

Устройство точной автоматической синхронизации синхронного генератора

Согласно [1], включение генераторов на параллельную работу должно производиться одним из следующих способов: точной синхронизацией или самосинхронизацией. На генераторах большой мощности как основной используется метод точной автоматической синхронизации с заданным временем опережения, который позволяет избежать сверхтоков при включении генератора в сеть. Точная синхронизация осуществляется с помощью специальных устройств автоматической синхронизации – автосинхронизаторов (АС).

Авторы:

Романов Ю.В.,
Воронов П.И.

При точной синхронизации АС выдает управляющие воздействия в систему возбуждения для регулирования напряжения генератора и на регулятор частоты вращения для регулирования частоты. С помощью этих управляющих воздействий генератор приводится к оптимальным условиям для включения, при которых будет наблюдаться минимальный уравнивающий ток $I_{ур}$ в переходном

процессе после включения (рис. 1). Идеальные условия для включения – равенство ЭДС ($E_g'' = E_c$) и частот системы и генератора ($f_r = f_c$) при нулевом угле между векторами ЭДС генератора и системы ($\delta_{вкл} = \arg(E_g'', E_c) = 0$) [2].

При равенстве напряжений системы и генератора и бесконечно малом скольжении уравнивающий ток определяется углом включения между векторами ЭДС генератора и эквивалентной системы:

$$I_{ур} = \frac{\Delta E}{X_d'' + X_c} = \frac{2E \sin \frac{\delta_{вкл}}{2}}{X_d'' + X_c}, \quad (1)$$

где ΔE – модуль векторной разности E_g'' и E_c ; E – ЭДС генератора и системы; $\delta_{вкл}$ – угол включения; X_d'' – сверхпереходное сопротивление генератора; X_c – сопротивление системы.

Из формулы (1) следует, что для минимизации уравнивающего тока необходимо подобрать такой момент подачи сигнала на включение, для которого при замыкании контактов генераторного выключателя Q угол между векторами ЭДС генератора и системы $\delta_{вкл}$ будет равен нулю. Следует отметить, что выбор момента подачи сигнала на включение должен осуществляться с учётом как скольжения, так и скорости его изменения.

В настоящее время находят применение несколько вариантов реализации схемы включения синхронных генераторов на параллельную работу способом точной синхронизации. Учитывая это, в ООО «Релематика» проработаны следующие решения:

- АС в виде самостоятельного устройства (рис. 2 а);
- в составе шкафа автоматики управления генераторным выключателем (АУВ) (рис. 2 б);
- в виде панели синхронизации (рис. 2 в).

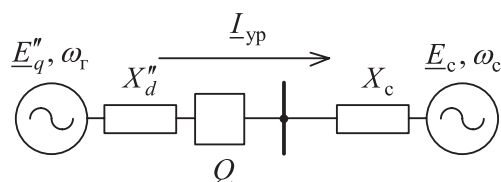


Рис. 1. Схема включения синхронного генератора в сеть

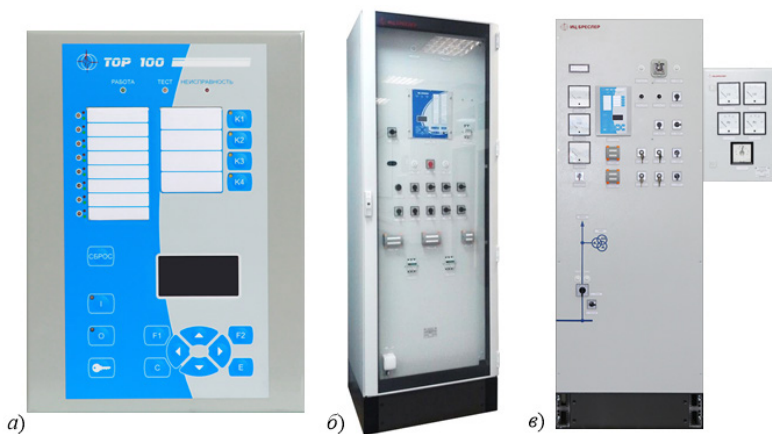


Рис. 2. Варианты реализации функции точной автоматической синхронизации: а – устройство «ТОР 100 АС»; б – шкаф АУВ генераторного выключателя; в – панель синхронизации

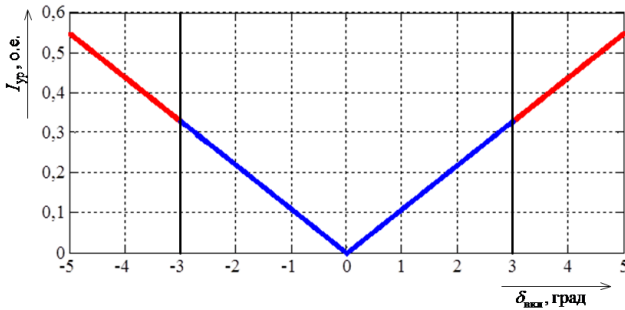


Рис. 3. Зависимость тока включения генератора от угла включения

Во всех трех решениях применяется одна и та же функция АС. Одно устройство «TOP 100 АС» (в том числе в составе панели синхронизации) позволяет осуществлять синхронизацию с сетью до 16 питающих присоединений.

Разработанная функция АС может применяться для синхронизации в режиме регулирования (с выдачей управляющих воздействий на регулирование напряжения и частоты) и в режиме выбега (для синхронных компенсаторов без регулирования частоты вращения). Основная относительная погрешность измерения напряжений при изменении частоты в диапазоне от 10 до 80 Гц не превышает 0,5 %. Основная погрешность измерения частот в диапазоне от 10 до 80 Гц не превышает 0,01 Гц. Погрешность по углу включения не превышает 3 эл. град. Дополнительно устройство АС может применяться в качестве измерителя частоты при разгоне генератора.

Для оценки точности синхронизации предусмотрено осциллографирование не только напряжений по концам выключателя, но также и фазных токов генератора.

Рассмотрим влияние угла включения генератора на уравнивающий ток. В качестве примера возьмем турбогенератор типа ТВФ-120-2УЗ, работающий в блоке с повышающим трансформатором типа ТДЦ-125000 на сеть 220 кВ. Параметры генератора: $x_d'' = 0,192$ о.е., $S_{ном} = 125$ МВА, $U_{ном} = 10,5$ кВ, $I_{г,ном} = 6875$ А; параметры трансформатора: $u_k = 11\%$, $S_{ном} = 125$ МВА, $k_T = 10,5$ кВ/242 кВ; параметры эквивалентной сети: расчетное напряжение $U_{расч} = 235$ кВ, ток трехфазного короткого замыкания в максимальном режиме $I_{кз} = 21128$ А. Для данной схемы уравнивающие токи, рассчитанные по формуле (1), представлены на рис. 3. Видим, что с учетом максимальной погрешности по углу включения в данном случае функция АС ограничивает уравнивающий ток до значения не более 35 % от $I_{г,ном}$.

Схема подключения АС представлена на рис. 4 [3].

На рис. 5 приведен пример синхронизации на модели генератора, реализованной в программном комплексе Matlab/Simulink. В данном случае фазные токи генератора при включении не превышают 20 % от номинального значения, что является достаточно небольшим значением. Еще большего уменьшения токов включения можно добиться путем снижения частоты скольжения генератора.

Для интеграции устройства АС в систему мониторинга подстанций, в том числе цифровых ПС, и АСУ ТП в устройстве реализованы современные протоколы (МЭК 60870 5-103, МЭК



Рис. 4. Схема подключения

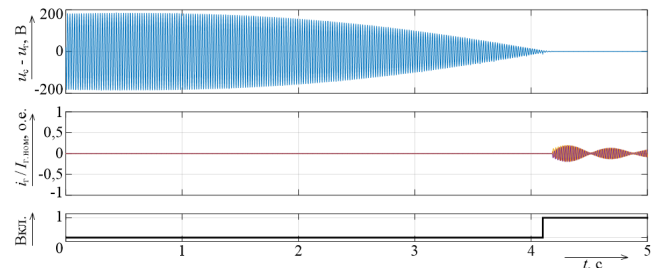


Рис. 5. Осциллограмма синхронизации генератора с сетью

60870-5-104, Modbus, МЭК 61850) и интерфейсы (RS-485, ВОЛС, Ethernet (Tx/Fx)) связи. Время в устройстве АС синхронизируется с часами реального времени посредством односекундных импульсов PPS (от GPS или подстанционной системы синхронизации), ГОСТ Р МЭК 60870-5-103-2005, ГОСТ Р МЭК 60870-5-104-2004, NTP/SNTP. Благодаря свободной конфигурируемой логике работы, есть возможность модифицировать типовую функциональную логическую схему, учитывая специфику объекта [4].

ЛИТЕРАТУРА

1. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). – 7-е изд. – СПб.: УВСИС, 2005.
2. Овчаренко Н.И. Автоматика электрических станций и электроэнергетических систем: Учебник для вузов / Под ред. А.Ф. Дьякова. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2000. – 504 с.
3. Терминал автоматической синхронизации синхронного генератора типа «TOP 100 АС». Руководство по эксплуатации. Описание устройства и работы терминала АИПБ.656122.006-16 РЭ2.
4. Комплектные устройства защиты и автоматики «TOP 200» и «TOP 100». Руководство по эксплуатации. Общие технические требования АИПБ.656122.025 РЭ1.