

А. В. ГРИГОРЬЕВ, Ю. В. СЕНТЯБРЕВ, С. М. МАЛЫШЕВ  
СПбГЭТУ «ЛЭТИ», Санкт-Петербург

Р. Р. ЗАЙНУЛЛИН  
АО «НПЦ «Электродвижение судов», Санкт-Петербург

## ЗАДАЧИ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ В АВТОНОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ НА БАЗЕ ВЕНТИЛЬНЫХ ГЕНЕРАТОРНЫХ АГРЕГАТОВ И ВЕНТИЛЬНЫХ СТАТИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

*Повышение технико-экономических показателей автономных электро-энергетических систем может быть обеспечено внедрением источников электроэнергии новых типов, к которым следует отнести вентильные генераторные агрегаты и вентильные статические источники. Рассмотрены структурные схемы и принцип действия вентильных источников электроэнергии. Отмечены научно-технические задачи автоматического управления, возникающие в связи с внедрением многоагрегатных автономных электростанций на их базе. Показано, что современной проблемой управления является разработка соответствующего математического, алгоритмического и программного обеспечения для автоматизации автономных электростанций с вентильными источниками электроэнергии.*

Одним из основных направлений развития энергетики является повышение технико-экономических и технико-эксплуатационных показателей автономных электроэнергетических систем (ЭЭС) как стационарного базирования, так предназначенных для электроснабжения транспортных средств. Достижение указанной цели может быть обеспечено за счет внедрения источников электроэнергии с новыми физическими принципами, схемами построения и законами регулирования.

Традиционные генераторные агрегаты автономных ЭЭС строятся на базе тепловых двигателей и вращающихся с постоянной частотой электрических машин.

Структурная схема традиционного дизель-генератора представлена на рис. 1.

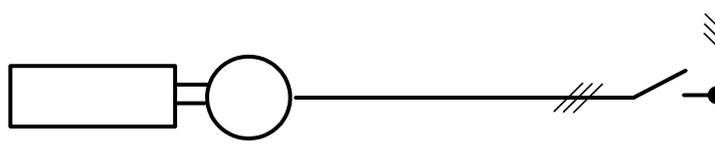


Рис. 1. Структурная схема традиционного дизель-генератора

Приводной двигатель преобразует тепловую энергию в механическую и с постоянной частотой вращения приводит в движение генератор, в качестве которого в большинстве случаев применяется синхронный генератор с электромагнитным возбуждением. Генератор вырабатывает электроэнергию с постоянными значениями напряжения и частоты.

В традиционном генераторном агрегате тепловой двигатель преобразует химическую энергию органического топлива в тепловую и затем в механическую. Электрическая машина преобразует механическую энергию в электрическую. В целях выполнения требований к качеству электроэнергии со стороны судовых потребителей выходные параметры электроэнергии генераторного агрегата (напряжение, частота) должны быть стабилизированы в заданных пределах. Указанную стабилизацию обеспечивают система автоматического регулирования частоты в тепловом двигателе и система автоматического регулирования напряжения в электрической машине.

Функциональная схема традиционного генераторного агрегата представлена на рис. 2.



Рис. 2. Функциональная схема традиционного генераторного агрегата

Основным недостатком традиционных генераторных агрегатов является существенное снижение КПД приводного теплового двигателя при работе на долевой нагрузке в режиме поддержания постоянства частоты вращения.

К новому поколению источников электроэнергии относятся вентильные генераторные агрегаты (ВГА), которые могут изменять частоту вращения при изменении нагрузки, благодаря чему существенно снижается удельный расход горюче-смазочных материалов [1].

Структурная схема вентильного дизель-генератора представлена на рис. 3.

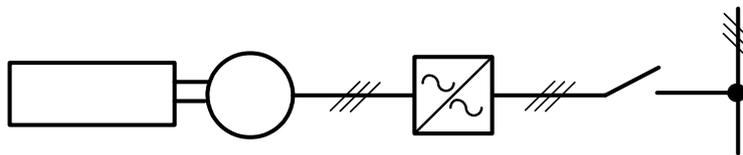


Рис. 3. Структурная схема вентильного дизель-генератора

Приводной тепловой двигатель в вентильном дизель-генераторе работает с переменной частотой вращения и приводит в движение генератор, в качестве которого может применяться синхронный генератор с электромагнитным возбуждением или с возбуждением на постоянных магнитах, асинхронный или индукторный генератор.

Генератор вырабатывает электроэнергию с переменными значениями напряжения и частоты, которая подводится к полупроводниковому преобразователю. В преобразователе электроэнергия с переменными значениями переходит в электроэнергию со стабилизированными (номинальными) параметрами.

В ВГА задачу стабилизации выходных параметров электроэнергии выполняет полупроводниковый преобразователь. Поэтому тепловой двигатель может работать с переменной частотой вращения, а электрическая машина может не иметь системы регулирования напряжения (возбуждение от постоянных магнитов). Функциональная схема вентильного генераторного агрегата представлена на рис. 4.

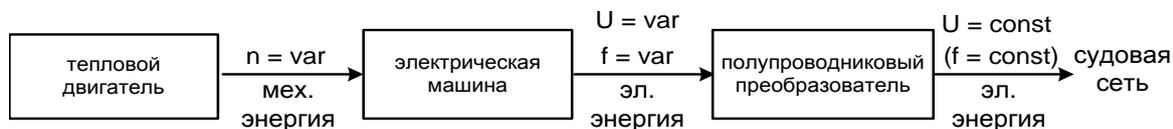


Рис. 4. Функциональная схема вентильного генераторного агрегата

Недостатком как традиционных, так и вентильных генераторных агрегатов является наличие теплового приводного двигателя и невозможность накопления электрической энергии.

Решение проблемы связано с применением статических источников электроэнергии, в которых отсутствует тепловой приводной двигатель [2]. Структурная схема вентильного статического источника электроэнергии (ВСИЭ) представлена на рис. 5.

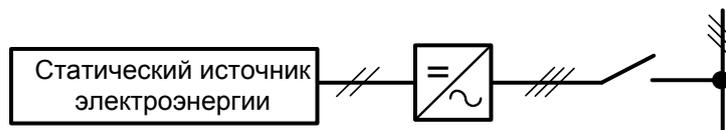


Рис. 5. Структурная схема вентильного статического источника электроэнергии

Особенностью СИЭ является то, что он вырабатывает непосредственно электрическую энергию из химической или световой. Для стабилизации выходных параметров электроэнергии применяется полупроводниковый преобразователь (инвертор, преобразователь постоянного тока), который преобразует электроэнергию постоянного тока в электроэнергию переменного или постоянного тока с номинальными параметрами [3]. Функциональная схема ВСИЭ представлена на рис. 6.



Рис. 6. Функциональная схема вентильного статического источника электроэнергии

В случае применения статического источника, способного запасать электроэнергию, в качестве полупроводникового преобразователя используется обратимый преобразователь, осуществляющий заряд аккумуляторной батареи или конденсатора.

Традиционно в составе многоагрегатных автономных электростанций применялись однотипные источники равной мощности на базе тепловых двигателей и вращающихся электрических машин – как правило, синхронных генераторов с электромагнитным возбуждением. Изменение мощности генерируемой электроэнергии осуществлялось изменением количества работающих генераторов.

В современных автономных электростанциях традиционного построения с генераторными агрегатами работающими с постоянной частотой вращения задачи управления, регулирования, контроля, защиты и диагностирования решаются автоматически системами управления мощностью (Power Management System – PMS). Традиционные алгоритмы управления не применимы для автономных ЭЭС с вентильными и статическими источниками электроэнергии. Актуальной проблемой является разработка соответствующего математического, алгоритмического и программного обеспечения для систем PMS в составе электростанций с ВГА и ВСИЭ. Для решения данной проблемы необходимо учитывать особенности состава и построения автономных ЭЭС нового поколения. Современные многоагрегатные автономные электростанции с разнотипными источниками электроэнергии, включая вентильные и статические, характеризуются следующими особенностями:

- применением разнотипных приводных двигателей – дизель, газовые и паровые турбины, в том числе утилизационные; ветрогенератор, гидрогенератор,
- применением ВГА;
- применением ВСИЭ (аккумуляторных батарей на новой элементной базе, суперконденсаторов, солнечных батарей, топливных элементов и др.);
- возможностью накопления (аккумуляции) электроэнергии.

Совместное применение в составе электростанции разнотипных источников, построенных на различных физических принципах и имеющих различные характеристики, обуславливает необходимость решения следующих научно-технических задач автоматического управления [4]:

- выбора критериев управления и регулирования источников электроэнергии с учетом предъявляемых технико-эксплуатационных и технико-экономических требований;
- выбора оптимального по выбранному критерию сочетания работающих источников в зависимости от величины и характера нагрузки электростанции;
- выбора режима эксплуатации ВСИЭ, способных накапливать электроэнергию (генерирование, накопление);
- выбора способа распределения активной и реактивной мощности между источниками электроэнергии в режиме параллельной работы [5];
- обеспечения статической и динамической устойчивости при одновременной работе разных типов источников электроэнергии;
- обеспечения запуска электропотребителей, имеющих высокие пусковые токи;
- обеспечения требуемого качества электроэнергии в установившихся и переходных режимах;
- прогнозирования нагрузок и определения резерва мощности в зависимости от режима эксплуатации;
- обеспечения параллельной работы электростанции с энергетической системой бесконечной мощности;
- обеспечения надежности, живучести и безопасности эксплуатации электростанции и другое.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Григорьев А.В.** Опыт проектирования и испытаний первого отечественного судового вентильного дизель-генератора / А.В. Григорьев, Р.Р. Зайнуллин, С.М. Малышев // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. 2019. Т. 11. № 4. С. 766–775.
2. **Григорьев А.В.** Перспективы применения статических источников электроэнергии на судах с системами электродвижения / А.В. Григорьев, Р.Р. Зайнуллин, С.М. Малышев // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. 2020. Т. 12. № 1. С. 202–213.

3. **Романовский В.В.** Анализ схемных решений гребных электрических установок с распределенной шиной постоянного тока / В.В. Романовский, В.А. Малышев, А.С. Бежик // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. 2019. Т. 11. № 1. С. 169–181.
4. **Саламов А.А.** Влияние возобновляемых источников энергии на режимы эксплуатации электростанций // Энергетика за рубежом. 2013. № 6. С. 33–38.
5. **Хижняков Ю.Н.** Автоматизация автономных многоагрегатных электростанций на основе нечёткого регулирования с применением нейронной технологии / Ю.Н. Хижняков, А.А. Южаков // Электротехника. 2011. № 11. С. 40–45.

A.V. Grigoryev, Yu.V. Sentyabrev, S.M. Malyshev (Saint-Petersburg Electrotechnical University “LETI”, Saint-Petersburg), R.R. Zaynullin (JSC “RPC “Ship electric propulsion”, Saint-Petersburg)  
**Automatic Control Problems in Autonomous Electric Power Plants Based on Valve Generator Sets and Valve Static Electric Power Sources.**

Increasing the technical and economic indicators of autonomous electric power systems can be provided by the introduction of new types of power sources, which should include valve generator sets and valve static power sources. Structural schemes and the principle of operation of valve electric power sources are considered. The scientific and technical problems of automatic control arising in connection with the introduction of multi-unit autonomous electric power plants based on them are noted. It is shown that the modern problem of control is the development of appropriate mathematical, algorithmic and software for automation of autonomous power plants with valve power sources.