

**В.А. Фёдорова, В.Ф. Кириченко, Г.В. Глазырин**  
Новосибирский государственный технический университет  
Новосибирск, Россия

## **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВКЛЮЧЕНИЯ ГЕНЕРИРУЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ПАРАЛЛЕЛЬНУЮ РАБОТУ С ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ**

*Аннотация.* Синхронизация – операция по включению генераторов на параллельную работу с энергосистемой. В рамках исследования разработана автоматическая система синхронизации, реализованная на базе микропроцессорного терминала КПА-М с возможностью включения генераторов различными методами: точной и ускоренной синхронизации.

**V.A. Fyodorova, V.F. Kirichenko, G.V. Glazyrin**  
Novosibirsk State Technical University  
Novosibirsk, Russia

## **AUTOMATIC SWITCHING SYSTEM DEVELOPMENT FOR PARALLEL OPERATION WITH ELECTRIC POWER SUPPLY**

*Abstract.* Synchronization is a complex operation for switching generator to an electric energy system for parallel operation. The authors propose an automatic synchronization system, implemented on the basis of the CEA-M microprocessor terminal with the possibility of turning on generators using various methods: accurate and accelerated synchronization.

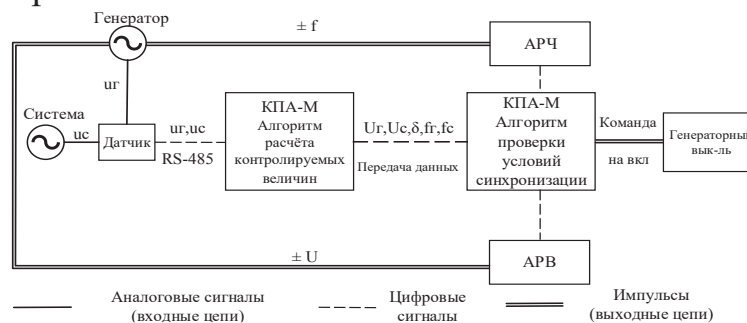
Синхронизация – это процесс, осуществляющий корректное включение синхронных генераторов на параллельную работу с остальными частями электроэнергетической системы (ЭЭС). К данному процессу относится как включение вновь устанавливаемого оборудования и оборудования после ремонтов, так и вынужденный быстрый ввод резервов генерации для ликвидации аварийных ситуаций [1].

На практике процесс синхронизации сопряжен с некоторыми трудностями. Во-первых, при выполнении синхронизации вручную возрастает вероятность неуспешности процесса в силу наличия человеческого фактора. Это приводит как к износу оборудования, так и к его возможному повреждению. Вторая проблема – нерациональность использования лишь одного метода синхронизации для пуска

оборудования. В некоторых случаях требуется быстрый ввод резервов генерации. Проблема исследования заключается в отсутствии интеллектуальной системы синхронизации, способной функционировать в условиях неопределенности режима ЭЭС и производить синхронизацию различными методами. На основании недостатков алгоритмов работы существующих устройств принято решение по разработке автоматической системы синхронизации на базе комплекса КПА-М (производство новосибирской компании «ИАЭС»).

Актуальность исследования заключается в разработке и настройке автоматической мультифункциональной системы синхронизации, которая позволит решить описанные выше проблемы. Такая система способна функционировать в условиях неопределенности режима ЭЭС и осуществлять процесс синхронизации не только автоматически, но и интеллектуально.

Структура мультифункциональной системы синхронизации представлена на рис. 1.



**Рис. 1 - Структурная схема системы синхронизации**

Для осуществления комплексного процесса синхронизации система должна состоять из следующих структурных частей (органов) [2]:

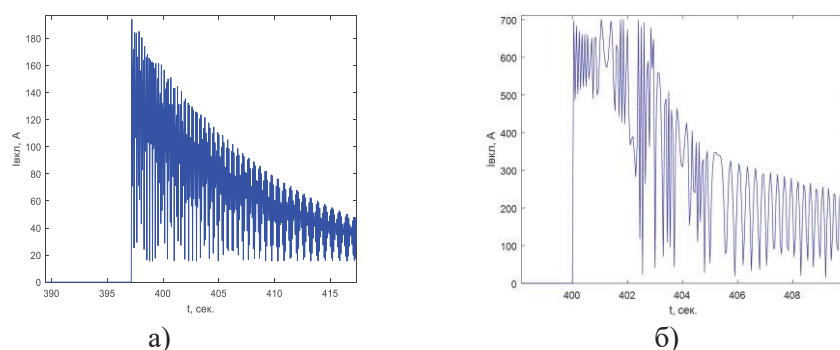
- Измерительный орган. Орган на основании выборок напряжения рассчитывает действующие значения напряжений генератора и энергосистемы, их частоты вращения и угол  $\delta$  между векторами их ЭДС;
- Логический орган. Орган по полученным из предыдущего органа выборкам определяет разницу в режимных параметрах генератора и энергосети, сравнивает её с интегрированными в блок уставками и принимает определенное решение по управляющим воздействиям;
- Орган управляющих воздействий. Орган физически формирует выходные воздействия: подает импульсы на генераторный выключатель, либо на регуляторы тока возбуждения (АРВ) и частоты вращения (АРЧ).

## Логический орган системы синхронизации

Логическая орган системы реализуется программно, его главная задача – выполнять синхронизацию вариативно (автоматически традиционным и нетрадиционным методами или с переводом системы в режим ручного выполнения).

Традиционный метод, которым система может выполнять синхронизацию, является метод точной синхронизации (ТС). При методе ТС необходимо обеспечить равенство режимных параметров генератора и энергосистемы. То есть разница между ними в пределе должны стремиться к нулю. Существует еще один традиционный метод синхронизации – самосинхронизация. Выполнение процесса системой данным методом не предусмотрено в следствии большой величины уравнильных токов в момент включения [3].

Традиционные методы синхронизации не могут обеспечить успешный быстрый запуск генераторов (в аварийном режиме), поэтому возникла необходимость в разработке усовершенствованного метода синхронизации. Уставки для данного метода: угол  $\delta$  в пределах от 0 до 30–40°, ток возбуждения – около 60 % от номинального тока (для тестируемого генератора от 6 до 10 А). Усовершенствованный метод назван ускоренным (УС). На рис. 2 показаны результаты математического моделирования, отражающие эффективность применения метода УС для снижения уравнильных токов в обмотке статора [2].



**Рис. 2 - Изменение уравнильного тока при использовании метода ускоренной синхронизации (а), метода точной синхронизации (б)**

Научная новизна предлагаемых решений:

1. Разработка нового модернизированного (ускоренного) метода синхронизации. Синхронизация данным методом позволит обеспечить оптимальные условия для включения генератора: снизить уравнильные токи в обмотке статора по сравнению с традиционным методом самосинхронизации и времени осуществления синхронизации по сравнению с традиционным методом точной синхронизации на 50

%.

2. Разрабатываемая автоматическая система синхронизации позволит осуществлять синхронизацию на нескольких выключателях различными методами. Подобное решение снижает капитальные затраты на системы синхронизации.

3. Для измерительного органа системы разработан специальный комплексный алгоритм по расчету режимных параметров генератора и энергосистемы, позволяющий определять контролируемые параметры с требуемой точностью даже в аварийных режимах работы энергосистемы.

Основные отличия разрабатываемой системы синхронизации от имеющихся аналогов:

1. Расширенный по сравнению с аналогами функционал: использование традиционного метода точной синхронизации и разработанного в рамках исследования метода ускоренной синхронизации.

2. Корректное выполнение системой функции измерения режимных параметров генератора и энергосистемы в условиях неопределенности режима ЭЭС (возможного аварийного режима с быстрым изменением параметров и их отклонением от номинального значения) за счёт использования разработанного комплексного алгоритма;

3. Обеспечение оптимальных условий для включения генератора при использовании разработанного метода ускоренной синхронизации: снижение уравнивающих токов в обмотке статора по сравнению с традиционным методом самосинхронизации и времени осуществления синхронизации по сравнению с традиционным методом точной синхронизации на 50 %.

4. Снижение капитальных затрат на системы автоматики, т.к. разработанная система может обеспечивать синхронизацию на нескольких выключателях (т.е. нескольких генераторов).

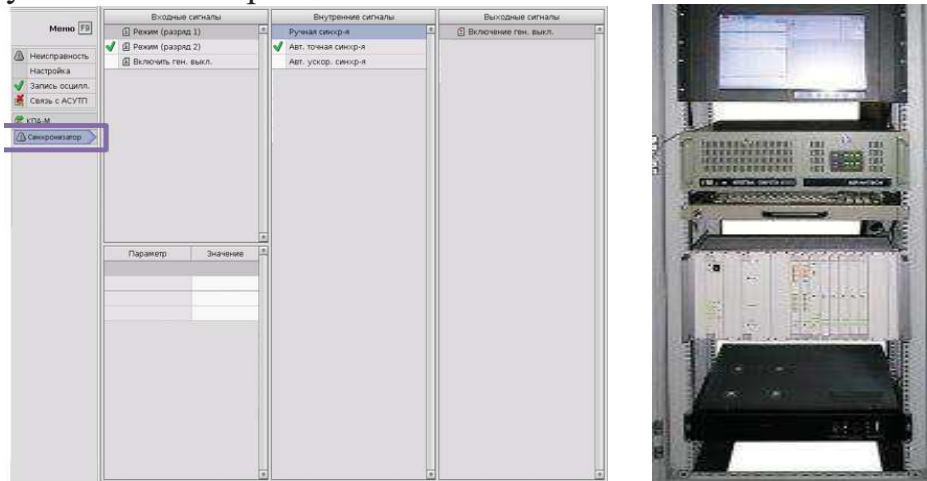
5. Система является цифровой и интегрируется в микропроцессорный терминал КПА-М, который параллельно может быть использован для решения других задач автоматизации (различные защиты генераторного оборудования и т.д.), что в совокупности снижает стоимость системы почти в 3 раза по сравнению с аналогами.

Социальная значимость проекта – исключение человеческого фактора и необходимости высокой квалификации персонала для ручного осуществления процесса, а также использование системы синхронизации для ликвидации аварийных ситуаций в ЭЭС.

Перспектива применения разработки – в учебном процессе

университета и на реальных объектах энергетики, в частности на крупных синхронных вращающихся машинах.

Предполагаемый внешний вид дисплея системы и самой системы в корпусе показан на рис. 3.



**Рис. 3 - Система синхронизации на базе микропроцессорного терминала КПА-М**

### **Список использованных источников**

1. Simulation of transients in an autonomous power system considering the generator and transformer magnetic core saturation / G. Glazyrin, N. Mitrofanov, A. Rusina, V. Fyodorova, A. Arestova. – DOI 10.1016/j.egyр.2022.11.031. – Text: direct // Energy Reports. – 2023. – Vol. 9, suppl. 1: 9 inter. conf. on Power and Energy Systems Engineering (CPESE–2022), Japan, Kyoto, 9–11 Sept. 2022. – P. 444–451.

2. Improving methods for synchronizing generators / V. A. Fyodorova, V. F. Kirichenko, G. V. Glazyrin, A. G. Rusina. - DOI 10.1109/EDM58354.2023.10225125. - Text: direct // 24 International Conference of Young Professionals in Electron Devices and Materials (EDM-2023): proc., Novosibirsk, 29 June – 3 July 2023. – Novosibirsk: IEEE, 2023. – P. 1040-1045. - ISBN 979-8-3503-1044-3.

3. Mathematical model development for the study of the general primary frequency control in the power systems / V. A. Fyodorova, V. F. Kirichenko, G. V. Glazyrin, A. G. Rusina [et al.]. – DOI 10.1109/EDM58354.2023.10225162. – Text: direct // 24 International Conference of Young Professionals in Electron Devices and Materials (EDM–2023) : proc., Novosibirsk, 29 June – 3 July 2023. – Novosibirsk: IEEE, 2023. – P. 104–1045. – ISBN 979-8-3503-1044-3. – Работа выполнена: при поддержке Russian Science Foundation, research project No. 22-79-00181.