

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ СИНХРОНИЗАЦИИ СУДОВЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

Судовая электростанция содержит несколько мощных источников электроэнергии переменного тока – синхронных генераторов. В зависимости от нагрузки электростанции и режима работы судовой энергетической установки параллельно работают несколько генераторов. Изменение количества работающих агрегатов позволяет минимизировать расход топлива, продлевать срок службы генераторов и приводных двигателей. Режим включения и выключения судовых электрогенераторов является часто повторяющейся операцией.

Правильная синхронизация мощных генераторов при включении на параллельную работу обеспечивает безаварийную работу судовой электростанции. Условия синхронизации генераторов переменного тока предусматривают выполнение четырех условий: равенство напряжений, частот и совпадение фаз генераторов, а также соответствие чередования фаз.

Уравнивание напряжений, частот и фаз включаемого генератора и судовой сети обеспечивается воздействием на задающее устройство регулятора напряжения и частоты вращения синхронизируемого генератора.

В большинстве случаев процесс синхронизации сводится к воздействию на задающее устройство регулятора частоты вращения приводного двигателя генератора, влияющего одновременно на разность частот и фаз. Как правило, перенастройка регулятора напряжения генератора не производится. Напряжение генератора и сети устанавливается на одинаковом уровне и подлежит перенастройке только в случае рассогласования, которое возникает после ремонта или при нестабильной работе регулятора напряжения.

Как показали исследования [1, 2], на характер процесса синхронизации включенных на параллельную работу генераторов, оказывает существенное влияние состояние их возбуждения.

В работе [2] показано, что важную роль в переходном процессе включения играют настроечные параметры регулятора возбуждения синхронного генератора, особенно при включении в сеть с ненулевой разностью частот и фаз. Особенно сильным оказалось влияние задающего значения напряжения включаемого генератора. Так, превышение напряжения включаемого генератора на 3 % позволяет устойчиво включать генератор в судовую сеть с разностью частот до 1 % [2].

До настоящего времени включение мощных генераторов на параллельную работу выполняется только путем предварительной синхронизации. Нестабильность частоты вращения судовых дизелей, влияние изменяющегося момента сопротивления на валу приводного двигателя, износ элементов регулятора частоты и возникающие при этом нелинейности затрудняют выполнений точной синхронизации генераторов, особенно по фазе напряжения. Поэтому процесс включения на практике зачастую производится при значительных несовпадениях фаз.

Отрицательные последствия неточного включения предлагается частично скомпенсировать путем воздействия на возбуждение включаемого генератора в момент коммутации.

Канал такого управления включением генераторов достаточно просто реализовать технически, например, управляя задающим воздействием регулятора напряжения.

В настоящей работе выполнено исследование влияния форсированного возбуждения генератора путем кратковременного изменения задающего воздействия регулятора напряжения U_{f0} . В момент включения генераторов на параллельную работу величину задания регулятора напряжения предлагается изменять с номинального значения $U_{f0} = 1$ до величины $U_{f0} = 0,2 \dots 2,0$ на короткий промежуток времени, составляющий десятые доли секунды. Значение $U_{f0} = 0,2$ соответствует снятию возбуждения до минимально возможного, а значение $U_{f0} = 2,0$ - максимальному форсированию возбуждения.

Для исследований переходных процессов разработана математическая модель синхронного дизель-генератора, включаемого в судовую сеть переменного тока [2, 3], а также предложен критерий для количественной оценки качества возникающих переходных процессов включения генераторов [4]. В качестве такого показателя качества предложено рассчитывать площадь под кривой отклонения частоты вращения генератора I_{ω} в течение переходного процесса $t = t_{\varepsilon} - t_1$:

$$I_{\omega} = \int_{t_1}^{t_{\varepsilon}} |\omega(t) - \omega(t_{\varepsilon})| dt .$$

При моделировании системы электрогенераторов численными методами расчет интегрального критерия можно заменить суммой модулей отклонений

$$\Delta\omega_i = \omega(t_1 + \sum_{j=0}^i \Delta t_j) - \omega(t_{\varepsilon})$$

за период расчета переходного процесса

$$I = \sum_{i=1}^N |\Delta\omega_i|,$$

здесь Δt_j - шаг интегрирования. Приведенное выражение интегрального критерия будет пропорционально интегралу, если применяется численный метод с постоянным шагом.

Пример расчета переходных процессов для генераторов одинаковой мощности показан на рис. 1, где все переменные приведены в относительных величинах и в реальном масштабе времени.

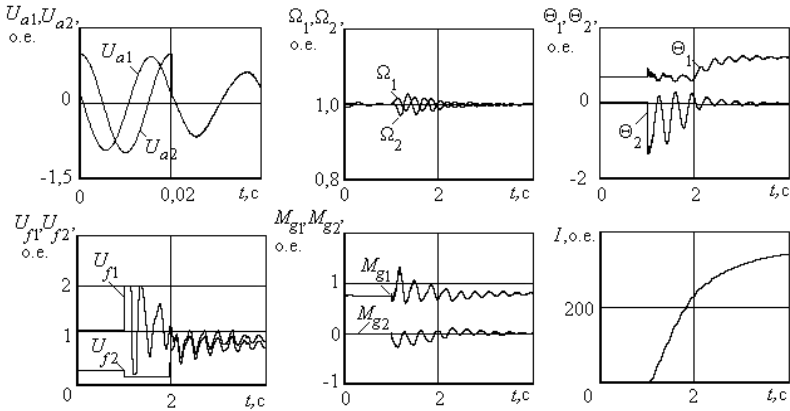


Рис. 1. Моделирование переходных процессов в системе включаемых на параллельную работу синхронных генераторов:

U_{a1}, U_{a2} - фазные статорные напряжения генераторов; Ω_1, Ω_2 - частоты вращения роторов генераторов; Θ_1, Θ_2 - углы нагрузки синхронных генераторов; U_{f1}, U_{f2} - напряжения возбуждения генераторов; M_{g1}, M_{g2} - электромагнитные моменты генераторов; I - критерий качества переходного процесса синхронизации, равный сумме отклонений частот вращения первого и второго генераторов

На рис. 1 приведен процесс включения ненагруженного синхронного генератора на шины номинально нагруженного генератора при одинаковых частотах вращения генераторов, разности фаз в 80 градусов и импульсном снижении задания возбуждения включаемого генератора до величины $U_{f0} = 0,2$. Критерий качества I для этого процесса составляет 350 единиц при возбуждении $U_{f0} = 0,2$. Критерий I

при номинальном возбуждении $U_{f0} = 1,0$ и аналогичных начальных условиях дает значение в 1200 единиц.

На рис. 2. приведены результаты расчетов интегрального показателя I от величины форсированного возбуждения U_{f0} . Коэффициенты $k=1$ и $k=2$ показывают соотношение номинальных мощностей нагруженного и включаемого генераторов $k = P_{a1i} / P_{a2i}$. Расчеты выполнены для различных нагрузок судовой сети P_{a1} при фиксированных разностях фаз включаемых генераторов от 40 до 200 градусов.

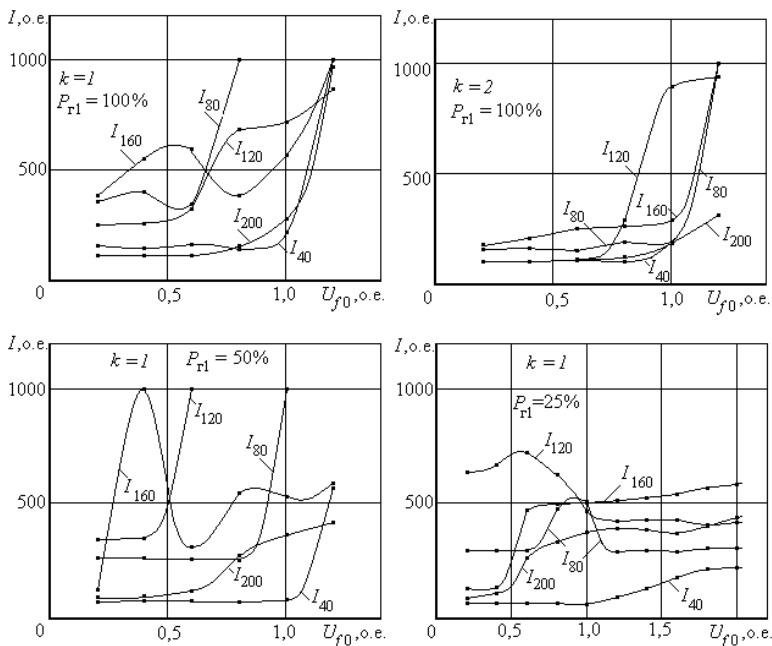


Рис. 2. Зависимости интегрального показателя качества включения генераторов на параллельную работу от величины форсированного возбуждения

На рис. 2 время форсирования возбуждения включаемого генератора составляет 0,2 с. Как показали исследования, изменение длительности форсирования от 0,2 до 1,0 с мало влияет на результаты процессов включения генераторов.

Полученные результаты исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. При одинаковых частотах и напряжениях включаемых на параллельную работу генераторов и разных значениях фазовых сдвигов качество переходных процессов существенно зависит от форсированного возбуждения подключаемого генератора при длительности форсирования от 0,2 до 1,0 с.

2. Нагрузка судовой сети перед включением еще одного генератора также существенно влияет на переходные процессы включения с форсированием, особенно для углов разности фаз в 120 ... 160 градусов.

3. Практически для всех нагрузочных режимов импульсное уменьшение возбуждения подключаемого генератора до величины $U_{f0} = 0,2 \dots 0,6$ существенно улучшает переходные процессы втягивания в синхронизм. Исключение составляет режим нагрузки $P_{\text{а1}} = 25\%$ при угле рассогласования 120 градусов для включаемых генераторов одинаковой мощности.

4. При включении генератора в сеть большей мощности при одинаковых частотах и напряжениях включаемых на параллельную работу генераторов форсированное снижение возбуждения эффективно для всех возможных разностях фаз генераторов.

Итак, режим форсированного уменьшения возбуждения подключаемого генератора при одинаковых частотах и напряжениях включаемых на параллельную работу генераторов может быть рекомендован для снижения затрат энергии и рисков аварийных ситуаций от несинфазного включения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Веников В.А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах. – М.: Высшая школа, 1978. – 576 с.

2. Вишневский Л.В., Веретенник А.М., Муха Н.И., Козырев И.П. Моделирование включения синхронных генераторов в судовую сеть // Электромашинобудування та електрообладнання. – Вип. 66. – К.: Техніка, 2006. – С. 201 – 204.

3. Вишневский Л.В., Веретенник А.М., Войтецкий И.Е., Козырев И.П. Включение синхронных генераторов в многоагрегатную судовую электростанцию // Электромашинобудування та електрообладнання. – Вип. 68. – К.: Техніка, 2007. – С. 26 – 29.

4. Вишневский Л.В., Веретенник А.М., Войтецкий И.Е. Выбор критерия для оценки процесса включения генераторов на параллельную работу // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – 2007. – № 2(20). – Херсон. – С. 136 – 139.