

Результаты комплексных испытаний и опытной эксплуатации пилотной системы мониторинга системных регуляторов

А.С. ГЕРАСИМОВ, А.Х. ЕСИПОВИЧ, Е.Б. ШЕСКИН, Й.Й. ШТЕФКА

ОАО «НТЦ ЕЭС», Россия

А.В. ЖУКОВ, А.П. НЕГРЕЕВ

ОАО «СО ЕЭС», Россия

sheskin_e@ntcees.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

СМСР, АРВ, энергосистема, устойчивость, синхронные колебания.

В условиях роста количества производителей и типов автоматических регуляторов возбуждения существенным фактором, повышающим надежность функционирования Единой энергосистемы России, являлось бы наличие независимых от генерирующих компаний средств контроля функционирования СВ и АРВ, которые позволили бы однозначно определить устройство, неправильная или неэффективная работа которого привела к перерыву электроснабжения потребителей [1].

Этот факт послужил предпосылкой к разработке системы мониторинга функционирования автоматических регуляторов возбуждения и систем возбуждения генераторов электростанций, которая позволила бы обеспечить объективный контроль работоспособности устройств АРВ и СВ Системным оператором ЕЭС России при управлении режимами энергосистем. Такая система мониторинга системных регуляторов (СМСР) в части контроля работы СВ и АРВ разработана ОАО «НТЦ ЕЭС» по заказу ОАО «СО ЕЭС» и в январе 2013 года введена в опытную эксплуатацию на парогазовом энергоблоке №1 Филиала ОАО «ИНТЕР РАО - Электрогенерация» «Северо-Западная ТЭЦ» [2].

Структурная схема пилотной СМСР приведена на рис 1.

На каждом из трех генераторов первого энергоблока Северо-Западной ТЭЦ установлены многофункциональные измерительные преобразователи, которые обеспечивают измерение напряжений и токов статора (пофазно), напряжения и тока возбуждения каждого генератора, напряжения статора прямой, обратной и нулевой последовательностей, а также вычисление его активной, реактивной мощности (пофазно и суммарной) и частоты напряжения.

В качестве измерителей СМСР используются специально доработанные для этого пилотного проекта регистраторы МИП-02 компании RTSoft, которые в настоящее время применяются в системе мониторинга переходных режимов (СМНР) ЕЭС России.

Вычисленные и измеренные данные по локальной вычислительной сети передаются на анализатор (персональный компьютер) по протоколу С37-118. В анализаторе формируются линейные, расчетные и аварийные архивы. Линейный архив содержит измеренные электрические параметры генераторов с шагом дискретизации 20 мс в формате COMTRADE.

Расчетный архив содержит результаты расчетов величин, определяющих численные критерии корректности работы АРВ и СВ, с шагом дискретизации 1 с (проверка правильности функционирования СВ и АРВ по критериям выполняется один раз в секунду). Аварийный архив содержит информацию о времени обнаружения неисправности и ее характере.

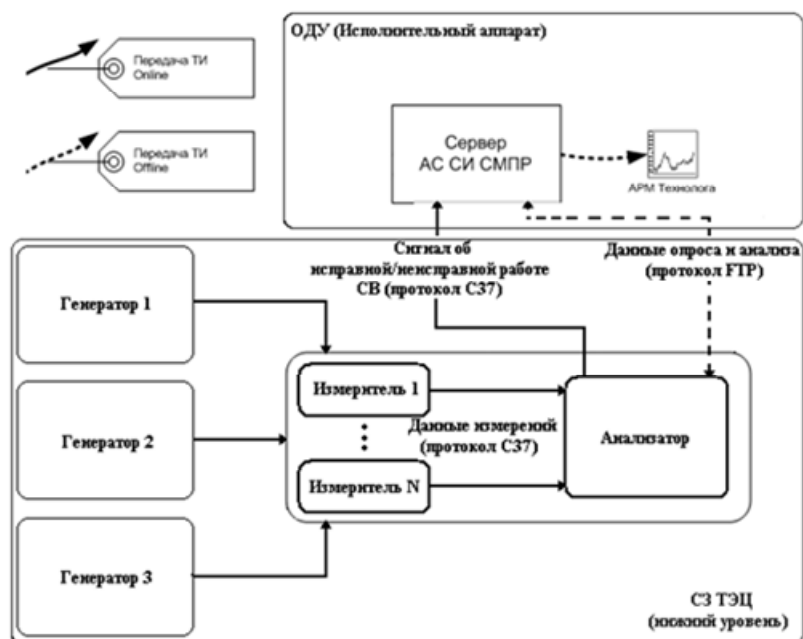


Рис. 1: Структурная схема пилотной СМСП генераторов энергоблока №1 Северо-Западной ТЭЦ

Анализатор один раз в секунду посылает сообщение о функционировании СВ и АРВ на верхний уровень (Объединенное диспетчерское управление), где этот сигнал принимается в режиме on-line.

При обнаружении неисправности посылаемое сообщение содержит информацию о возникновении неисправности и ее виде. Это позволяет специалистам диспетчерских управлений получать оперативную информацию о работе систем возбуждения выбранных синхронных генераторов, оперативно оценивать степень опасности некорректного функционирования АРВ и СВ с точки зрения планируемых на ближайшее время режимов электрической системы, а также, в случае необходимости, разрабатывать указания по модернизации, ремонту или перенастройке оборудования. На этапе опытной эксплуатации в качестве верхнего уровня СМСП используется автоматическая система сбора информации с регистраторов СМПР (АС СИ СМПР), специально доработанная для получения информации от СМСП. По результатам опытной эксплуатации будет принято решение об организации передачи on-line сигнала от сервера-анализатора СМСП о состоянии и функционировании АРВ и СВ генераторов электростанций в специализированное программное обеспечение, установленное в диспетчерских пунктах (ОИК).

Данные архива анализатора доступны АС СИ СМПР в режиме off-line по протоколу FTP. Это обеспечивает возможность получения и обработки результатов мониторинга в АРМ технолога (получение осциллограмм эксплуатационных и аварийных режимов, подробный анализ неисправностей).

Ввод пилотной СМСП в опытную эксплуатацию был осуществлен по результатам комплексных испытаний системы совместно с ПАК АС СИ СМПР Филиала ОАО «СО ЕЭС» ОДУ Северо-Запада, проведенных в период с 25.12.2012г. по 26.12.2012 г. на территории Северо-Западной ТЭЦ согласно утвержденной программе комплексных испытаний. Испытания проводились отдельно для каждого генератора энергоблока №1 Северо-Западной ТЭЦ.

Критерии и алгоритмы, положенные в основу СМСП, разработаны ОАО «НТЦ ЕЭС» с учетом многолетнего опыта испытаний и аттестации автоматических регуляторов возбуждения, предназначенных для работы в условиях ЕЭС России.

Основной функцией созданной СМСП является своевременное выявление незатухающих низкочастотных синхронных колебаний в эксплуатационных и аварийных режимах работы энергосистемы с определением генератора, являющегося их источником.

Для реализации основной функции СМСР – выявления источника синхронных колебаний – был разработан простой и ясный критерий, который заключается в сравнении фаз колебаний напряжения статора генератора и его реактивной мощности. Таким образом,

- для генератора, являющегося источником колебаний, изменение реактивной мощности и тока возбуждения практически совпадает по фазе с изменением напряжения генератора, или фаза колебаний реактивной мощности находится в одном квадранте с фазой колебаний напряжения и превышает ее на величину, не больше заданной;

- для генераторов, источниками колебаний не являющихся, изменение реактивной мощности и тока возбуждения находится практически в противофазе с изменением напряжения соответствующего генератора.

Указанные критерии легко поддаются формализации и представляются в виде алгоритмов, что особенно важно для построения автоматизированной системы контроля работы АРВ и СВ.

Анализ синхронных колебаний производится в нормальном режиме. Для определения сдвига фаз колебаний напряжения и реактивной мощности используется корреляционный метод. Вычисляются два коэффициента корреляции: один непосредственно по исходным данным (kUQ), а для вычисления второго ($kUQ1$) используются данные по реактивной мощности, прошедшие программный блок временной задержки. Таким образом, коэффициент взаимной корреляции между напряжением и реактивной мощностью максимален и равен единице, когда сдвиг фаз сравниваемых колебаний равен нулю. С увеличением разности фаз значение коэффициента корреляции уменьшается. Если генератор – источник синхронных колебаний, задержка времени данных реактивной мощности уменьшит разность фаз между двумя сигналами, в результате чего второй коэффициент взаимной корреляции станет больше первого. Сравнение коэффициентов корреляции позволяет сделать заключение о том, что генератор – источник синхронных колебаний в энергосистеме, когда значение коэффициента корреляции kUQ превышает заданное пороговое значение или, если коэффициент корреляции kUQ генератора не превышает пороговое значение, но для этого генератора справедливо соотношение $kUQ1 > kUQ$. Если коэффициенты корреляции kUQ превышают пороговые значения сразу у нескольких генераторов, то все они определяются как источники синхронных колебаний.

Кроме того, для отстройки от шумовых колебаний, вводится проверка по среднеквадратичному отклонению реактивной мощности, вычисленному за заданный период времени. Если это отклонение больше заданного порогового значения, которое определяется экспериментально на основании данных нормального режима работы, формируется сигнал о неправильной работе АРВ.

Для проверки функции выявления источника синхронных колебаний при проведении комплексных испытаний использовались встроенные в АРВ синхронных генераторов ПГУ-1 Северо-Западной ТЭЦ генераторы тестовых меандрового и синусоидального сигналов с настраиваемой частотой.

Результаты эксперимента для генератора Г-3 приведены на рис. 2.

На осциллограмме рис.2 представлены следующие измеренные и рассчитанные параметры для генератора Г-3:

- реактивная мощность генератора Q_g ;
- напряжение прямой последовательности статора генератора U_1 ;
- признак ошибки Osh ;
- коэффициенты корреляции kUQ и $kUQ1$;
- среднеквадратичное отклонение реактивной мощности sQ .

Из рисунка следует, что до включения тестового сигнала коэффициенты корреляции были отрицательны, а величина sQ была близка к нулю, то есть имели место незначительные по амплитуде и практически противоположные по фазе колебания напряжения и реактивной мощности генератора.

После активации источника тестового сигнала возникли синфазные колебания реактивной мощности и напряжения частотой 0,5 Гц значительной амплитуды, которые практически сразу же были выявлены СМСР (признак ошибки Osh изменил свое значение с нуля на единицу).

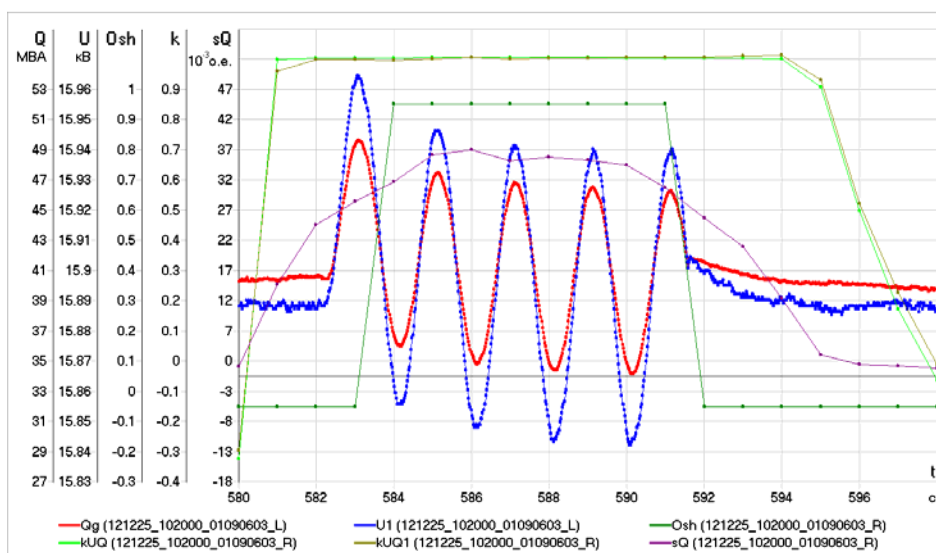


Рис. 2: Результат активации тестового синусоидального сигнала частотой 0,5 Гц в АРВ генератора Г-3 ПГУ-1 Северо-Западной ТЭЦ.

После того, как генератор тестового сигнала был отключен, признак ошибки снова принял нулевое значение.

Такой же эксперимент был выполнен для тестового сигнала с частотой 2 Гц. Результаты эксперимента приведены на рис. 3.

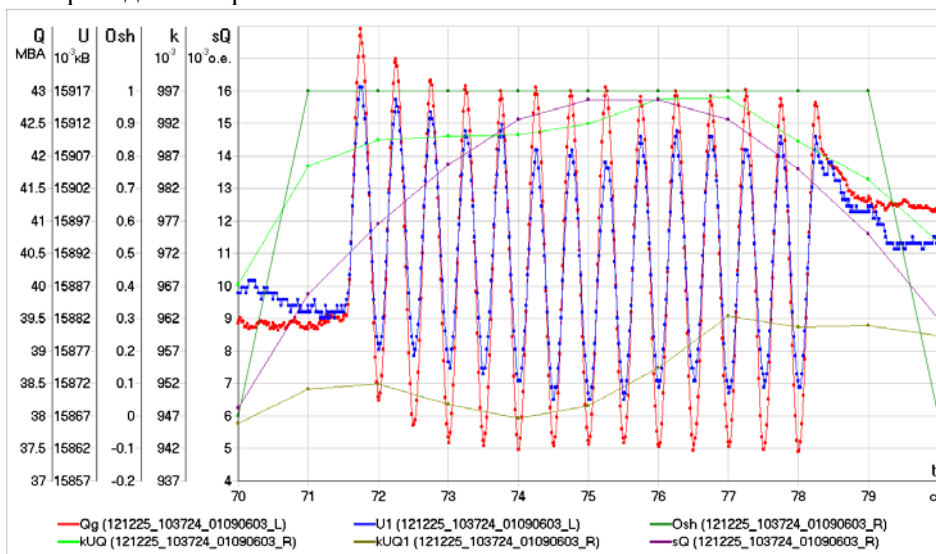


Рис. 3: Результат активации тестового синусоидального сигнала частотой 2 Гц в АРВ генератора Г-3 ПГУ-1 Северо-Западной ТЭЦ.

Из рис. 3 следует, что колебания высокой частоты также успешно и своевременно выявляются СМСР.

Кроме своей основной функции выявления источника синхронных колебаний, СМСР обеспечивает выявление следующих случаев некорректной работы регуляторов и систем возбуждения генераторов:

- отсутствие релейной форсировки при близких коротких замыканиях в энергосистеме;
- преждевременный выход из режима форсировки (до восстановления напряжения на шинах до доаварийного значения);
- отсутствие демпфирования колебаний роторов синхронных генераторов в нормальных, ремонтных и послеаварийных режимах энергосистемы, исключаящее самораскачивание или возникновение незатухающих колебаний в энергосистеме;

- неэффективная работа ограничителя минимального возбуждения в режиме недовозбуждения, ограничителя максимального (двукратного) тока ротора в режиме перевозбуждения;

- отсутствие блокировки каналов стабилизации при возникновении небалансов активной мощности с последующим изменением частоты напряжения.

В настоящее время продолжается опытная эксплуатация пилотной СМСР и получены первые результаты, подтверждающие эффективность применения системы мониторинга.

За прошедший с момента ввода в эксплуатацию период имело место большое число срабатываний СМСР, определяющих ошибку «Колебания» на генераторах Г-1 и Г-2. При этом ошибка «Колебания» чаще фиксировалась на генераторе Г-1. Анализ аварийных осциллограмм показал, что алгоритм выявления генератора, являющегося источником синхронных колебаний, функционирует корректно: АРВ генераторов Г-1 и Г-2 работают неэффективно и не демпфируют низкочастотные колебания в энергосистеме (см. рис. 4).

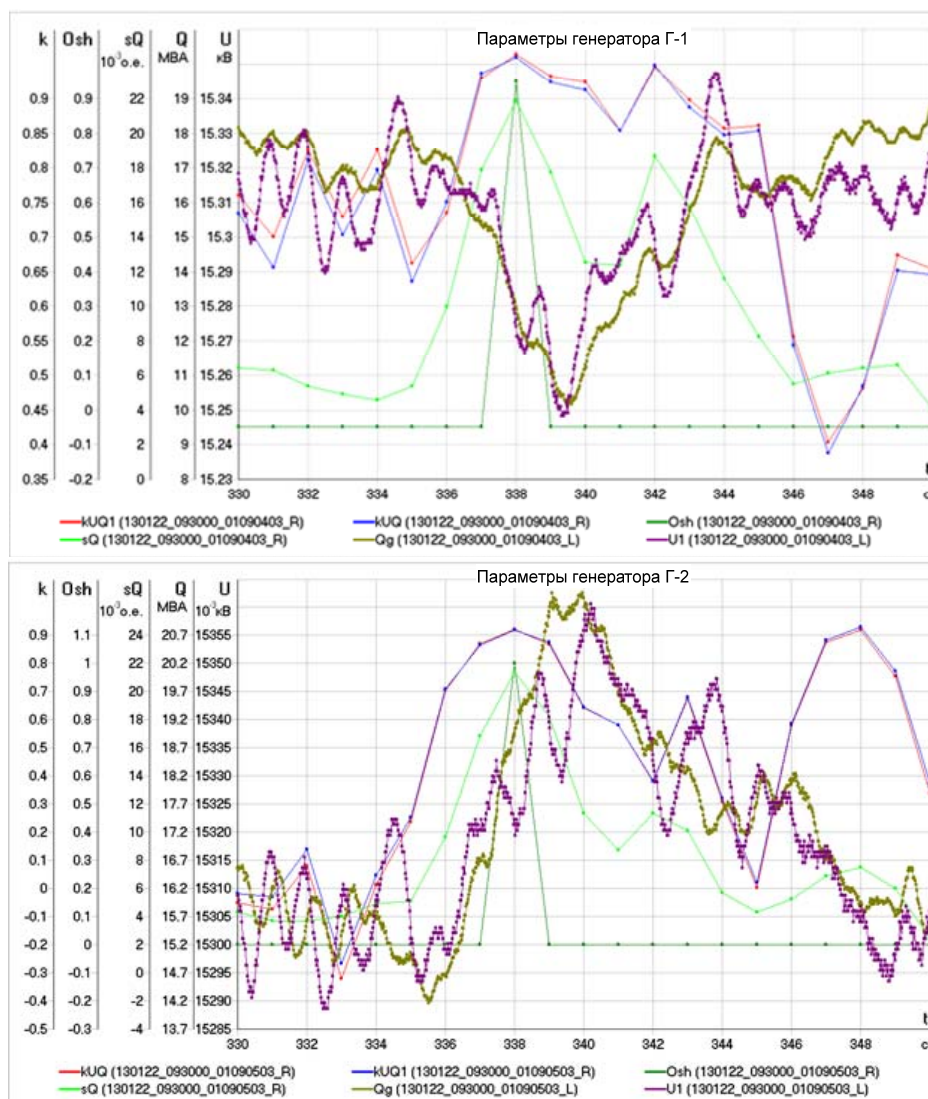


Рис. 4: Определение ошибки «Колебания» на генераторах Г-1 и Г-2

Приведенные на рис. 4 параметры свидетельствуют о том, что сообщение об ошибке сформировано в полном соответствии с реализованным алгоритмом. Коэффициенты корреляции между напряжением и реактивной мощностью для генераторов Г-1 и Г-2 на момент возникновения ошибки имели высокое значение. В момент появления сигнала ошибки произошло значительное изменение напряжения и реактивной мощности генераторов,

вследствие чего параметр sQ превысил заданный в настройках СМСП порог, что является основанием для формирования сигнала ошибки «Колебания» для генераторов Г-1 и Г-2.

Из рис. 4 следует, что настройки регуляторов возбуждения этих генераторов не обеспечивают демпфирование колебаний в имеющемся спектре частот. Этот вывод подтверждает выводы, сделанные по результатам комплексных испытаний энергоблока №1 Северо-Западной ТЭЦ при его параллельной работе с энергосистемой Nordel, описание которых приведено в [3].

Кроме того, регуляторы Г-1 и Г-2 настроены одинаково, в то время как параметры Г-1 и Г-2 (в том числе и постоянные времени обмоток возбуждения (T_{d0})) значительно отличаются, что привело к более частым срабатываниям СМСП по ошибке «Колебания» на Г-1, чем на Г-2. Полученные результаты подтверждают неэффективность стабилизаторов типа PSS1A, структура которых, как показали многочисленные аттестационные испытания, проведенные на ЦАФК ОАО «НТЦ ЕЭС» в 2010–2012 гг., принципиально не позволяет обеспечить демпфирование межзональных колебаний низкой частоты [4]. Применение подобных стабилизаторов в ЕЭС России не рекомендовано.

При этом настройки регулятора возбуждения AVR-3М генератора Г-3 выбраны правильно и обеспечивают эффективную стабилизацию параметров электрических режимов (см. рис. 5).

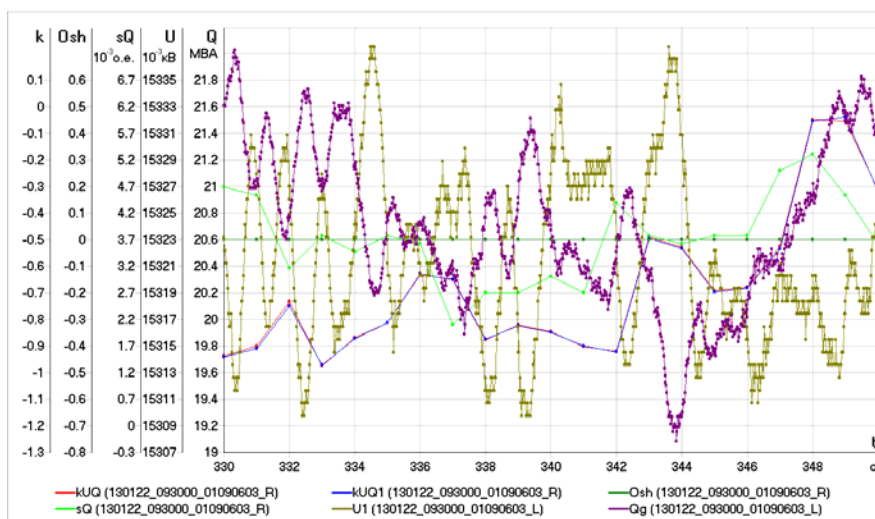


Рис. 5: Измеренные и вычисленные параметры генератора Г-3 в момент определения ошибки «Колебания» на генераторах Г-1 и Г-2

Осциллограммы реактивной мощности и напряжения статора генератора, приведенные на рис. 5, позволяют убедиться в том, что любое изменение напряжения статора сопровождается соответствующим изменением реактивной мощности в противоположном направлении, о чем свидетельствует отрицательное значение коэффициентов корреляции, вычисленных для Г-3.

Таким образом, результаты, полученные при проведении комплексных испытаний и опытной эксплуатации СМСП, позволяют сделать следующие выводы:

- разработанная Система мониторинга системных регуляторов позволяет обеспечить объективный независимый контроль функционирования АРВ и СВ;
- эффективность работы СМСП подтверждена многочисленными экспериментами на ЦАФК ОАО «НТЦ ЕЭС» [2], а также комплексными испытаниями, предшествовавшими пуску системы мониторинга в опытную эксплуатацию;
- первые результаты опытной эксплуатации СМСП позволили получить подтверждение выводам о неэффективности функционирования стабилизаторов типа PSS1A в условиях ЕЭС России, полученным ранее при проведении аттестационных испытаний регуляторов возбуждения, оснащенных регуляторами подобного типа [4].

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Гущина Т.А., Герасимов А.С., Есипович А.Х., Зеккель А.С., Кирьенко Г.В. Опыт использования цифро-аналого-физического комплекса для обеспечения системной надежности ЕЭС России // Электрические станции. №12. 2005.
- [2] Герасимов, А.С., Есипович, А.Х., Штефка, Й., Шескин, Е.Б., Негреев, А.П. Реализация пилотного проекта системы мониторинга функционирования систем возбуждения и АРВ на генераторах энергоблока №1 филиала ОАО «ИНТЕР РАО – Электрогенерация» «Северо-Западная ТЭЦ» [Текст] / А.С. Герасимов. // Мат-лы III Международной научно-техн. конф. «Энергетика глазами молодежи» - Екатеринбург, 2012 г.
- [3] Герасимов А.С., Есипович А.Х., Зеккель А.С., Гилев А.М., Грязнов И.Ю., Пайвин А.А., Рейник Д.О. Оптимизация настройки регуляторов возбуждения генераторов Северо-Западной ТЭЦ для обеспечения ее параллельной работы с энергосистемой NORDEL // Электрические станции. № 4. 2004 г.
- [4] A. Burmistrov, E. Popov, A. Urganov, A. Gerasimov, A. Esipovich. Estimation of efficiency of modern excitation controllers of synchronous machines in the conditions of physical model of a complex power system and suggestion of estimation technique and criteria as an addition to the IEC standard. CIGRE 2012.