

ЭКСПЛУАТАЦИЯ СУДОВОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

OPERATION OF SHIP POWER EQUIPMENT

УДК 621.314

DOI: 10.37890/jwt.vi73.313

Особенности параллельной работы дизель-генераторных агрегатов судовой электростанции

С.В. Попов¹

О.А. Бурмакин¹

Ю.С. Мальшев¹

¹*Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия*

Аннотация. Изучение работы существующих на судах электростанций показывает необходимость обеспечения надежной параллельной работы дизель-генераторов (ДГ). Известно что, основной причиной неустойчивой параллельной работы ДГ является малый или различный статизм механических характеристик приводных двигателей. Исследование параллельной работы дизель-генераторных установок на судовой электростанции, состоящей из четырех генераторов с электронными регуляторами частоты вращения, обеспечивающими необходимый статизм, показало её неустойчивость. Проведенные измерения и рассмотрение физических процессов выявили неравномерное распределение реактивной мощности вследствие различия внешних характеристик генераторов. Устранение неустойчивости возможно только путем внедрения дополнительных устройств и выполнения точных настроек регуляторов для получения внешних характеристик генераторов с одинаковым статизмом. Безотказное функционирование предложенной системы подтверждено длительными испытаниями при работе судна в штатном режиме в течение навигации.

Ключевые слова: судовая электростанция, дизель-генераторные установки, параллельная работа генераторов, судовые потребители, механические характеристики двигателей, статизм характеристик, механический регулятор оборотов дизеля, электронный регулятор скорости вращения, корректор напряжения, распределение активной и реактивной мощности.

Peculiarities of parallel operation of diesel-generator units of a ship power plant

Sergey V. Popov¹

Oleg A. Burmakin¹

Yuriy S. Malyshev¹

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

Abstract. The study of the operation of power stations existing on ships shows the need to ensure reliable parallel operation of diesel generators (DGs). It is known that the main reason for the unstable parallel operation of the DG is a small or different droop of the mechanical characteristics of the drive motors. A study of the parallel operation of diesel generator sets at a ship power plant, consisting of four generators with electronic speed controllers that provide the necessary droop, also showed its instability. The measurements and consideration of physical processes revealed an uneven distribution of reactive power due to differences in the external characteristics of the generators. The elimination of instability is possible only by introducing additional devices and fine-tuning the regulators to obtain the external characteristics of generators with the similar droop. The trouble-free operation of the proposed system was confirmed by long-term tests during the operation of the ship in normal mode during navigation.

Keywords: ship power plant, diesel generator sets, parallel operation of generators, ship consumers, mechanical characteristics of engines, droop characteristics, mechanical diesel speed controller, electronic speed controller, voltage corrector, distribution of active and reactive power.

Введение

Для повышения мощности электростанции и обеспечения надежности электроснабжения судовых потребителей, а также, в некоторых случаях, для экономии топлива, необходима параллельная работа дизель-генераторных агрегатов [1-4].

Для введения на параллельную работу генераторов на переменном токе необходимо выполнить алгоритм их синхронизации. Преимущественно используется точная синхронизация, которая может быть как ручной, так и автоматической. При ручной синхронизации все действия по выравниванию значений напряжения и частоты выполняет электромеханик по измерительным приборам, а в автоматическом – электронный блок – синхронизатор.

После выполнения процесса синхронизации, когда главный генераторный автомат подключаемого генератора замкнут, необходимо загрузить генератор, включенный на параллельную работу, до определенного значения мощности. Соответственно, в ручном режиме это выполняется за счет воздействия на органы управления системами дизель-генератора (ДГ), а в автоматическом это выполняет электронный блок распределения нагрузок.

Электронный блок распределения нагрузок выполняет регулирование подачи топлива дизеля посредством серводвигателя и топливной рейки, а также величины напряжения генератора, воздействуя на систему возбуждения. Автоматическое регулирование, указанных параметров параллельно работающих ДГ, позволяет распределить активную и реактивную мощности с достаточной точностью. При ручном распределении мощности на процесс равномерности влияет вид характеристик двигателя и генератора.

Дизельный двигатель имеет механическую характеристику, которая показывает изменение скорости вращения от нагрузки. Для устойчивой параллельной работы необходимо иметь механические характеристики с одинаковым наклоном (статизмом). Следует отметить, что работа двигателей в параллельном режиме с характеристиками, имеющими малый статизм, является неустойчивой. При этом, может наблюдаться периодическое перераспределение мощности от одного ДГ к другому, что сопровождается бросками тока. В результате, может сработать один из генераторных автоматов, либо произойти одновременное отключение двух генераторов, работающих в параллель, что приведет к обесточиванию судна [5].

Методы

Для проведения исследований параллельной работы дизель-генераторных установок была использованная судовая электростанция, состоящей из четырех

генераторов мощностью 100 кВт каждый. На дизельных двигателях были установлены электронные регуляторы частоты вращения взамен механических. Для настройки механических характеристик двигателей были поочередно подключены одинаковые активные номинальные нагрузки и, воздействуя на регулятор оборотов двигателя, настроены характеристики со статизмом 3-4% [5-7].

Эксперимент показал, что при одиночной работе ДГ машины ведут себя практически одинаково. При введении двух любых генераторных агрегатов на параллельную работу наблюдается повышение тока как одного, так и другого генератора при неизменной нагрузке. При этом, стрелки амперметров показали их раскачивание с одновременным повышением токов генераторов, вплоть до максимального значения. Работа двигателей при эксперименте не была нормальной и по внешним признакам наблюдалась их перегрузка.

Для исследования физических процессов, происходящих между параллельно работающими генераторами, в силовые цепи генераторов были включены дополнительные измерительные приборы реактивной мощности – киловарметры. Эксперимент показал, что реактивная мощность, измеряемая прибором одного генератора, является положительной, а другого - со значительным заходом в область отрицательной мощности. В результате было установлено, что устойчивая параллельная работа генераторов невозможна по причине отсутствия корректного распределения реактивной мощности между генераторами.

На рис. 1 показана векторная диаграмма синхронного генератора СГ при работе на активную нагрузку различной мощности. Следует отметить, что диаграмма построена без учета потерь на активном сопротивлении обмотки якоря и ЭДС, индуцированной потоком рассеяния. Поэтому вектор напряжения генератора \dot{U}_r будет определяться из:

$$\dot{U}_r = \dot{E}_0 + \dot{E}_a,$$

где \dot{E}_0 – ЭДС холостого хода, \dot{E}_a – ЭДС, индуцируемая потоками якоря.

ЭДС самоиндукции можно представить в виде:

$$\dot{E}_a = -j \dot{I}_a x_{сн},$$

где \dot{I}_a – ток якоря, $x_{сн}$ – полное индуктивное сопротивление генератора с неявнополюсным ротором.

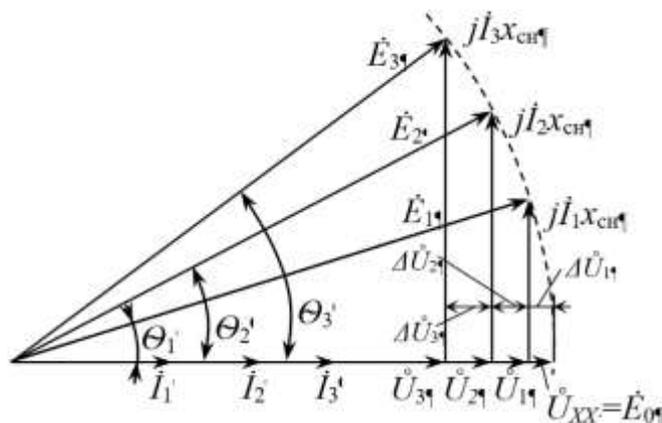


Рис. 1. Векторная диаграмма генератора без регулирования возбуждения с различной активной нагрузкой

На диаграмме показано, что при постоянстве напряжения на обмотке возбуждения ЭДС генератора \vec{E}_0 , работающего на холостом ходу, как и при изменении нагрузки, сохраняет свою величину. При увеличении нагрузки (I_1, I_2, I_3) вектор ЭДС ($\vec{E}_1, \vec{E}_2, \vec{E}_3$) поворачивается на угол θ ($\theta_1, \theta_2, \theta_3$), а повышающее значение реакции якоря приводит к падению напряжения ΔU ($\Delta U_1, \Delta U_2, \Delta U_3$) генератора.

В реальных условиях каждый генератор оснащен системой возбуждения, которая обеспечивает регулирование напряжения генератора за счет изменения напряжения на обмотке возбуждения. Поэтому векторная диаграмма генератора при регулировании напряжения показана на рис. 2.

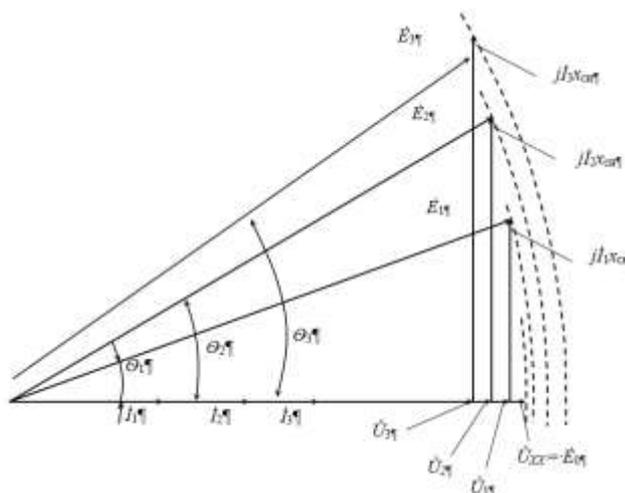


Рис. 2. Векторная диаграмма генератора при регулировании возбуждения с различной активной нагрузкой

На диаграмме показано, что регулирование напряжения на обмотке возбуждения приводит к изменению значения ЭДС ($\vec{E}_1, \vec{E}_2, \vec{E}_3$) генератора, что в свою очередь приводит к регулированию напряжения ($\vec{U}_1, \vec{U}_2, \vec{U}_3$) генератора.

В случае изменения и величины, и характера нагрузки ток генератора будет иметь две составляющие – активную и реактивную. Векторная диаграмма в таком случае будет иметь вид, представленный на рис. 3.

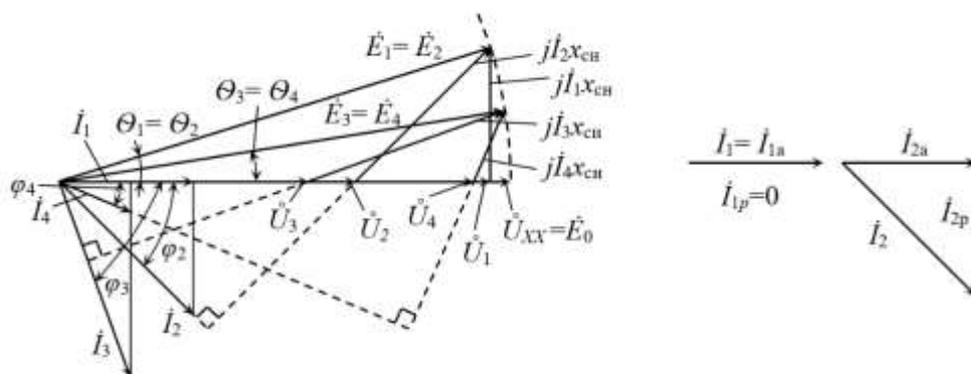


Рис. 3. Векторная диаграмма генератора без регулирования возбуждения с различной величиной и характером нагрузки

В случае с активно-индуктивной нагрузкой ток генератора (I_2, I_3, I_4) будет иметь активную и реактивную составляющие. Реактивная составляющая тока генератора в значительной мере влияет на значение напряжения (\dot{U}_2, \dot{U}_3) генератора и на величину угла φ (φ_2, φ_3). Однако, при равенстве активных составляющих тока генератора угол нагрузки ($\theta_1=\theta_2, \theta_3=\theta_4$) остается неизменным.

Значение угла θ зависит от величины активного тока генератора, а значит от развиваемой дизелем мощности P , которая определяется количеством сгораемого топлива.

Векторная диаграмма генератора при регулировании ЭДС с различной величиной и характером нагрузки показана на рис. 4.

Исследования генераторов проводилось при подключении нагрузки на каждый генератор. По полученным данным были построены внешние характеристики генераторов, из которых следует, что у одного из четырех генераторов внешняя характеристика астатическая. Еще у одного генератора – с положительным статизмом. Оставшиеся два генератора имеют отрицательный статизм с различным наклоном.

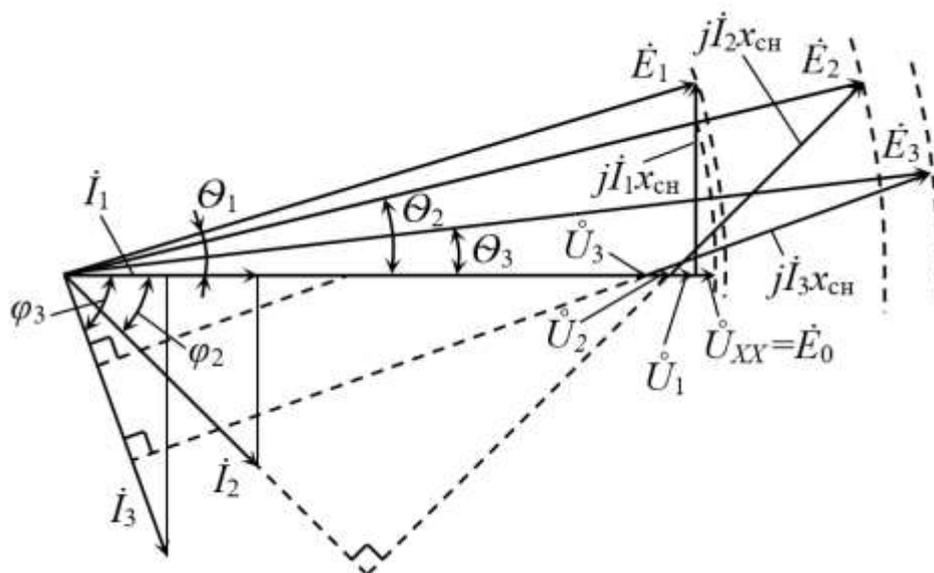


Рис. 4. Векторная диаграмма генератора с регулированием возбуждения с различной величиной и характером нагрузки

Из теории электрических машин известно, что для обеспечения требуемого режима работы генераторов необходимо одновременно регулировать вращающий момент M двигателя и ток возбуждения I_v генератора. При абсолютно жестких характеристиках (астатических), как и при малых значениях статизма (рис. 5, а), генератор устойчиво работать не может, поскольку генератор, обладающий характеристикой 3, будет набирать реактивную мощность нагрузки, а генератор с характеристикой 2 сам являться нагрузкой по реактивной мощности. В результате генератор с характеристикой 3 будет перегружен полным током [8-11]. Векторная диаграмма для такого случая приведена на рис. 6.

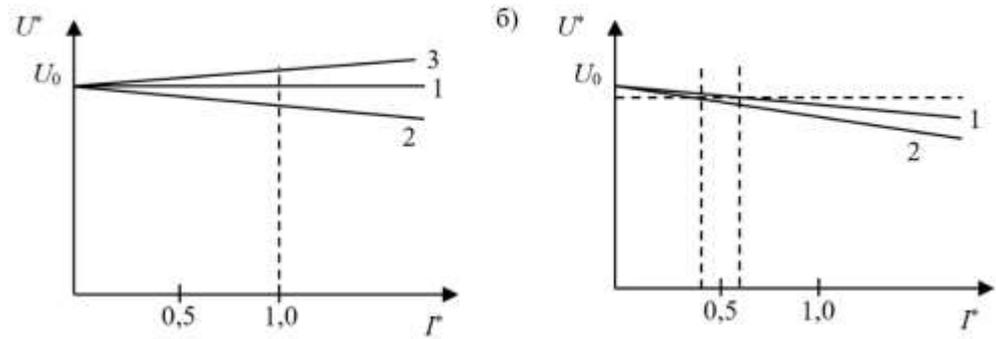


Рис. 5. Внешние характеристики генераторов: а) астатическая - 1, статическая - 2, с положительным статизмом - 3; б) 1 и 2 - статические.

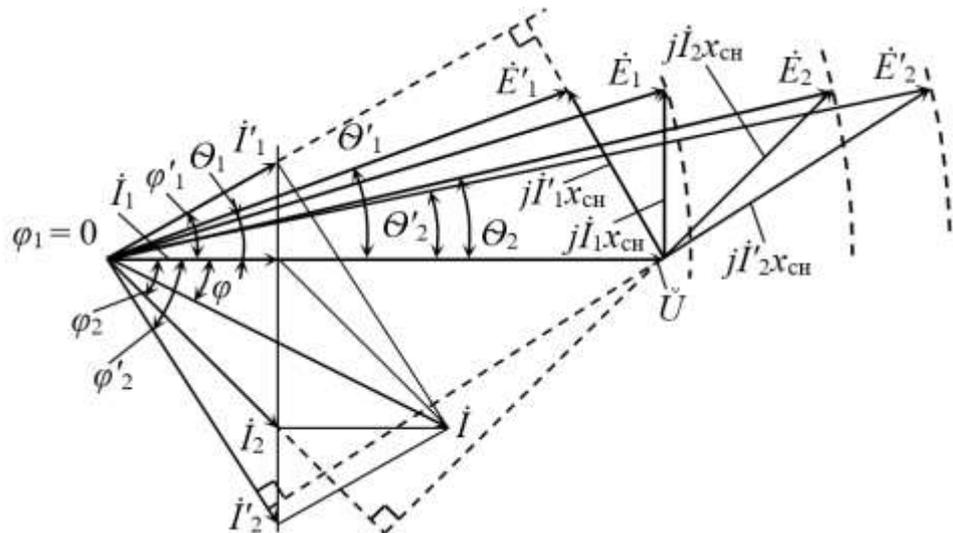


Рис. 6. Векторная диаграмма параллельно работающих генераторов с регулированием возбуждения при различной нагрузке и неравномерном ее распределении

Если E_r подключаемого генератора и U_c сети не равны - возникает ток, протекающий по обмоткам генераторов, который определяется из:

$$\dot{I}_a = (\dot{E}_r + \dot{U}_c) / jx_{сн}$$

Если $E_r > U_c$, то возникает размагничивающая реакция якоря, соответственно, у генератора, работающего на сеть - подмагничивающая [1-4]. Возникновение такого тока может привести к обмену реактивной мощностью между генераторами. Исходя из того, что активная мощность генератора равна:

$$P_r = mE_r I_a \cos\psi = mU_r I_a \cos\varphi$$

и связана с количеством топлива приводного двигателя генератора [11-15], поворот вектора \dot{E}_r зависит от поворота вектора тока \dot{I}_a , а значит изменение активной мощности генератора P_r всегда связано с изменением реактивной мощности Q_r . Отсюда следует, что для обеспечения устойчивой работы необходимо иметь значение тока \dot{I}_a стремящееся к нулю, а значит, генераторы должны иметь схожие внешние

характеристики со статизмом 3-4 % (см. рис. 5,б) и параметры регуляторов напряжения (коэффициенты усиления, быстродействия и др.).

Векторная диаграмма параллельно работающих ДГ с идентичными регуляторами напряжения и частоты вращения дизелей приведена на рис. 7. В случае равномерной загрузки генераторов активной нагрузкой $\dot{I} = \dot{I}_1 + \dot{I}_2$ ($I_1 = I_2$) ЭДС и угол нагрузки θ генераторов будут равны ($\theta_1 = \theta_2$, $E_1 = E_2$) [1-4]. При изменении характера нагрузки на активно-индуктивный появляется угол φ ($\varphi'_1 = \varphi'_2$), а регуляторы напряжения обоих генераторов повысят напряжения на обмотках возбуждения для компенсации размагничивающего действия с учетом ΔU и формирования заданного статизма внешних характеристик [16,17].

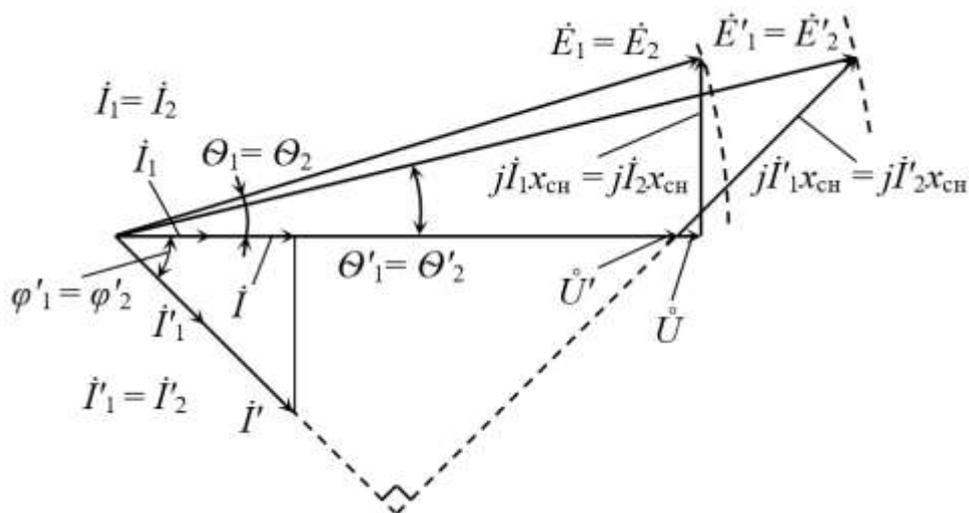


Рис. 7. Векторная диаграмма параллельно работающих генераторов с регулированием возбуждения при различной нагрузке и равномерно ее распределении

Система возбуждения (см. рис. 8) существующего бесщеточного синхронного генератора оснащена электронным корректором напряжения AVR. Трехфазные обмотки генератора собраны по схеме двойная звезда для получения линейного напряжения 220 В. Для питания корректора напряжения AVR используется дополнительная обмотка с выводами X-Y. Корректор напряжения обеспечивает регулирование напряжения (клеммы F+ и F-) на обмотке возбуждения возбудителя WVV в зависимости от значения линейного напряжения генератора (клеммы U2 и 220). Дистанционное регулирование напряжения генератора возможно за счет потенциометра, установленного на передней панели ГРЩ и подключенного к клеммам VR1 и VR2. Главным недостатком корректора является косвенное регулирование напряжения, не учитывающее характер нагрузки, поскольку отсутствует обратная связь по току нагрузки. Кроме того, такой регулятор не может сформировать характеристику генератора, имеющую заданный статизм.

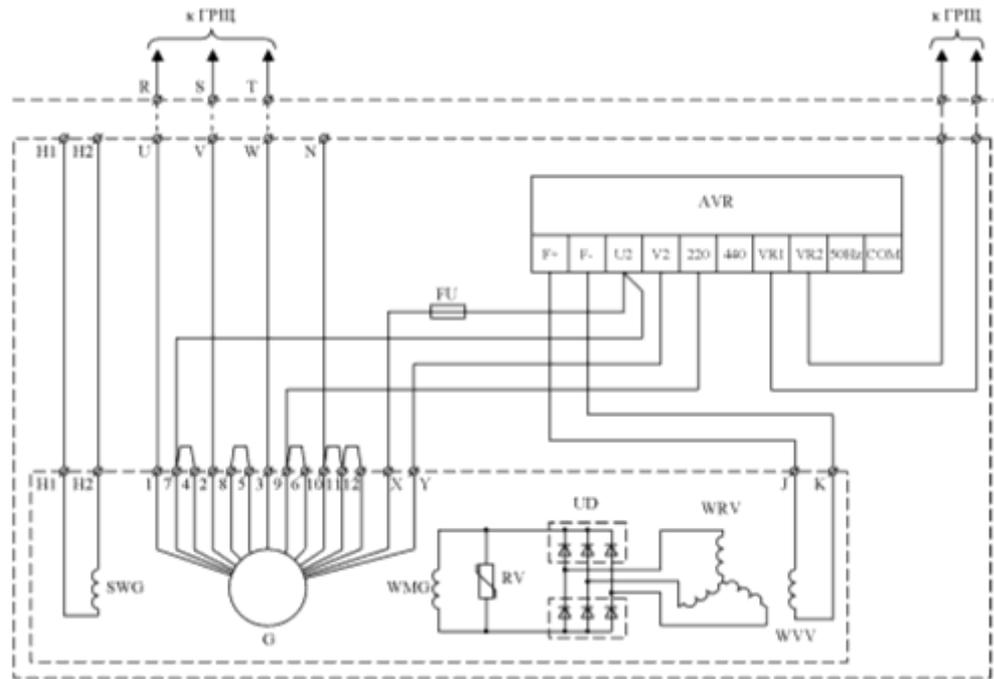


Рис. 8. Схема системы возбуждения синхронного генератора:

G – синхронный генератор, SWG – свободная обмотка генератора, WMG – обмотка возбуждения генератора, RV – варистор, UD – вращающийся выпрямитель, WRV – обмотка ротора возбудителя, WVV – обмотка возбуждения возбудителя, FU – предохранитель, AVR – регулятор напряжения

Результаты

Для получения характеристики генератора с отрицательным статизмом в схему были установлены трансформаторы тока, которые позволили получить необходимый наклон характеристик за счет косвенного регулирования (рис. 9). В зависимости от тока нагрузки на сопротивлении R будет падение напряжения, которое складывается с напряжением цепи измерения в противофазе. Т.е. при увеличении нагрузки суммарное значение напряжения на входе в корректор (клеммы U2 и 220) снижается, что приводит к повышению напряжения на обмотке возбуждения.

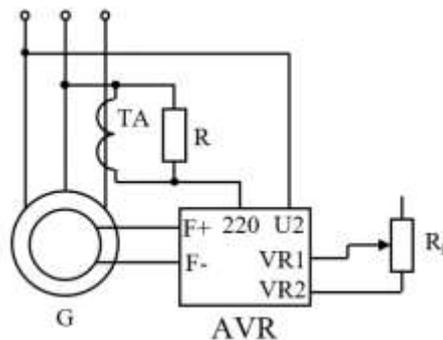


Рис. 9. Схема подключения трансформатора тока к корректору напряжения

- во втором режиме возможна устойчивая параллельная работа четырех дизель-генераторных установок.

Следует отметить, что в случае использования одинаковых блоков корректоров напряжения генераторов и точной настройке их параметров, система позволяет работать всем четырем генераторам в параллельном режиме при минимальном значении мощности (порядка 10 кВт на каждом). Испытания динамических процессов при набросе и сбросе нагрузки (22 кВт) на параллельно работающие дизель-генераторные агрегаты подтвердили устойчивость работы системы.

Список литературы

1. Судовые электрические машины и их эксплуатация : учеб. пособие /А. М. Олейников, В. Н. Мартынов; под ред. проф. А. М. Олейникова. – Севастополь: Изд – во СевНТУ, 2013. – 376 с.
2. Мезин Е.К. Судовые электрические машины: Учебник. - Л.: Судостроение, 1985. – 320 с.
3. Яковлев Г.С. Судовые электрические машины: Учебное пособие / Яковлев Г.С., Маникин А.И. - Л.: Судостроение, 1980. – 225 с.
4. Дворак Н. М. Электрические машины : конспект лекций для студентов направления 6.050702 "Электромеханика" специальности "Электрические системы и комплексы транспортных средств" дневной и заочной форм обучения / Н. М. Дворак. – Керчь : КГМТУ, 2011. – 146 с.
5. Попов С. В. Исследование параллельной работы дизель-генераторов судовой электростанции / С.В. Попов, О.А. Бурмакин, Ю.С. Малышев // Научные проблемы водного транспорта. 2021. № 66. С. 108-122. DOI:10.37890/jwt.vi66.148.
6. Попов С.В., Малышев Ю.С., Бурмакин О.А. Вариант модернизации системы автоматического регулирования дизель-генераторов для обеспечения их параллельной работы. Международный научно-промышленный форум Н.Новгород-Новосибирск. Транспорт. Горизонты развития. 2021. Секция 2 Энергоэффективность на транспорте.
7. Бурмакин О.А., Малышев Ю.С., Попов С.В., Шилов М.П. Сравнительный анализ результатов исследований реальной судовой электростанции и ее модели в переходных режимах работы. Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. Выпуск 60.- Н.Новгород: изд. ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2019. – С. 229-231.
8. Алексеев Н. А. Особенности выбора способа управления резервными агрегатами судовой электростанции в зависимости от нагрузки на шинах главного распределительного щита / Н. А. Алексеев, А. А. Виноградов // Сборник научных трудов профессорско-преподавательского состава Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — СПб.: Изд-во ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова, 2016. — С. 7–13.
9. Алексеев Н. А. Особенности синхронизации судовых генераторов в микропроцессорной системе DELOMATIC / Н. А. Алексеев, А. Н. Дуксин // Тезисы докладов научно-технической конференции ППС, научных сотрудников и курсантов. — СПб.: ГМА им. адм. С. О. Макарова, 2008. — С. 193–196.
10. Виноградов А. А. Исследование распределения нагрузки судовых дизель-генераторных агрегатов при их параллельной работе / Андрей Александрович Виноградов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. - 2017. - №2(42). - С. 373-379. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-2-373-379
11. Григорьев А. В. Повышение эффективности эксплуатации судовых дизельных электростанций / А. В. Григорьев, В. Ю. Колесниченко // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. - 2014. – №6(28). – С. 39-43. DOI: 10.21821/2309-5180-2014-6-6-39-43.
12. Sorfon, I. Power Management Control of Electrical Propulsion Systems. In Proceedings of the Dynamic Positioning Conference, Houston, TX, USA, 9–10 October 2012.
13. Radan, D. Integrated Control of Marine Electrical Power Systems. Ph.D. Thesis, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway, 2008.

14. J M Prousalidis, E Xanthopoulos & K Voutzoulidis (2009) Reactive power sharing in ship energy systems with shaft generators, *Journal of Marine Engineering & Technology*, 8:1, 21-38, DOI: 10.1080/20464177.2009.11020216
15. Fuchs E. Power Quality in Power Systems and Electrical Machines / E. Fuchs, M. A. S. Masoum. — Second edition. — Academic Press, 2015. — 1140 p. DOI: 10.1016/B978-0-12-800782-2.09989-9.
16. IEEE Power Engineering Society. IEEE Recommended Practice for Excitation System Models for Power System Stability Studies; IEEE Power Engineering Society: Piscataway, NJ, USA, 2005.
17. Radan, D.; Johansen, T.A.; Sorensen, A.J.; Adnanes, A.K. Optimization of load dependent start tables in marine power management systems with blackout prevention. *Trans. Circuits Syst.* 2005, 4, 1861–1866.

References

1. Sudovye ehlektricheskie mashiny i ikh ehkspluatatsiya : ucheb. posobie /A. M. Oleinikov, V. N. Martynov; pod red. prof. A. M. Oleinikova. – Sevastopol': Izd – vo SeVNTU, 2013. – 376 s.
2. Mezin E.K. Sudovye ehlektricheskie mashiny: Uchebnik. - L.: Sudostroenie, 1985. – 320 s.
3. Yakovlev G.S. Sudovye ehlektricheskie mashiny: Uchebnoe posobie / Yakovlev G.S., Manikin A.I. - L.: Sudostroenie, 1980. – 225 s.
4. Dvorak N. M. Ehlektricheskie mashiny : konspekt lektsii dlya studentov napravleniya 6.050702 "Ehlektricheskie mashiny" spetsial'nosti "Ehlektricheskie sistemy i kompleksy transportnykh sredstv" dnevnoi i zaochnoi form obucheniya / N. M. Dvorak. – Kerch' : KGMTU, 2011. – 146 s.
5. Popov S. V. Issledovanie parallel'noi raboty dizel'-generatorov sudovoi ehlektrostantsii / S.V. Popov, O.A. Burmakin, YU.S. Malyshev // Nauchnye problemy vodnogo transporta. 2021. № 66. S. 108-122. DOI:10.37890/jwt.vi66.148.
6. Popov S.V., Malyshev YU.S., Burmakin O.A. Variant modernizatsii sistemy avtomaticheskogo regulirovaniya dizel'-generatorov dlya obespecheniya ikh parallel'noi raboty. Mezhdunarodnyi nauchno-promyshlennyi forum N.Novgorod-Novosibirsk. Transport. Gorizonty razvitiya. 2021. Sektsiya 2 Ehnergoehffektivnost' na transporte.
7. Burmakin O.A., Malyshev YU.S., Popov S.V., Shilov M.P. Sravnitel'nyi analiz rezul'tatov issledovaniy real'noi sudovoi ehlektrostantsii i ee modeli v perekhodnykh rezhimakh raboty. Vestnik Volzhskoi gosudarstvennoi akademii vodnogo transporta. Vypusk 60.- N.Novgorod: izd. FGBOU VO «VGUVT», 2019. – S. 229-231.
8. Alekseev N. A. Osobennosti vybora sposoba upravleniya rezervnymi agregatami sudovoi ehlektrostantsii v zavisimosti ot nagruzki na shinakh glavnogo raspredelitel'nogo shchita / N. A. Alekseev, A. A. Vinogradov // Sbornik nauchnykh trudov professorsko-prepodavatel'skogo sostava Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova. — SPb.: Izd-vo GUMRF im. adm. S. O. Makarova, 2016. — S. 7–13.
9. Alekseev N. A. Osobennosti sinkhronizatsii sudovykh generatorov v mikroprotssessornoi sisteme DELOMATIC / N. A. Alekseev, A. N. Duksin // Tezisy dokladov nauchno-tekhnicheskoi konferentsii PPS, nauchnykh sotrudnikov i kursantov. — SPb.: GMA im. adm. S. O. Makarova, 2008. — S. 193–196.
10. Vinogradov A. A. Issledovanie raspredeleniya nagruzki sudovykh dizel'-generatornykh agregatov pri ikh parallel'noi rabote / Andrei Aleksandrovich Vinogradov // Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova. - 2017. - №2(42). - C. 373-379. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-2-373-379
11. Grigor'ev A. V. Povyshenie ehffektivnosti ehkspluatatsii sudovykh dizel'nykh ehlektrostantsii / A. V. Grigor'ev, V. YU. Kolesnichenko // Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova. - 2014. – №6(28). – C. 39-43. DOI: 10.21821/2309-5180-2014-6-6-39-43.

12. Sørfon, I. Power Management Control of Electrical Propulsion Systems. In Proceedings of the Dynamic Positioning Conference, Houston, TX, USA, 9–10 October 2012.
13. Radan, D. Integrated Control of Marine Electrical Power Systems. Ph.D. Thesis, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway, 2008.
14. J M Prousalidis, E Xanthopoulos & K Voutzoulidis (2009) Reactive power sharing in ship energy systems with shaft generators, Journal of Marine Engineering & Technology, 8:1, 21-38, DOI: 10.1080/20464177.2009.11020216
15. Fuchs E. Power Quality in Power Systems and Electrical Machines / E. Fuchs, M. A. S. Masoum. — Second edition. — Academic Press, 2015. — 1140 p. DOI: 10.1016/B978-0-12-800782-2.09989-9.
16. IEEE Power Engineering Society. IEEE Recommended Practice for Excitation System Models for Power System Stability Studies; IEEE Power Engineering Society: Piscataway, NJ, USA, 2005.
17. Radan, D.; Johansen, T.A.; Sorensen, A.J.; Adnanes, A.K. Optimization of load dependent start tables in marine power management systems with blackout prevention. Trans. Circuits Syst. 2005, 4, 1861–1866.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Попов Сергей Васильевич, к.т.н., доцент, доцент кафедры электротехники и электрооборудования объектов водного транспорта, Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: Popovsev3@ya.ru

Бурмакин Олег Анатольевич, к.т.н., доцент, доцент кафедры электротехники и электрооборудования объектов водного транспорта, Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: boa_71@mail.ru

Малышев Юрий Сергеевич, к.т.н., доцент, доцент кафедры электротехники и электрооборудования объектов водного транспорта, Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: elektrikasp@mail.ru

Sergey V. Popov, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor of the Department of Electrical Engineering and Electrical Equipment of Water Transport Objects, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951

Oleg A. Burmakin, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor of the Department of Electrical Engineering and Electrical Equipment of Water Transport Objects, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951

Yuriy S. Malyshev, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor of the Department of Electrical Engineering and Electrical Equipment of Water Transport Objects, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951

Статья поступила в редакцию 12.09.2022; опубликована онлайн 20.12.2022.
Received 12.09.2022; published online 20.12.2022.