

С.В. Попов¹, А.В. Бишлетов²

ОСОБЕННОСТИ ЗАЩИТЫ СЕТИ ПРИ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ РАБОТЕ С АВТОНОМНЫМ ГЕНЕРАТОРОМ

Волжский государственный университет водного транспорта¹
ООО «Электро Лэнд»²

Рассмотрена проблема применения стандартных устройств защиты сети при параллельной работе с автономным генератором. Использование устройств защиты является обязательным требованием при параллельной работе автономных генераторов с сетью, от их корректной работы зависит безопасность работы обслуживающего персонала со стороны питающего фидера сети или высокого напряжения. Указаны особенности и физические принципы работы таких устройств, а также сложность в их настройке для выполнения точного определения отключения сети без ложных срабатываний. Приведено обоснование для разработки нового устройства, которое было реализовано на базе контроллера Siemens. Показан новый алгоритм работы устройства защиты сети и описаны результаты его апробации в составе электрооборудования автономной электростанции котельной. Алгоритм защиты сети может быть использован в составе автоматизированных электроэнергетических установок, где предусмотрена параллельная работа генерирующих агрегатов с сетью.

Ключевые слова: электроснабжение, автономная электростанция, параллельная работа с сетью, генерирование электроэнергии, устройства защиты сети, векторные диаграммы синхронного генератора.

Для качественного и бесперебойного электроснабжения потребителей необходимо надежное согласование всех элементов энергосистемы: источника электроэнергии, сети, нагрузки и устройств защиты. Особую роль здесь играют устройства защиты источников и потребителей от возможных аварийных режимов в энергосистеме.

В автономных электростанциях, как правило, в качестве источников электроэнергии используют синхронные генераторы, приводимые в действие различными видами двигателей (дизельные, газо-поршневые и др.) Для повышения эффективности работы автономной электростанции, а также для снижения себестоимости вырабатываемой электроэнергии синхронный генератор могут включать в режим параллельной работы с сетью. Такой режим работы автономной электростанции не является основным и применяется при незначительном дефиците электроэнергии для штатного питания электропотребителей объекта. Режим параллельной работы автономного генератора с сетью также применяется на объектах первой категории, когда необходимо бесперебойное электроснабжение. В таком случае при отключении какого-либо источника электроснабжение не прекращается. Следует отметить, что система АВР (автоматический ввод резерва) и система автоматического запуска АДГ (аварийный дизель-генератор) обеспечивают подачу питания на потребителей, но не его бесперебойность.

Существует несколько вариантов обеспечения бесперебойности электроснабжения:

- размещение автономного источника переменного тока для параллельной работы с сетью, либо другим источником;
- внедрение индивидуальных ИБП (источник бесперебойного питания) для ответственных потребителей;
- установка системы хранения электроэнергии большой мощности.

Выбор любого направления является технико-экономической задачей, которая решается для каждого объекта индивидуально. Следует отметить, что на одном объекте могут быть использованы предложенные решения в различной комбинации.

На примере реализованной электростанции на рис. 1 показана схема системы электроснабжения объекта [1].

На схеме обозначено: G1 – аварийный дизель-генератор, G2 и G3 – основные автономные генераторы, АВР – автоматический ввод резерва, ИБП1 и ИБП2 – источники бесперебойного питания.

В штатном режиме работы нагрузка может получать электропитание как от сети, так и от генератора или генераторов, работающих параллельно. Синхронизация генераторов между собой, прямая и обратная синхронизация генераторов с сетью выполняется автоматически. Система автоматики выполняет все виды защиты генераторных агрегатов и контроль параметров напряжения сети.

В нештатном режиме, когда генераторный агрегат работает параллельно с сетью, по каким-либо причинам может произойти отключение цепи питания на действующем фидере. Отключение может иметь место как на вторичной обмотке трансформатора, установленного на распределительной подстанции, так и на его первичной обмотке. В этом случае основная опасность заключается в том, что сетевой контактор КМ_С, как и генераторный контактор КМ_Г, остаются включенными, следовательно, напряжение от генератора будет приложено к питающему фидеру. Соответственно, фидер, отходящий от подстанции, как и электрооборудование, включенное в эту цепь, будут под напряжением.

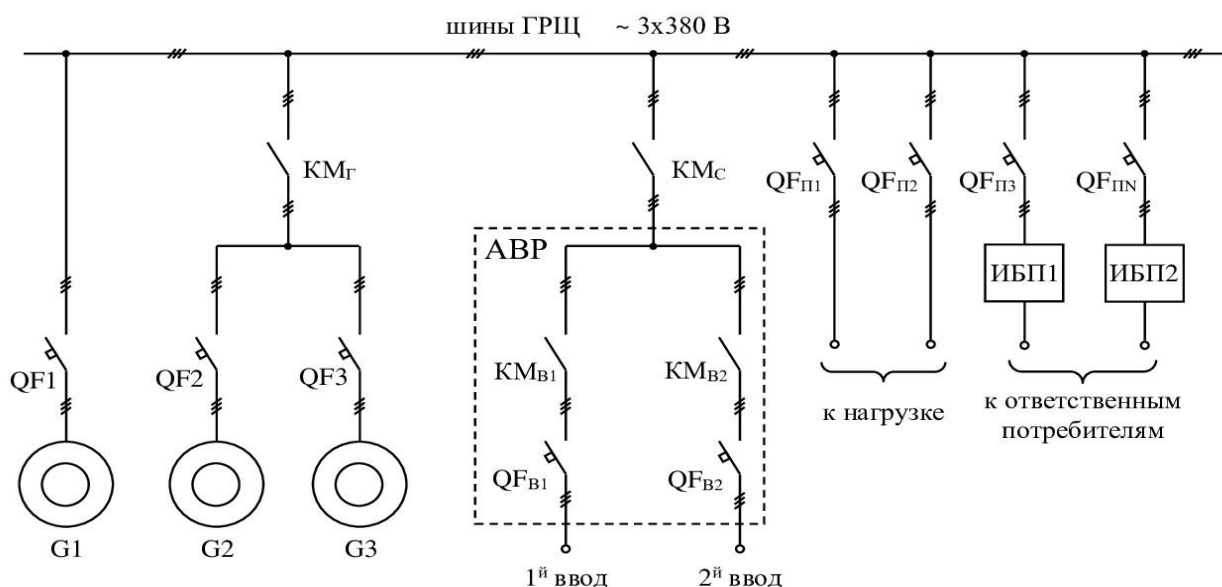


Рис. 1. Однолинейная схема системы электроснабжения

Именно по этой причине в системах генерирования и распределения электроэнергии, работающих на сеть, должна быть установлена защита сети от подачи напряжения со стороны автономных источников.

Для определения отключения напряжения сети при параллельной работе выполняются:

- контроль скорости изменения напряжения;
- контроль скорости изменения мощности;
- контроль скорости изменения частоты генератора;
- защита от броска вектора.

Современная электротехника предлагает устройства защиты сети, работающие на основе контроля скорости изменения частоты, что позволяет обнаружить потерю напряжения сети за достаточно малый период времени [2]. Измерения скорости изменения частоты может выполняться двумя путями, либо за счет контроля времени между моментами перехода

напряжения через ноль, либо методом разложения напряжения в ряд Фурье, который позволяет определить частоту основной гармоники. Первый способ достаточно прост и не требует сложной обработки входных сигналов. Именно это позволяет применять этот метод обработки сигналов в многофункциональных и недорогих контроллерах. Второй способ требует выполнения более сложных вычислительных алгоритмов, поэтому используется в реле защит специального назначения.

Защита от броска вектора основана на внезапном отключении фидера питания основной сети, при этом нагрузка будет обеспечиваться электропитанием только от генератора. Алгоритм защиты сети выполняет сравнение длительности полупериодов напряжения предыдущего и последующего. При превышении полученного результата выше установленного значения алгоритм формирует сигнал об отключении сети. Схема замещения цепи распределения электроэнергии показана на рис. 2. При замкнутом контакторе КМ_С электроэнергия в нагрузку поступает от генератора – основная часть, и от сети – малая часть (10-20 % $P_{НОМ}$). Векторная диаграмма для параллельной работы генератора и сети на общую нагрузку показана на рис. 3, а. При отключении сетевого контактора КМ_С нагрузка сети мгновенно перебрасывается на генератор. При этом ток генератора, как и значение вектора E_G , увеличиваются и смещаются на некоторый угол (рис. 3, б). В результате угол нагрузки θ увеличивается на угол $\Delta\theta$. Для смещения вектора напряжения в диапазоне срабатывания защиты необходимо, чтобы разница между мощностью генератора на момент перехода в автономный режим и нагрузкой автономного участка находилась в пределах 20-30 %.

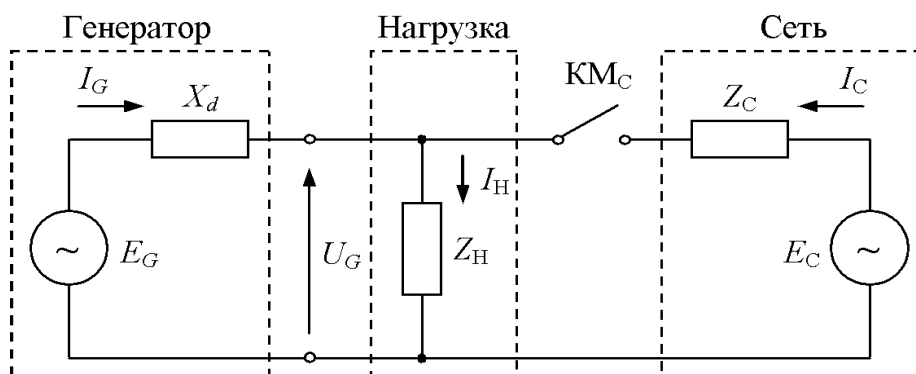


Рис. 2. Схема замещения цепи распределения электроэнергии

Опыт эксплуатации показал, что реле защиты, работающие на принципе вычисления смещения вектора, имеют ложные срабатывания, например, при пуске потребителя значительной мощности. Смещение уставок срабатывания реле не приводит к желаемому результату.

Поскольку система автоматики и управления автономной электростанцией выполнена на базе промышленного контроллера, функция по защите сети была реализована внедрением дополнительной программы [3]. Алгоритм защиты (рис. 4) при отключении сети заключается в контроле значения мощности сети, значения наброса мощности и времени нарастания нагрузки.

Анализ параметров значения наброса мощности, как и времени нарастания нагрузки, не всегда являются показателями отключения сети, поскольку многочисленная нагрузка, обладающая активным и активно-индуктивным характером, вызывает схожие переходные процессы. Поэтому в алгоритме присутствует проверка значения мощности сети, которая будет иметь нулевое значение при отключении сети.

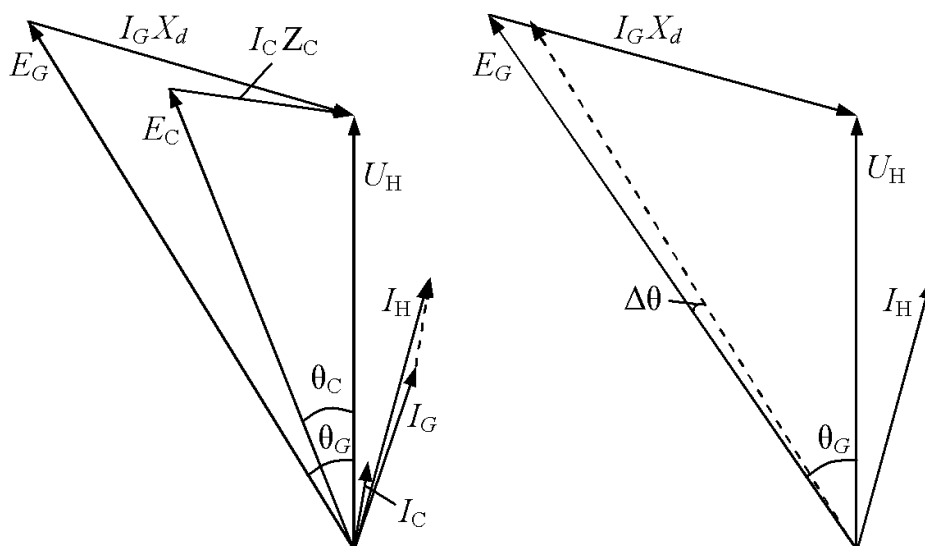


Рис. 3. Векторные диаграммы синхронного генератора:
 а) работающего параллельно с сетью, б) при отключении сети

Следует отметить, что в штатных режимах работы, даже если в соответствии с техническими требованиями ток в сети должен быть равен нулю, практически их выполнить не представляется возможным [4]. В любом случае при стремлении поддержания мощности сети равно нулю будут происходить «перетоки» мощности как активной, так и реактивной (в большей степени) от генератора в сеть и из сети в нагрузку.

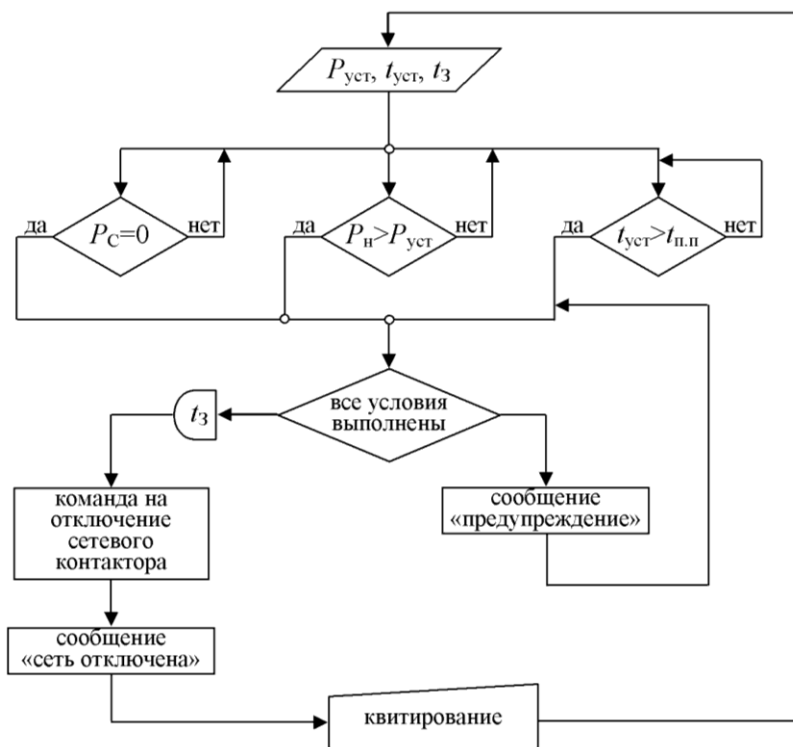


Рис. 4. Алгоритм реализации защиты сети
 $P_{уст}$, $t_{уст}$, $t_з$ – уставка мощности, минимального времени и времени задержки соответственно; P_C – мощность сети; P_H – мощность нагрузки;
 $t_{п.п}$ – время переходного процесса.

Приведенный алгоритм был реализован в виде подпрограммы на базе контроллера Siemens, который выполняет основные функции по контролю параметров, автоматического запуска и остановки газопоршневых машин с их последующей синхронизацией и распределением нагрузок.

Проверка работоспособности системы защиты показала свою эффективность путем симулирования процесса отключения сети при параллельной работе с генератором за счет выключения вводного автомата. Последующее включение сетевого автомата приводит к запуску алгоритма обратной синхронизации генератора с нагрузкой к сети и распределению нагрузки в соответствии с установленными значениями. В течение двух лет эксплуатации ложных срабатываний при запуске мощных потребителей объекта зарегистрировано не было.

Библиографический список

1. **Попов, С.В.** Обеспечение нагрузки электрической мощностью в условиях ограниченной мощности сети / С.В. Попов, Е.М. Бурда // Материалы научно-технической конференции «Актуальные проблемы электроэнергетики». – Н. Новгород: НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2015. – С. 8-11.
2. **Алексеев, Н.** Контроллеры DEIF. Защита автономного генератора, работающего параллельно с сетью / Н. Алексеев, Г. Ростиславин // Информационно-справочное издание «Новости электротехники». – №32 (38). – 2006.
3. **Попов, С.В.** Особенность работы автономной электростанции параллельно с сетью. Флотское образование и отраслевая наука. Вызовы и перспективы развития / С.В. Попов, А.В. Бишлетов, В.В. Гуляев, М.Ю. Храмов // Материалы VII Международной научно-практической конференции в рамках программы проведения торжественных мероприятий, посвящённых празднованию 100-летия Астраханского речного училища (Астрахань, 11-12 декабря 2018 г.) – Астрахань: Сорokin Роман Васильевич, 2018. – С. 106-110.
4. **Коробко, Г.И.** Система автоматической загрузки генератора при работе параллельно с сетью // Г.И. Коробко, С.В. Попов, А.В. Бишлетов // Актуальные проблемы электроэнергетики. Юбилейный том, посвященный 100-летию со дня рождения В.И. Плескова. – Т. 70. –2008. – С. 123-125.

*Дата поступления
в редакцию: 24.08.2020*

S.V. Popov, A.V. Bishletov

NETWORK SECURITY FEATURES WHEN WORKING IN PARALLEL WITH AN AUTONOMOUS GENERATOR

Volga State University of Water Transport
ООО «Electro Land»

Purpose: The article deals with the problem of using standard network protection devices when working in parallel with an Autonomous generator.

Design/methodology/approach: The use of protection devices in parallel operation of Autonomous generators with the network is a mandatory requirement and their correct operation depends on the safety of service personnel on the part of the network feeder or high voltage. The features and physical principles of operation of such devices are specified, as well as the difficulty in configuring them to perform accurate detection of network disconnection without false positives. The rationale for the development of a new device, which was implemented on the basis of a Siemens controller, is given.

Originality: A new algorithm of the network protection device operation is shown and the results of its testing as part of the electrical equipment of an Autonomous power plant in a boiler house are described. The network protection algorithm can be used as part of automated power plants, where parallel operation of generating units is provided.

Key words: power supply, autonomous power plant, parallel operation with the network, power generation, network protection devices, vector diagrams of a synchronous generator.