

СПОСОБ ГРУБОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ

к.т.н. Ю.А. Кусакин, Ю.И. Рафальский
(представил д.т.н., проф. Б.Т. Кононов)

В статье рассматривается усовершенствованный способ грубой синхронизации синхронных генераторов, использование которого позволяет обойтись без токоограничивающих выключателей. По предлагаемому способу в момент синхронизации отключается обмотка управления, расположенная на статоре включаемого генератора.

Постановка проблемы. Для включения на параллельную работу синхронных генераторов в настоящее время применяют способы точной синхронизации, самосинхронизации и грубой синхронизации. По первому из этих способов удастся завершить процесс включения агрегатов на параллельную работу с требуемым качеством электрической энергии в случае, когда правильно выбраны начальные параметры синхронизации и точно определен момент включения выключателя генератора. Однако процесс точной синхронизации является наиболее сложным и в случае ошибочных действий оператора или автоматических устройств может явиться причиной серьезных нарушений в работе системы электроснабжения. Способ самосинхронизации неприемлем в системах электроснабжения, критичных к качеству электрической энергии, поскольку в этом процессе не удастся избежать провалов напряжения, достигающих в случае включения генераторов одинаковой мощности до $0,5 U_{\text{ном}}$.

Способ грубой синхронизации требует для своего осуществления не одного, а двух выключателей и наличия токоограничивающего сопротивления, чаще всего выполненного в виде реактора. С одной стороны, при грубой синхронизации упрощается процедура обеспечения требуемого качества электрической энергии, с другой стороны, усложняется схема системы электроснабжения и собственно процесс коммутации и, что особенно нежелательно, увеличиваются массогабаритные характеристики системы.

Анализ литературы. Анализ процессов, происходящих при синхронизации, посвящены работы [1 – 3]. В [1] рассматриваются вопросы, связанные с изучением электромагнитных и электромеханических переходных процессов, возникающих при включении электрических машин на параллельную работу. В [2] изложены методы исследования процес-

сов синхронизации, описаны применяемые схемные решения, используемые для реализации этого процесса. В [3] излагается методика расчета провалов напряжения, приводится описание способов формирования команды на включение выключателя генератора и способов измерения параметров синхронизации. В [2, 3], кроме того, описываются процедуры, с помощью которых реализуется способ грубой синхронизации. Однако в известных работах нет рекомендаций по упрощению схем распределительных устройств при грубой синхронизации путем исключения дополнительного выключателя и отказа от применения реактора.

Целью настоящей статьи является разработка усовершенствованного способа грубой синхронизации синхронных генераторов.

Основной материал. Рассмотрим процессы, происходящие при грубой синхронизации двух синхронных генераторов. В качестве токоограничивающего сопротивления использован реактор. Схема рассматриваемой системы приведена на рис. 1.

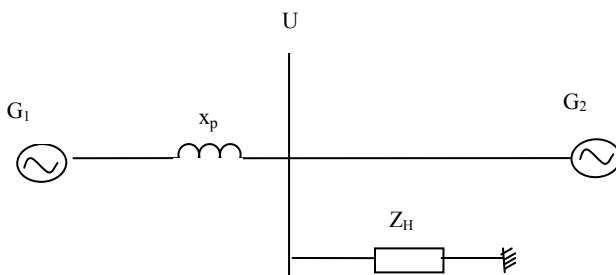


Рис. 1. Исследуемая система

На рис. 1 приведены следующие обозначения: G_1 – включаемый генератор; G_2 – работающий генератор; x_p – индуктивное сопротивление реактора; Z_H – сопротивление нагрузки; U – напряжение на шинах.

Определим величину уравнивающего тока, возникающего в системе в момент синхронизации. Мгновенное значение уравнивающего тока найдем из соотношения

$$\frac{e_1(t) - e_2(t)}{x_{G1} + x_{G2} + x_p} = i_{yp}, \quad (1)$$

где $e_1(t)$, $e_2(t)$ – мгновенные значения ЭДС первого и второго генераторов; x_{G1} , x_{G2} – реактивные сопротивления генераторов.

В случае, когда амплитудные значения ЭДС совпадают, т.е. когда $E_1 = E_2$ и тогда, когда угловые частоты ω_1 и ω_2 первого и второго генераторов равны, из (1) следует, что

$$i_{yp} = \frac{2E \sin \frac{\omega_1 + \omega_2}{2} t \cdot \sin \frac{\omega_s}{2} t}{x_{G1} + x_{G2} + x_p}, \quad (2)$$

где $\omega_s = \omega_1 - \omega_2$ – угловая частота скольжения.

Из (2) легко видеть, что амплитудное значение уравнительного тока I_{yp} изменяется от нуля до $I_{yp \max}$, равного

$$I_{yp \max} = \frac{2E}{x_{G1} + x_{G2} + x_p}. \quad (3)$$

Выбором величины сопротивления реактора x_p можно ограничить величину реактивного тока и обеспечить поддержание напряжения U на шинах таким образом, чтобы исключить недопустимый провал напряжения. Действительно, поскольку величина напряжения U на шинах определяется из равенства

$$U = E - I_{yp \max} \cdot x_{G2} = E \left(1 - \frac{2 \cdot x_{G2}}{x_{G1} + x_{G2} + x_p} \right), \quad (4)$$

то величина провала напряжения δU будет равна

$$\delta U = \frac{2E \cdot x_{G2}}{x_{G1} + x_{G2} + x_p} - I_H x_{G2}, \quad (5)$$

где I_H – номинальный ток нагрузки работающего генератора.

Для синхронизации из режима холостого хода провал напряжения будет максимальным и равным

$$\delta U = \frac{2E \cdot x_{G2}}{x_{G1} + x_{G2} + x_p}. \quad (6)$$

Покажем, что не обязательно для снижения провала напряжения увеличивать величину x_p . Желательный эффект может быть достигнут и тогда, когда x_p равно нулю. Для этого необходимо увеличить в момент синхронизации реактивное сопротивление включаемого генератора.

Желаемый эффект может быть достигнут, если кроме обычных статорных и роторных обмоток генератора использовать дополнительную обмотку, размещаемую на статоре и подключенную к источнику постоянного тока. Схемная реализация предложенного решения иллюстрируется рис. 2.

На статоре кроме основной трехфазной обмотки переменного тока расположена обмотка управления ОУ, подключенная к источнику постоянного тока. На роторе расположена обмотка возбуждения генератора ОВГ и успокоительная короткозамкнутая обмотка. При синхронизации обмотка управления отключена и магнитопровод генератора не подмагничивается. В связи с этим магнитная проницаемость μ_a магнитопровода

а, поскольку $\Delta B/\Delta H$ велико, а значит велико и индуктивное сопротивление статорных обмоток

$$X_{GF} = \mu_a \frac{w^2 S}{l} \omega = \frac{\Delta B}{\Delta H} \cdot \frac{w^2 S}{l} \omega, \quad (7)$$

где B , H – индукция и напряженность; w – число витков статорной обмотки; S – активное сечение магнитопровода; l – длина средней магнитной линии; ω – угловая частота вращения.

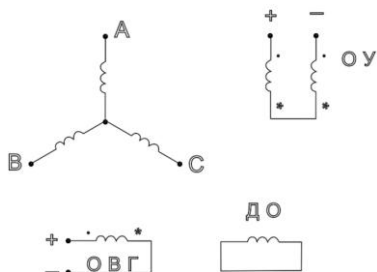


Рис. 2. Схема обмоток генератора

В случае, когда обмотка управления подключена к источнику постоянного тока, а это соответствует номинальному режиму работы генератора, магнитопровод насыщен, ΔB мало, т.е. величина X_{GF} мала. Таким образом, отключая перед синхронизацией обмотку управления, удастся существенно увеличить индуктивное сопротивление

включаемого генератора, который сам как бы становится реактором. Тем самым удастся снизить бросок уравнивающего тока и снизить провал напряжения до допустимого значения, обойдясь при этом без реактора и дополнительного коммутирующего выключателя.

Вывод. Использование дополнительной обмотки управления, размещаемой на статоре генератора, позволяет усовершенствовать известный способ грубой синхронизации, не используя при этом реактор и дополнительный коммутирующий выключатель.

ЛИТЕРАТУРА

1. Веников В.А. *Переходные электромеханические процессы в электрических системах.* – М.: Высш. шк., 1970. – 472 с.
2. Константинов В.Н. *Синхронизация судовых синхронных генераторов.* – Л.: Судостроение, 1978. – 214 с.
3. Котовщиков В.Н., Климанов О.Н. и др. *Результаты исследования влияния некоторых параметров судовых агрегатов на устойчивость их грубой синхронизации // Судовая электротехника и связь.* – 1970. – № 42 – 43. – С. 19 – 26.

Поступила 25.02.2004

КУСАКИН Юрий Александрович, канд. техн. наук, начальник факультета ХВУ. В 1985 году окончил ХВВКИУ РВ им. Маршала Советского союза Крылова Н.И. Область научных интересов – электроснабжение..

РАФАЛЬСКИЙ Юрий Иванович, начальник факультета ХВУ. Окончил ВКА ПВО им. Г.К. Жукова. Область научных интересов – первичная обработка информации.