

УДК 62-5

С.В. Попов¹, А.В. Бишлетов²,
О.А. Бурмакин¹, В.Н. Гуляев³

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АВТОНОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

¹ Волжский государственный университет водного транспорта
² ООО «Электро Лэнд»

³ Нижегородский государственный технический университет
им. Р.Е. Алексеева

В настоящее время весьма актуальными являются задачи повышения надежности электроснабжения для потребителей первой категории. Статья посвящена исследованию работы автоматизированной системы управления автономной электростанцией. Представлена функциональная схема системы управления автономной электростанцией. Алгоритм работы системы управления предложено построить по принципу «ведущий-ведомый». Это позволяет одновременно регулировать параметры нескольких генераторов и синхронизировать параллельно работающие генераторы с электрической сетью. Регулирование активной и реактивной мощности после синхронизации с сетью обеспечивается за счет распределения нагрузки между генераторами и сетью. Функционирование системы по предложенному алгоритму рассмотрено на примере системы электроснабжения городской клинической больницы.

Ключевые слова: качество электроэнергии, несинусоидальность напряжения, параллельно работающие генераторы, регулирование параметров генераторов, системы электроснабжения.

1. Введение

Объекты первого уровня электроснабжения потребителей необходимо запитывать по двум вводам различных электрических систем. Для надежной работы на таких объектах устанавливаются аварийные источники электроснабжения потребителей, например, дизель-генераторные установки или другие [1].

Все чаще частные предприятия организуют независимое от городских сетей тепло-энергоснабжение собственных объектов, обеспечивая подогрев воды за счет автономных газовых котлоагрегатов. Газовое обеспечение котельных позволяет устанавливать на их территории газопоршневые генераторные машины, которые выполняют генерирование электроэнергии для собственных нужд [2-5]. Схема существующей системы электроснабжения

троснабжения клинической больницы показана на рис. 1. Лаборатории и операционные оснащены дорогостоящим медицинским оборудованием, а сфера ответственности при проведении операций подразумевает особенно высокие требования как к бесперебойности электроснабжения, так и к качеству электроэнергии. Система электроснабжения имеет несколько источников: два вводных фидера, подключенных к различным сетевым энергосистемам; два газогенератора $G1$ и $G2$, мощностью по 190 кВт каждый; аварийный дизель-генератор G , предназначенный для обеспечения электропитания в аварийных случаях.

Все указанные источники объединены; по единой четырехпроводной системе электроснабжения они обеспечивают электропитанием потребителей клиники, подключенных к шинам ГРЩ. В различное время суток, в периоды плановых операций, во время «наплыва» пациентов нагрузка может изменяться от самого малого значения – 30-40 кВт, до максимального (при условии одновременного включения самых мощных потребителей) – 170-200 кВт. Для эффективного использования генераторных установок при малых значениях мощности, питание потребителей производится от сети по одному из вводов. В случае отключения одного ввода автоматика АВР (автоматический ввод резерва) подключит к шинам ГРЩ через автоматический выключатель $QFB1$ ($QFB2$), контактор $KMB1$ ($KMB2$) и общий сетевой контактор КМС другой вводной фидер.

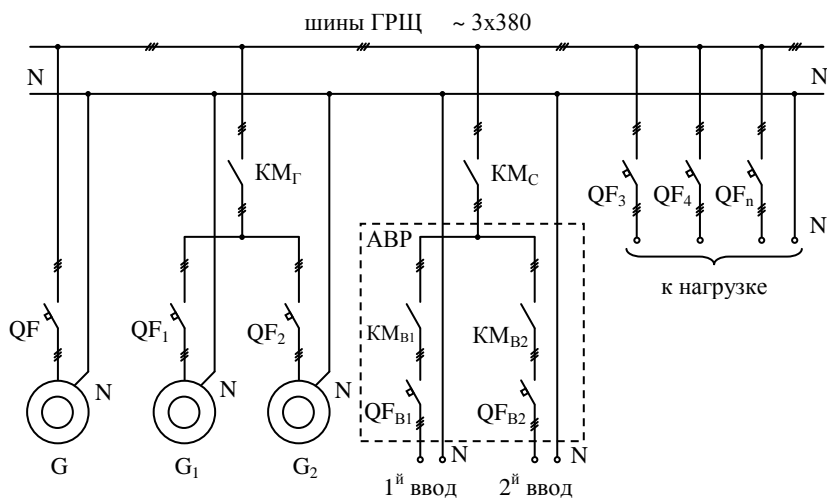


Рис. 1. Однолинейная схема электроснабжения клиники

II. Материалы и методы

На территории клиники отсутствует трансформаторная понижающая подстанция, поэтому электроэнергия, поступающая по линии электро-снабжения со стороны сетей, имеет низкое значение номинального напряжения – 380 В. Протяженность кабельных трасс и ограниченное сечение жил кабеля создают значительное падение напряжения ($\Delta u = 12-14\%$), что негативно сказывается на работе потребителей. Так, для получения напряжения на шинах ГРЩ в 380-400 В при средней нагрузке, необходимо завышать значение напряжения холостого хода вплоть до значений 420-430 В. Исходя из этих условий, при значительной мощности нагрузки (более 50-70 кВт) производится запуск газогенератора $G1$ ($G2$), который имеет автономную систему регулирования напряжения и обеспечивает стабилизацию напряжения в установившихся режимах на номинальном уровне.

Установленные требования по качеству электроснабжения предполагают переключение нагрузки с сетевого источника на генератор, подключенный с выполнением процесса синхронизации, [6]. Подключение генератора на шины автоматическим выполняется выключателем $QF1$ ($QF2$) и общим генераторным контактором КМГ.

III. Результаты исследования

При значительной мощности потребителей (около 170 кВт), подключенных к шинам ГРЩ, система автоматики генератора $G1$ ($G2$) выполняет синхронизацию к сети и за счет срабатывания сетевого контактора КМС включается на параллельную работу с сетью (рис. 2). Система управления ПЛК (программируемый логический контроллер) измерительным прибором ИПЗ контролирует потоки мощности, поступающие из сети и генератора ИП1 (ИП2), а также выполняет частичную загрузку сети при поддержании нагрузки генератора на уровне 150-170 кВт.

На функциональной схеме системы электроснабжения (рис. 2) показаны: каналы регулирования скорости вращения двигателя, напряжения генератора, блоки измерения электрических параметров, основные цепи управления. В канал регулирования скорости входит контроллер генератора КГ1 (КГ2), выполняющий функцию регулятора, который воздействует через исполнительное устройство на подачу газа в двигатель. Сигнал обратной связи по скорости формируется датчиком частоты вращения ДЧВ1 (ДЧВ2). Регулирование величины напряжения генератора также выполняется ПЛК, который воздействует на регулятор напряжения РН1 (РН2) генератора. Измерительные приборы ИП1-ИП3 выполняют измерение фазных напряжений и токов, вычисляют величины мощностей и передают данные в контроллер в виде цифрового кода. Также приборы имеют возможность отображения электрических параметров на экране, выполнять контроль и формирование сигнала при появлении обратного потока мощ-

ности источника. Процесс синхронизации выполняется синхронизатором С, воздействующим на канал регулирования скорости двигателя ПД1 (ПД2), а система управления ПЛК оказывает влияние на возбуждение ОВГ1 (ОВГ2) генератора G_1 (G_2). Процессы загрузки и разгрузки генератора (сети) производятся по тем же каналам.

В последнее время на территории клиники осуществляется строительство нового корпуса, что связано с будущим повышением числа и мощностей потребителей электроэнергии. Расчетная проектная нагрузка предварительно составляет порядка 160-180 кВт. Исходя из новых условий, алгоритм работы электростанции значительно изменится. Если ранее при одиночной работе одного генератора второй был в резерве, то в новых условиях система управления может обеспечить параллельную работу по алгоритму «ведущий-ведомый» со сменой приоритета.

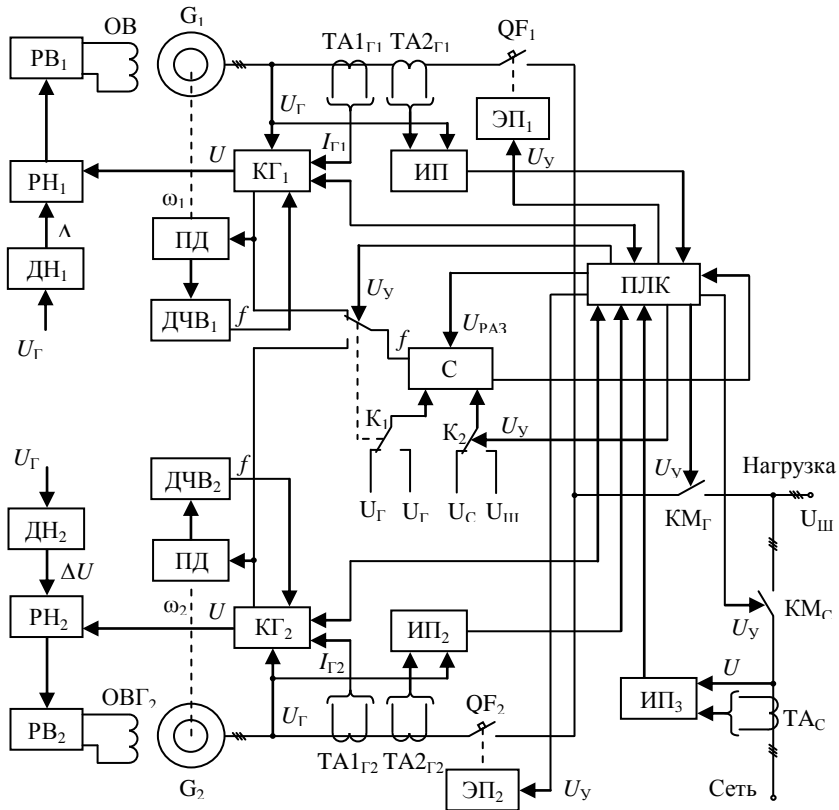


Рис. 2. Функциональная схема системы управления автономной электростанцией

Максимальная нагрузка параллельно работающих генераторов может составлять порядка 360-380 кВт, тогда в переходных режимах, например, при пуске гидравлического лифта (около 30 кВт), один из генераторов может быть перегружен. Рассмотренный режим работы электростанции не исключает отключения одного из генераторов, а, значит, и последующего «веерного» отключения второго. В связи с этим можно предположить, что для обеспечения надежной работы в переходных режимах целесообразно подключить параллельно работающие генераторы к сети, что является сложной как физической, так и технической задачей. Она может быть решена за счет внедрения в программируемый логический контроллер определенного алгоритма по контролю и регулированию параметров одновременно всех источников электроэнергии. Особую сложность представляет одновременное управление скоростью двигателей и напряжения генераторов, что может ввести один из генераторов в режим обратной мощности, а защита от двигательного режима может его отключить [7]. В ряде случаев при выполнении одновременного регулирования параметров нескольких генераторов используют метод ведущего и ведомого генератора [8]. При этом параметры ведущего генератора синхронизируются с параметрами сети, а ведомого – с параметрами ведущего. После выполнения синхронизации двух генераторов с сетью включается система распределения нагрузки между генераторами и сетью, выполняющая регулирование активной и реактивной мощности до заданных значений.

IV. Заключение

Описанный алгоритм работы автономной электростанции был реализован на базе электростанции городской клинической больницы. Система управления, построенная по принципу ведущий-ведомый, успешно выполняет синхронизацию двух параллельно работающих генераторов с сетью, хотя изменение состава нагрузки оказывает влияние на время переходных процессов (нередко с появлением обратной мощности). Следует отметить, что качество переходных процессов напрямую зависит от коммутации нагрузки в момент выполнения синхронизации, что носит сугубо вероятностный характер.

Предложенный алгоритм показал свою работоспособность и может быть реализован на базе автономных электростанций с большим числом генераторов для повышения надежности электроснабжения объектов I категории.

Библиографический список

- [1] Попов С.В., Бурда Е.М. Обеспечение нагрузки электрической мощностью в условиях ограниченной мощности сети // *Материалы НТК «Актуальные проблемы электроэнергетики»*. Н. Новгород: НГТУ им. Р.Е.Алексеева, 2015. С. 8-11.
- [2] Попов С.В., Бурда Е.М. Работа автономной электростанции параллельно с сетью в условиях низкого качества напряжения сети // *Вестник ВГУВТ*. 2015. № 44. С. 327-329.
- [3] Бурда Е.М., Попов С.В. Работа автономной электростанции параллельно с сетью в условиях низкого качества напряжения сети // *Вестник ВГУВТ*. 2015. № 44. С. 58-64.
- [4] Коробко Г.И., Попов С.В., Лебедев В.В. Обеспечение электромагнитной совместимости автономной электроэнергетической системы с мощными полупроводниковыми преобразователями // *Труды 16-го международного научно-методического форума «Великие реки 2014»*. Материалы НМК профессорско-преподавательского состава, аспирантов, специалистов и студентов «Проблемы использования и инновационного развития внутренних водных путей в бассейнах великих рек». Н. Новгород: Изд-во ВГАВТ, 2014. С. 72-76.
- [5] Попов С.В., Бурда Е.М. Вопросы эффективного расхода энергоресурсов в теплоэнергетических системах малой мощности // *Труды 17-го международного научно-методического форума «Великие реки 2015»*. Материалы НМК профессорско-преподавательского состава, аспирантов, специалистов и студентов «Проблемы использования и инновационного развития внутренних водных путей в бассейнах великих рек». Н. Новгород: Изд-во ВГУВТ, 2015. С. 34-37.
- [6] Бурмакин О.А., Коробко Г.И., Шилов М.П. Включение дизель-генератора с изменяемой частотой вращения на параллельную работу с сетью // *Проблемы использования и инновационного развития внутренних водных путей в бассейнах великих рек*. Труды международного научно-промышленного форума. Материалы научно-методической конференции профессорско-преподавательского состава, аспирантов, специалистов, студентов. Н. Новгород: Изд-во ВГУВТ. 2017. С. 136-138.
- [7] Степанов К.С., Гуляев В.Н., Александрова Е.Н., Наумов М.В. Тормозные режимы при возбуждении асинхронного двигателя постоянным током // *Актуальные проблемы электроэнергетики*. Н. Новгород: Изд-во НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2016. С. 202-206.
- [8] Коробко Г.И., Попов С.В., Бишлетов А.В., Матвеев О.А. Алгоритм автоматического выбора ведущего генератора автономной электростанции при параллельной работе трех и более генераторных агрегатов // *Труды 14-го международного научно-методического форума «Великие реки 2012»*. Материалы научно-методической конференции профессорско-преподавательского состава, аспирантов, специалистов и студентов «Проблемы использования и инновационного развития внутренних водных путей в бассейнах великих рек». Н. Новгород: Изд-во ВГАВТ, 2012. С. 282-284.

S.V. Popov¹, A.V. Bishletov², O.A. Burmakin¹,
V.N. Gulyaev³

FEATURES OF OPERATION OF AUTOMATED CONTROL SYSTEM OF AUTONOMOUS POWER STATION

¹ Volga State University of Water Transport,
Nizhny Novgorod, Russia

² «Electroland» Ltd,
Nizhny Novgorod, Russia

³ Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev,
Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. Now days, the tasks of increasing the reliability of power supply to the first category consumers are extremely relevant. The article is devoted to the research of the automated control system of a stand-alone power plant. A functional diagram of the control system of the stand-alone power plant is presented. The algorithm of the control system is proposed to create on the principle of "master-slave". This will allow the simultaneous adjustment of several parameters of generators and synchronizing parallel generators with the electric grid. Regulation of active and reactive power after synchronization with the network is provided by distributing the load between the generators and the network. The system functioning according to the proposed algorithm is considered on the example of the city clinical hospital power supply system.

Keywords: power supply systems, power quality, non-sinusoidal voltage, parallel operating generators, regulation of generator parameters.

References

- [1] S.V. Popov and E.M. Burda, «Obespecheniye nagruzki elektricheskoy moshchnost'yu v usloviyakh ogranichennoy moshchnosti seti» in proc. *Aktual'nyye problemy elektroenergetiki*, 2015, NSTU, N. Novgorod, Russia, pp. 8-11 (in Russian).
- [2] S.V. Popov and E.M. Burda, «Rabota avtonomnoy elektrostantsii paralel'no s set'yu v usloviyakh nizkogo kachestva napryazheniya seti», *Vestnik VGUVT*, vol. 44, 2015, N. Novgorod: FGBOU VO «VGUVT», pp. 327-329 (in Russian).
- [3] E.M. Burda and S.V. Popov, «Rabota avtonomnoy elektrostantsii paralel'no s set'yu v usloviyakh nizkogo kachestva napryazheniya seti», *Vestnik VGUVT*, vol. 44, 2015, N. Novgorod: FGBOU VO «VGUVT», pp. 58-64 (in Russian).
- [4] G.I. Korobko, S.V. Popov and V.V. Lebedev, «Obespecheniye elektromagnitnoy sovmestimosti avtonomnoy elektroenergeticheskoy sistemy s moshchnymi poluprovodnikovymi preobrazovatelyami», in proc. *Trudy 16-go mezhdunarodnogo nauchno-metodicheskogo foruma «Velikiye reki 2014»*. *Materialy NMK professorsko-prepodavatel'skogo sostava, aspirantov, spetsialistov i studentov «Problemy is-*

- pol'zovaniya i innovatsionnogo razvitiya vnutrennikh vodnykh putey v basseynakh velikikh rek», 2014, N. Novgorod: «FGBOU VO VGAVT», pp. 72-76 (in Russian).*
- [5] S.V. Popov and E.M. Burd, «Voprosy effektivnogo raskhoda energoresursov v teploenergeticheskikh sistemakh maloy moshchnosti», in proc. *Trudy 17-go mezhdunarodnogo nauchno-metodicheskogo foruma «Velikiye reki» 2015. Materialy NMK professorsko-prepodavatel'skogo sostava, aspirantov, spetsialistov i studentov «Problemy ispol'zovaniya i innovatsionnogo razvitiya vnutrennikh vodnykh putey v basseynakh velikikh rek», 2015, N. Novgorod: FGBOU VO «VGUVT», pp. 34-37 (in Russian).*
- [6] O.A. Burmakin, G.I. Korobko and M.P. Shilov, «Vklyucheniye dizel'-generatora s izmenyayemoy chastotoy vrashcheniya na parallel'nuyu rabotu s set'yu» in proc. *Trudy mezhdunarodnogo nauchno-promyshlennogo foruma. Materialy nauchno-metodicheskoy konferentsii professorsko-prepodavatel'skogo sostava, aspirantov, spetsialistov, studentov. Problemy ispol'zovaniya i innovatsionnogo razvitiya vnutrennikh vodnykh putey v basseynakh velikikh rek, 2017, N. Novgorod: FGBOU VO «VGUVT», pp.136-138 (in Russian).*
- [7] K.S. Stepanov, V.N. Gulyaev, E.N. Alexandrova and M.V. Naumov, «Tormoznyye rezhimy pri vzbuzhdenii asinkhronnogo dvigatelya postoyannym tokom», in proc. *Aktual'nyye problemy elektroenergetiki, 2016, NSTU, Nizhny Novgorod, pp. 202-206 (in Russian).*
- [8] G.I. Korobko, S.V. Popov, A.V. Biletov and O.A. Matveev, «Algoritm avtomaticheskogo vybora vedushchego generatora avtonomnoy elektrostantsii pri parallel'noy rabote trekh i boleye generatornykh agregatov» in proc. *Trudy 14-go mezhdunarodnogo nauchno-metodicheskogo foruma «Velikiye reki 2012». Materialy nauchno-metodicheskoy konferentsii professorsko-prepodavatel'skogo sostava, aspirantov, spetsialistov i studentov «Problemy ispol'zovaniya i innovatsionnogo razvitiya vnutrennikh vodnykh putey v basseynakh velikikh rek», 2012, N. Novgorod: FBOU VPO «VGAVT», pp. 282-284 (in Russian).*