

УДК 621.3

**МАЛАЯ ГЕНЕРАЦИЯ И СИНХРОНИЗАЦИЯ РАБОТЫ ГЕНЕРАТОРОВ****Шокосумов Муслим Давлатович,**

Магистр, Факультет «Приборостроительный» Кафедра «Электротехника» Специальность: Силовые и микропроцессорные аппараты, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова», г. Ижевск

**Аннотация**

Маломощные электро- и теплогенераторы, работающие с мощностью до 25-30 мегаватт, образуют систему малой генерации. Их размещение в непосредственной близости к потребителям электроэнергии позволяет повысить стабильность энергоснабжения, минимизировать потери энергии в распределительных сетях и обеспечить независимость удаленных объектов. Данный подход приобретает особую актуальность для нефтегазового сектора.

Маломасштабная генерация электроэнергии набирает все большую популярность в энергетике по всему миру, обусловленная как технологическими, так и экономическими факторами. Настоящая статья посвящена анализу понятия «маломасштабной генерации», выявлению ключевых движущих сил ее распространения и вопросам синхронизации генерирующих установок.

**Ключевые слова:** малая генерация, эффективность, энергосистема, генератор, синхронизация

**SMALL GENERATION AND SYNCHRONIZATION OF GENERATORS****Shokosumov Muslim Davlatovich,**

Master, Faculty of Instrument Engineering, Department of Electrical Engineering, Specialty: Power and Microprocessor Apparatus, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Izhevsk State Technical University named after M. T. Kalashnikov», Izhevsk

**ABSTRACT**

Small-scale generation is the production of electric and thermal energy by low-capacity facilities (typically up to 25–30 MW) located close to consumers. It improves power supply reliability, reduces grid losses, and ensures the autonomy of remote facilities, becoming a key solution for the oil and gas industry.

The introduction of small-scale generation facilities into the energy sector has become a global trend for technological and economic reasons. This article examines the definition of «small-scale» generation, the factors driving its development, and generator synchronization.

---

**Keywords:** small generation, efficiency, power system, generator, synchronization

---

Сегодня все больше крупных предприятий обращают внимание на «малую генерацию» как способ обеспечения своей энергетической независимости. Под «малой генерацией» понимают систему модульных электро- и теплогенераторов, мощностью до нескольких мегаватт и гигакалорий в час. Эти установки производят энергию непосредственно на месте потребления, минуя высоковольтные линии электропередач [1,3].

Успешность функционирования малой генерации в рамках Единой энергетической системы (ЕЭС) зависит от целого ряда обстоятельств. Среди ключевых факторов, влияющих на этот аспект, можно выделить:

Малая генерация отличается небольшими капиталовложениями и быстрым строительным циклом, что позволяет добиться относительно скорого возврата инвестиций - всего за 5-7 лет, исходя из существующих цен на тепло и электричество.

Расположение малых генераторов вблизи потребителей позволяет минимизировать расходы на передачу электроэнергии по сетям.

В настоящее время подход к маломасштабной генерации сводится к двум основным направлениям:

В качестве дополнительного источника энергии для устройств, относящихся к первой и особой группам надежности;

В качестве ключевого решения для обеспечения электроэнергией жителей удаленных территорий.

Использование обоих вариантов сопровождается определенными трудностями и недостатками. В частности, энергоблоки мощностью от 5 до 25 МВт, оснащенные генераторами с мощностью свыше 1 МВт, работающими на напряжении 10 кВ, оказываются нерентабельными в качестве резервного энергоснабжения для бытовых, коммунальных, офисных и прочих потребителей, подключенных к трансформаторным подстанциям 10/0,4 кВ.

Внедрение таких мощностей сопровождается замедлением инвестиций и, как следствие, снижением их развития. Небольшие электростанции, обладающие такой мощностью, могут эффективно обеспечивать электроэнергией ограниченные территории. Но автономная работа, или так называемый островной режим, основанный на самобалансировке, сталкивается с техническими проблемами, главными из которых являются ограниченная маневренность и управляемость таких энергоисточников.

Такой подход объясняется функциональностью систем управления скоростью генератора и его возбуждением. Также, для гарантированного электроснабжения в автономном режиме важно иметь резервные генерирующие мощности, которые по величине равны или превосходят мощность самого мощного генератора в системе. [2]

Согласование работы генераторов подразумевает настройку таких параметров, как напряжение, частота, фазовый угол и последовательность фаз, чтобы два или более источника электроэнергии могли работать совместно. Такая синхронизация крайне важна для стабильного электроснабжения и повышения общей выдаваемой мощности.

Для гарантированного электроснабжения объектов, будь то резервное или основное питание, нередко применяют конфигурацию с двумя или более генераторами, работающими параллельно в единой сети. Такая схема позволяет обеспечить непрерывность подачи электроэнергии потребителям.

Для запуска ротора генератора необходимо преодолеть начальное сопротивление, что влечет за собой существенный скачок тока в сети. Такой пусковой ток может вызвать

кратковременное снижение напряжения. Чтобы избежать негативных последствий, при подключении генератора применяется процедура синхронизации. Она гарантирует мягкий и корректный пуск оборудования, соответствующий установленным нормам. Вкратце, синхронизация заключается в адаптации генератора к характеристикам уже работающей сети. Благодаря этому удается исключить резкие перепады напряжения и другие сбои.[2,5]

Одновременная эксплуатация нескольких генераторов гарантирует непрерывное электроснабжение. Такая система дает возможность задействовать оборудование по графику, что увеличивает его срок службы. Кроме того, расширение мощности системы простое: достаточно добавить новые генераторы.

Одновременное функционирование нескольких генераторов позволяет преодолеть ряд существенных сложностей:

Сбалансированная нагрузка на генераторы, обеспечивающая их долговечность и предотвращающая преждевременную поломку.

Усиленная надежность электроснабжения гарантируется за счет резервного источника питания. Даже в случае сбоя одного генератора, резервное питание обеспечит бесперебойную работу системы.

Оптимизация работы оборудования. С помощью синхронизации достигается сокращение времени простоя и продление срока службы силовых агрегатов, что ведет к уменьшению расходов на ремонт и обслуживание. Кроме того, синхронизация способствует снижению потребления топлива и смазочных материалов. [5]

Генераторы предлагают возможность совместной эксплуатации как в одном месте, так и на расстоянии. Их масштабируемость позволяет расширять систему, добавляя новые устройства по мере необходимости. Параллельное функционирование генераторов особенно выгодно при значительных перепадах напряжения, когда требуется быстро реагировать на изменяющиеся потребности. Такая конфигурация гарантирует надежность, экономичность и продлевает срок службы техники за счет распределения нагрузки и оптимизации энергопотребления. [3]

Достижение точной синхронизации возможно лишь при участии высококвалифицированных специалистов и применении высокоточных измерительных устройств. Такой подход безопасен: он не нанесет вреда оборудованию и позволяет подключать мощные установки с функцией автоматической синхронизации, предотвращая перетоки тока.

Эту схему синхронизации генератора применяют при соблюдении следующих условий:

Разница напряжений электростанции и сети не превышает 1% при использовании автоматического ввода резерва или до 5%, если АВР нет. [4]

Угол между фазами – менее 10°.

Разница в частотах – максимум 0,1%.

Чтобы добиться точной синхронизации, регулируют ток, подаваемый на возбуждение генератора, и угол поворота вала двигателя. Автоматический синхронизатор выполняет эту задачу, а при ручном тестировании используются частотомеры, вольтметры и синхроскоп.

Чтобы сгладить скачки тока, которые появляются при включении генератора, применяют реактор. Напряжение генератора, установленное на номинальное значение, сначала снижается до субсинхронной частоты. После этого генератор соединяется с шиной с помощью реактора, а спустя 6-8 секунд реактор отключается. При грамотном подборе реактора ток генератора не превышает номинального значения и может быть даже ниже его.

Подключение осуществляется просто и быстро, главное – правильно настроить скорость вращения ротора. Это позволяет снизить частоту до уровня, близкого к субсинхронному (несколько Гц). Для увеличения частоты после подключения генератор запускается в работу. Процесс самосинхронизации сопровождается кратковременными скачками тока, не превышающими трехкратного номинального значения, что не влечет за собой угрозы для функционирования установки. Согласованная работа генераторов является ключевым фактором для бесперебойного функционирования параллельных систем. Способ синхронизации оказывает существенное влияние на производительность и безопасность энергоснабжения в целом, причем его эффективность определяется техническими параметрами оборудования, конфигурацией системы и внешними эксплуатационными условиями. [2,4,5].

#### Список литературы:

1. Азорин, А.Ю. Синхронизация в системе электроснабжения, включающей распределенную генерацию / А.Ю. Азорин // Системные исследования в энергетике. Труды молодых ученых ИСЭМ СО РАН. – Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2014. – С. 7-14.
2. Денисов В.В., Фишов А.Г., Шиллер М.А. Макетирование и испытание системы контроля устойчивости генераторов по данным векторных измерений// Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2014. №1-2. С. 319-323.
3. Кучеров Ю.Н., Березовский П.К., Веселов Ф.В., Илюшин П.В. Анализ общих технических требований к распределенным источникам энергии при их интеграции в энергосистему // Электрические станции. 2016. № 3. С. 2-10.
4. Мультиагентное оптимальное управление электрическими сетями с активными потребителями и возобновляемыми источниками энергии / В.В. Молодюк, Я.Ш. Исамухамедов, П.В. Илюшин, Д.А. Ивановский // Энергетик. – 2022. – № 2. – С. 45-52
5. Павлов, Г.М. Автоматика энергосистем / Г.М. Павлов, Г.В. Меркурьев. – Санкт-Петербург: Издание Центра подготовки кадров РАО ЕЭС России, 2001. – 388 с.

#### References:

1. Azorin, A. Yu. Synchronization in the power supply system including distributed generation / A. Yu. Azorin // System studies in energy. Works of young scientists of ISEM SB RAS. - Irkutsk: ISEM SB RAS, 2014. - Pp. 7-14.
2. Denisov V.V., Fishov A.G., Schiller M.A. Prototyping and testing of a generator stability control system based on vector measurement data // Scientific problems of transport of Siberia and the Far East. 2014. No. 1-2. Pp. 319-323.
3. Kuchеров Yu.N., Berezovsky P.K., Veselov F.V., Ilyushin P.V. Analysis of general technical requirements for distributed energy sources during their integration into the power system // Electric stations. 2016. No. 3. P. 2-10.
4. Multi-agent optimal control of electric grids with active consumers and renewable energy sources / V.V. Molodyuk, Ya.Sh. Isamukhamedov, P.V. Ilyushin, D.A. Ivanovsky // Energetik. - 2022. - No. 2. - P. 45-52
5. Pavlov, G.M. Automation of power systems / G.M. Pavlov, G.V. Merkuryev. - St. Petersburg: Publication of the Personnel Training Center of RAO UES of Russia, 2001. - 388 p.