

АНАЛИЗ РЕЖИМОВ ЗАГРУЗКИ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ГЕНЕРАТОРА ИНВЕРТОРНОЙ ДИЗЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Лукутин Б.В.¹, Шандарова Е.Б.¹

¹ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Томск, Россия (634050, г. Томск, проспект Ленина, 30), e-mail: shandarovaelena@mail.ru

В статье представлены результаты анализа режимов загрузки магнитоэлектрического генератора инверторной дизельной электростанции. В результате моделирования получены зависимости активной мощности и величины выходного напряжения синхронного генератора от тока нагрузки при изменении частоты вращения дизельного двигателя и неизменной намагничивающей силы генератора. Показано, что для синхронного генератора, работающего в составе инверторной дизельной электростанции, взаимосвязанное изменение генерируемой мощности и частоты вращения по оптимальному, с точки зрения расхода топлива приводного дизельного двигателя закону, сокращает диапазон изменения выходного напряжения генератора и изменяет его коэффициент загрузки. Это несколько облегчает условия работы магнитоэлектрического генератора и вентильного преобразователя. Установлена связь между входным током вентильного преобразователя и частотой при условии минимального удельного расхода топлива дизельного двигателя. Данные зависимости могут быть полезны при формировании алгоритма управления вентильного преобразователя.

Ключевые слова: дизельная электростанция, дизель-генератор, расход топлива, эффективность, нагрузка, изменение напряжения, частота вращения.

ANALYSIS OF LOADING MODES OF THE MAGNETOELECTRIC GENERATOR OF THE INVERTOR DIESEL POWER STATION

Lukutin B.V.¹, Shandarova E.B.¹

¹National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia (634050, Tomsk, Lenin Avenue, 30), e-mail: shandarovaelena@mail.ru

The article presents the results of the analysis of loading modes of the magneto-electric generator of the inverter diesel power station. As a result of modeling dependences of active power and size of output voltage of the synchronous generator on loading current are received at change of frequency of rotation of the diesel motor and invariable magnetizing force of the generator. It is shown that for the synchronous generator working as a part of inverter diesel power station, the interconnected change of the generated power and rotation frequency on optimum, from the point of view of fuel consumption of the diesel motor to the law, reduces the range of change of output voltage of the generator and changes its coefficient of loading. It facilitates operating conditions of the magneto-electric generator and the valve converter. Connection between entrance current of the valve converter and frequency on condition of the minimum specific fuel consumption of the diesel motor is established. These dependences can be useful when forming algorithm of management of the valve converter.

Keywords: diesel power station, diesel generator, fuel consumption, efficiency, loading, voltage variation, rotation frequency.

Введение

В настоящее время дизельные электростанции (ДЭС), несмотря на высокую себестоимость генерируемой электроэнергии, остаются основным источником питания хозяйственных объектов и населенных пунктов на большей части территории России. Повышение энергетической эффективности ДЭС является одной из наиболее актуальных задач современной энергетики. Одним из перспективных путей решения данного вопроса является разработка «инверторных» дизельных установок, предусматривающих перевод дизельного двигателя на переменную частоту вращения, в соответствии с его текущей нагрузкой. Выходное напряже-

ние такой установки приводится к стандартным параметрам с помощью преобразователя частоты. Условия работы дизель-генератора в составе такого энергетического комплекса характеризуются возможностью снижения частоты вращения до 40% относительно номинальной в зависимости от степени загрузки станции [1].

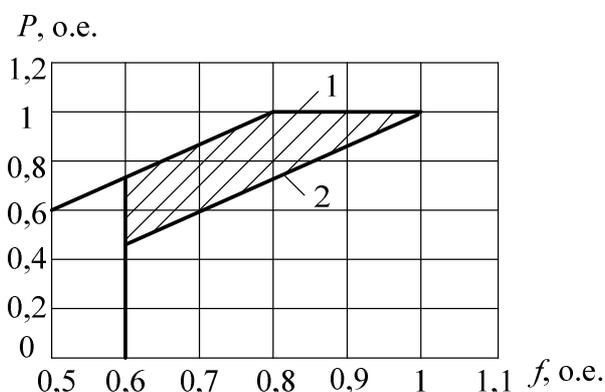


Рис. 1. Предельная и оптимальная мощности СГ в зависимости от частоты вращения дизель-генератора

Инверторные ДЭС позволяют формировать энергоэффективные режимы работы дизеля, поскольку дизельный двигатель автоматически переводится на оптимальную частоту вращения по критерию минимального расхода топлива в зависимости от величины нагрузки станции [1; 3; 5]. Исследования [1] позволили установить зависимости предельной и оптимальной (с точки зрения энергоэффективности дизельного двигателя) мощности синхронного генератора станции от частоты вращения. Графически эти зависимости представлены на рисунке 1. Кривая 1 характеризует максимально возможную активную мощность синхронного генератора в условиях обозначенных ограничений. Ограничением горизонтального участка кривой 1 служит величина напряжения, на наклонном участке кривая ограничена допустимым током обмотки возбуждения. Кривая 2 соответствует оптимальной загрузке синхронного генератора при минимальном удельном расходе топлива дизеля, определяемом положением рейки топливного насоса.

Очевидно, что общепромышленное энергетическое оборудование обычных ДЭС, в частности синхронные генераторы (СГ), рассчитанные на работу при номинальной частоте вращения, будут работать в специальных режимах. Факторами, определяющими возможные изменения параметров специальных режимов стандартного синхронного генератора, являются ток возбуждения, диапазоны частот вращения и соответствующих величин нагрузок. Указанные факторы определяют величину и частоту генерируемого напряжения.

Проведенные исследования [2] показывают, что формирование специальных режимов работы ДЭС, характеризуемых соответствием частоты вращения дизель-генератора отдаваем-

мой в нагрузку мощности, позволяет существенно снизить требования к системе возбуждения синхронного генератора (СГ) инверторной ДЭС и упростить ее схемную реализацию. Очевидным вариантом схемного решения задачи возбуждения СГ, работающего в анализируемых режимах, может являться питание обмотки возбуждения от независимого источника постоянного тока. Также весьма перспективным вариантом генератора для инверторной ДЭС является магнитоэлектрический синхронный генератор.

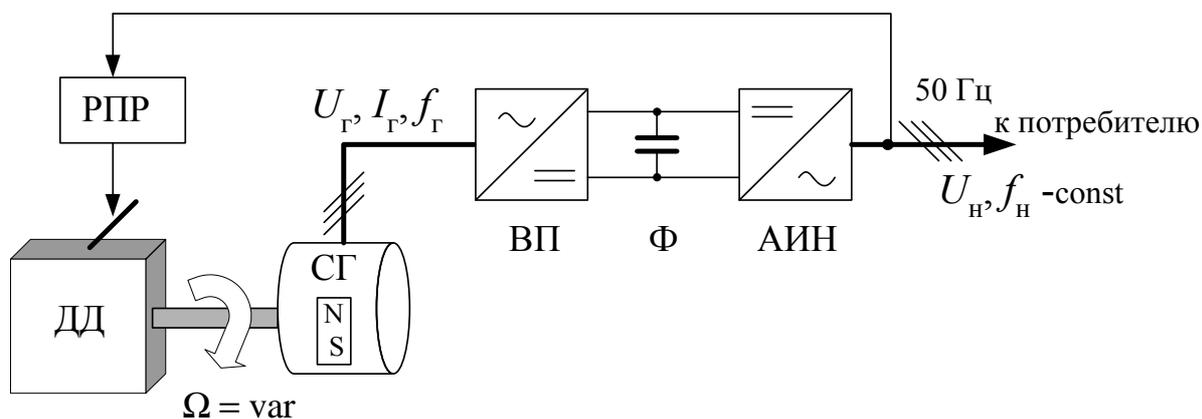


Рис. 2. Структурная схема ДЭС

Структурная схема инверторной ДЭС с магнитоэлектрическим генератором представлена на рисунке 2. Дизельная электростанция состоит из дизельного двигателя (ДД) и синхронного генератора (СГ) с магнитоэлектрическим возбуждением. В зависимости от величины электрической нагрузки регулятор положения рейки (РПР) топливного насоса обеспечивает автоматическое управление рабочими режимами двигателя с целью минимизации расхода топлива путем формирования оптимальной частоты вращения Ω дизель-генератора для текущего значения мощности.

Стабилизация выходного напряжения $U_{\text{н}}$ по частоте $f_{\text{н}}$ обеспечивается силовым полупроводниковым каскадом, состоящим из управляемого выпрямителя-преобразователя (ВП), фильтра (Ф) и автономного инвертора напряжения (АИН). Выпрямитель-преобразователь, наряду с преобразованием трехфазного переменного напряжения в постоянное, обеспечивает поддержание коэффициента мощности генератора на уровне, близком единице, и стабилизацию выпрямленного напряжения. Выходная мощность синхронного генератора и, соответственно, входная для ВП определяется в этом случае величиной тока и напряжения I_{Γ} , U_{Γ} .

Таким образом, обеспечить оптимальное соотношение между мощностью дизель-генератора и частотой его вращения (рис. 1) возможно только путем регулирования входного тока выпрямителя-преобразователя.

Целью работы является установление закономерностей, связывающих выходные параметры синхронного магнитоэлектрического генератора инверторной ДЭС с оптимальными режимами дизельного двигателя.

Анализ режимов работы синхронного генератора на автономную нагрузку при переменной частоте его вращения проводился с использованием программы Simulink, являющейся приложением к пакету Matlab. Моделирование проводилось для электростанции с номинальной полной мощностью 10 кВА, номинальным действующим значением выходного напряжения 380 В и частотой 50 Гц. Нагрузка станции принята активно-индуктивной с коэффициентом мощности $\cos\varphi=0,97$.

Параметры явнополюсного синхронного генератора задавались в относительных единицах и изменялись в пределах, характерных для генераторов малой мощности: $x_d = 1,5 \div 2,2$ о.е.; $x_q = 0,8 \div 1,1$ о.е.; $r_a = 0,01$ о.е., где x_d – синхронное индуктивное сопротивление обмотки якоря генератора по продольной оси; x_q – синхронное индуктивное сопротивление по поперечной оси генератора; r_a – активное сопротивление якорной обмотки [4].

В процессе моделирования были получены зависимости активной мощности и величины выходного напряжения СГ от тока нагрузки при изменении частоты вращения дизельного двигателя и неизменной намагничивающей силы генератора (рис. 3).

Зависимости, представленные на рис. 3, построены для максимальных значений параметров синхронного генератора ($x_d = 2,2$ о.е.; $x_q = 1,1$ о.е.; $r_a = 0,01$ о.е.), также моделирование было проведено и для минимальных величин ($x_d = 1,5$ о.е.; $x_q = 0,8$ о.е.) рассматриваемого диапазона.

Для дизель-генератора с магнитоэлектрическим возбуждением при номинальной частоте ($f_r = 1$ о.е.) изменение выходного напряжения ΔU при изменении нагрузки от холостого хода до номинального значения составляет 25% (рис. 3). Уменьшение индуктивных сопротивлений СГ слабо влияет на изменение выходного напряжения.

Для синхронного генератора, работающего в составе инверторной ДЭС, взаимосвязанное изменение генерируемой мощности и частоты вращения по оптимальному, с точки зрения расхода топлива приводного ДД, закону сокращает диапазон изменения выходного напряжения генератора и изменяет его коэффициент загрузки.

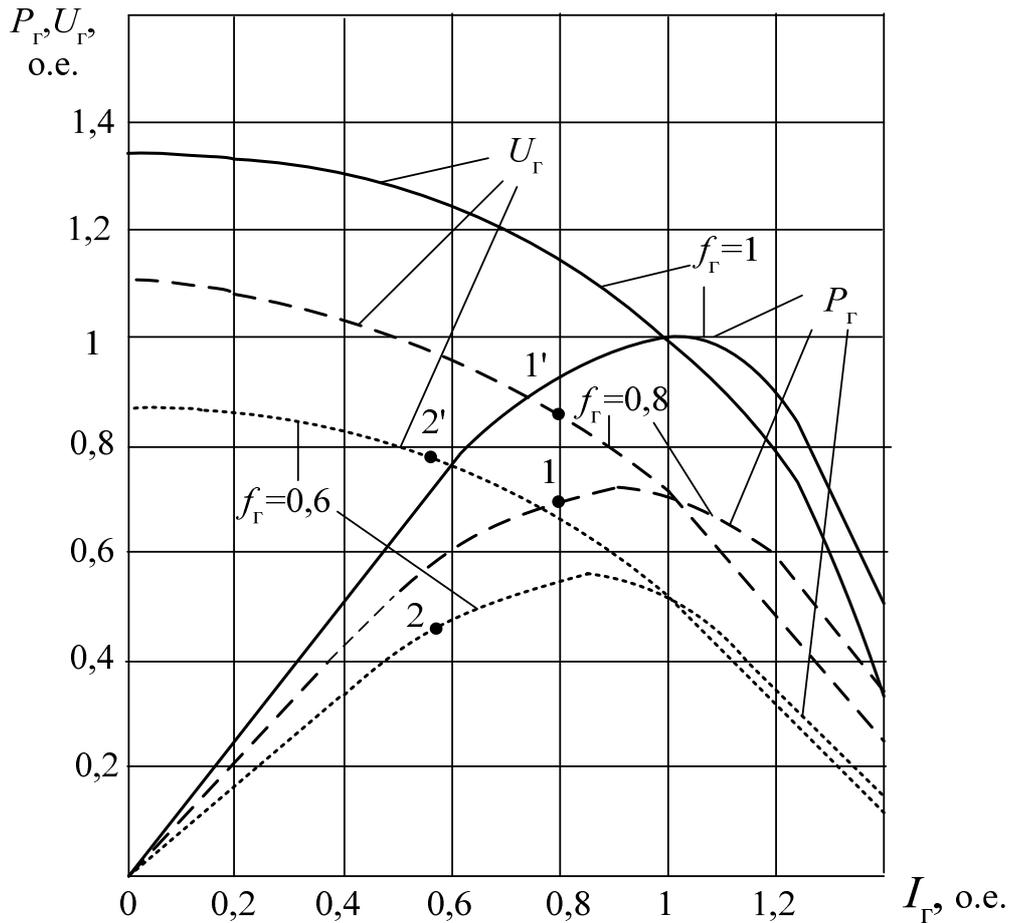


Рис. 3. Зависимости активной мощности P_r и величины выходного напряжения U_r от тока нагрузки I_r при изменении частоты f_r

Так, по критерию минимального расхода топлива при частоте 0,8 о.е. генерируемая мощность составляет 0,7 о.е. (рис. 1). Данному значению мощности (точка 1 на рис. 3) соответствует напряжение генератора, равное 0,8 о.е. (точка 1' на рис. 3), изменение выходного напряжения при этом составляет около 18% относительно холостого хода рассматриваемого частичного режима. Соответственно, при частоте 0,6 о.е. и оптимальной мощности 0,45 о.е. изменение напряжения находится в пределах 15%.

Таким образом, формирование частичных режимов дизель-генератора по критерию минимизации расхода топлива обеспечивает сокращение диапазона изменения входного напряжения ВП за счет снижения частоты вращения инверторной ДЭС с уменьшением электрической нагрузки. В рассматриваемом примере максимальное напряжение магнитоэлектрического генератора не превышает номинального значения $U_r = 1$ при номинальной частоте $f_r = 1$. Минимальное значение напряжения, соответствующее частоте $f_r = 0,6$, уменьшается

относительно этой величины чуть более чем на 20% (точка 2' на рис. 3). Ограничение диапазона изменения входного напряжения ВП снижает предъявляемые к нему требования.

Работа инверторной ДЭС на частичных режимах несколько снижает степень загрузки генератора, облегчая его тепловой режим при пониженной частоте вращения.

Зависимости загрузки магнитоэлектрического генератора от частоты вращения приводного дизельного двигателя (рис. 3) позволили установить связь между входным током вентильного преобразователя и частотой при условии минимального удельного расхода топлива дизельного двигателя (рис. 4). Данные зависимости могут быть полезны при формировании алгоритма управления ВП.

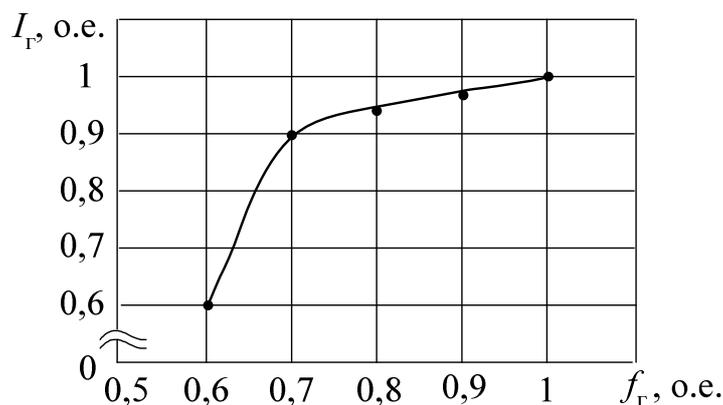


Рис. 4. Зависимости тока нагрузки $I_{Г}$ от частоты $f_{Г}$ СГ

Проведенные расчеты показали, что взаимосвязанное изменение генерируемой мощности и частоты вращения синхронного генератора, работающего в составе инверторной ДЭС, по критерию минимального расхода топлива приводного ДД, сокращает диапазон изменения выходного напряжения генератора и изменяет его коэффициент загрузки, что несколько облегчает условия работы магнитоэлектрического генератора и вентильного преобразователя.

Список литературы

1. Лукутин Б.В., Климова Г.Н., Обухов С.Г., Шутов Е.А., Парников Н.М. Формирование энергоэффективных режимов дизельной электростанции инверторного типа // Известия вузов. Электромеханика. – 2009. - № 6. – С. 80-82.
2. Лукутин Б.В., Шандарова Е.Б. Режимы работы синхронного генератора инверторной дизельной электростанции // Современные проблемы науки и образования. – 2013. - № 3. - URL: http://www.science-education.ru/109-9619_366 (дата обращения: 17.02.14).

3. Обухов С.Г., Сипайлова Н.Ю., Плотников И.А., Сипайлов А.Г. Характеристики синхронного генератора, работающего в составе инверторной дизельной электростанции // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. – 2012. - № 5. – С. 41-45.
4. Штерн В.И. Эксплуатация дизельных электростанций. – М. : Энергия, 1980. – 243 с.
5. Chlodnicki Z., Koczara W., Al-Khayat N. Hibrid UPS Based on Supercapacitor Energy Storage and Adjustable Speed Generator // Journal Electrical Power Quality and Utilisation. – 2008. - Vol. XIV, No. 1. - P. 13-24

Рецензенты:

Кабышев А.В., д.ф-м.н., профессор кафедры электроснабжения промышленных предприятий Энергетического института Национального исследовательского Томского политехнического университета, г. Томск.

Муравлев О.П., д.т.н., профессор кафедры электромеханических комплексов и материалов Национального исследовательского Томского политехнического университета, г. Томск.