 | 400 В ~; 3 × 0,5 А |
| A5 | Трехфазная трансформаторная группа | 347.2 | 3 х 80 В⋅А;  242, 235, 230, 126, 220, 133, 127 /  230 В  (треугольник) |
| А6 | Блок синхронизации | 319 | 400 В ~; 10 А  3 индикаторные лампы;  синхроноскоп |
| А7 | Измеритель напряжений и частот | 504.2 | 2 вольтметра 0…500 В ~  2 частотомера  45…55 Гц;  220 В ~ |
| А8 | Измеритель мощностей | 507.2 | 15; 60; 150; 300; 600 В,  0,05; 0,1; 0,2;  0,5 А. |
| А9 | Блок датчиков тока и напряжения | 402.3 | 3 измерительных  преобразователя "ток-напряжение"  5А/0,5А/5 В;  3 измерительных преобразователя "напряжение-напряжение"  1000 В/100 В/5 В |
| А10 | Блок измерительных трансформаторов  тока и напряжения | 401.1 | 600 В / 3 В  (тр-р напряж.)  0,3 А / 3 В  (тр-р тока) |
| А11 | Терминал | 304 | 6 розеток с  8 контактами;  6×8 гнезд |
| А12 | Блок ввода-вывода цифровых сигналов | 331 | 8 входов типа  «сухой контакт»;  8 релейных выходов |
| А13 | Коннектор | 330 | 8 аналог. диф. входов;  2 аналог. выхода;  8 цифр. входов/  выходов |

***Продолжение таблицы***

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 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 | Возбудитель синхронной машины | 209.2 | 0…40 В −; 3,5 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 | Указатель частоты вращения | 506.2 | 2000…0…2000 мин−1 |
| P2 | Указатель угла нагрузки синхронной машины | 505.2 | -1800…0…1800 |

**Указания по проведению эксперимента**

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

Соберите электрическую схему соединений тепловой защиты машины переменного тока.

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

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

Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений.

Переключатели номинальных фазных напряжений трехфазных трансформаторных групп А2 и А5 установите равными 220 В. Параметры линий электропередачи А3 и А4 установите следующими: R = 0 Ом, L/RL = 1,2 Гн / 32 Ом,   
С1=С2=0 мкФ.

Переключатели режимов работы трехполюсного выключателя А1, возбудителя G3 синхронной машины и блока А6 синхронизации установите в положение «РУЧН.», источника G2 питания двигателя постоянного тока – в положение «АВТ.». 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 А12 ввода-вывода цифровых сигналов установите в положение «выход» (тумблер вниз) для контактов DIO0…DIO3, в положение «вход» (тумблер вверх) для контактов DIO4…DIO7.

Включите выключатели «СЕТЬ» трехполюсного выключателя А1, источника G2 питания двигателя постоянного тока, возбудителя G3 синхронной машины, указателя P1 частоты вращения, указателя Р2 угла нагрузки синхронной машины, блока А9 датчиков тока и напряжения, блока А6 синхронизации, измерителя мощностей А8, блока А12 ввода-вывода цифровых сигналов.

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

Включите выключатель А1, нажав на кнопку «ВКЛ.» на его передней панели.

Приведите в рабочее состояние персональный компьютер А14 и запустите программу «Регулирование активной мощности».

Задайте уставки управления, нажав для этого соответствующую виртуальную кнопку или пункт главного меню. Например, оставьте уставки, заданные по умолчанию.

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

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:

Включите источник G2, нажав на виртуальный тумблер «Выключатель первичного двигателя» на экране компьютера. Регулятором «Скорость вращения» установите частоту вращения двигателя М1 (генератора G4) 1500 мин–1. Дождитесь окончания разгона силового агрегата.

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 А7.

Обеспечьте условия синхронизации согласно табл. 4. (см. эксперимент 1.1.1) и подключите генератор к сети нажатием на кнопку «ВКЛ.» блока А6 синхронизации.

Настройте указатель угла нагрузки. Для этого:

С помощью виртуального регулятора «Активная мощность» установите мощность генератора, равную 0 Вт.

Вращая регулировочную рукоятку возбудителя G3, установите реактивную мощность генератора, равную 0 Вар. Значения активной и реактивной мощностей контролируйте по измерителю мощностей А8.

Вращая тонкой отверткой реостаты «Грубо» и «Точно» на передней панели указателя угла нагрузки, установите значение угла нагрузки, равное нулю.

С помощью виртуального регулятора «Активная мощность» задайте уставку мощности генератора, равную, например, 40 Вт. Убедитесь в том, что генератор действительно нагружается активной мощностью. Значения активной и реактивной мощности генератора наблюдайте на виртуальных приборах и измерителе мощностей А8. Удостоверьтесь, что показания реальных и виртуальных прибором совпадают.

Задайте уставку мощности генератора, равную 65-90 Вт. Генератор должен увеличить мощность до предела устойчивости и опрокинуться (если этого не происходит даже при уставке 90 Вт, уменьшите ток возбуждения генератора регулировочной рукояткой на передней панели возбудителя G3). После этого в действие вступит автоматический регулятор частоты вращения, который вернет силовой агрегат в нормальный режим работы. Если к этому моменту не снизить значение уставки мощности, процесс потери устойчивости повторится.

Остановите силовой агрегат, выполнив следующие действия:

Отключите генератор от сети, нажав для этого кнопку «ОТКЛ.» блока А6 синхронизации.

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

«Вращая» виртуальную регулировочную рукоятку, установите уставку скорости вращения на ноль. Остановите двигатель М1 (генератор G4), нажав на виртуальный тумблер «Выключатель первичного двигателя».

Измените уставки управления силовым агрегатом. Повторите эксперимент.

При работе с программой следует пользоваться её возможностями:

Для удобства определения значений величин по графикам 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.

* По завершении экспериментов отключите источник G1 и выключатели «СЕТЬ» блоков А1, А6, А8, А9, А12, G2, G3, Р1, Р2. Закройте программу «Регулирование мощности».