

9. Григорьев А. В. Целесообразность применения СЭД на судах вспомогательного флота / А. В. Григорьев, В. И. Штрамбранд, Р. Р. Зайнуллин // Морской флот. — 2014. — № 4. — С. 38–40.

10. Григорьев А. В. Анализ возможности и целесообразности применения систем электродвижения на судах вспомогательного флота / А. В. Григорьев, Р. Р. Зайнуллин // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2014. — № 5 (27). — С. 40–46.

11. Григорьев А. В. Опыт проектирования и результаты испытаний судового полупроводникового преобразователя частоты на новой элементной базе / А. В. Григорьев, Ю. А. Кулагин, Р. В. Митрофанов // Эксплуатация морского транспорта. — 2011. — № 1 (63). — С. 53–58.

12. Григорьев А. В. Анализ отказов и аварийных режимов преобразователя частоты гидрографического судна «Вайгач» / А. В. Григорьев, Д. И. Улитовский // Эксплуатация морского транспорта. — 2011. — № 2 (64). — С. 41–46.

УДК 621.37К

Е. Г. Барщевский,
канд. техн. наук, проф.

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ГЕНЕРАТОРНЫХ АГРЕГАТОВ НА ПАРАМЕТРЫ МОДУЛИРОВАННОГО НАПРЯЖЕНИЯ ГЕНЕРАТОРА

INFLUENCE OF DESIGN FEATURES GENSER ON PARAMETERS MODULATED VOLTAGE GENERATOR

В статье рассматривается влияние конструктивных особенностей генераторных агрегатов, в частности, несоосности и гибкости валов, эллипсности валов, дефектов подшипников, производственных и монтажно-производственных допусков в редукторах на низкочастотную модуляцию напряжения генераторных агрегатов. Показано, как определить наличие несоосности валов генераторных агрегатов, степень влияния несоосности валов на низкочастотную модуляцию и пути минимизации этого влияния. В статье показано, что для уменьшения влияния производственных и монтажно-производственных допусков, целесообразно выбирать двигатели с более высокой скоростью вращения и отдавать предпочтение одновальным агрегатам. В статье рассматриваются вопросы повышения качества напряжения судовых электроэнергетических систем. С целью уменьшения влияния неуравновешенных масс, несоосности валов, эллипсности шеек предлагается выбирать первичные двигатели с более высокой скоростью вращения.

The influence of design features of generating units, in particular, shaft misalignment and shaft flexibility, shaft ellipticity, defects of bearings, production tolerances and assembly and manufacturing tolerances in reducers on the low-frequency modulation of voltage of the generating units is considered in the article. It is shown how to identify the presence of shaft misalignment of generating units, the degree of influence of shaft misalignment on the low-frequency modulation and ways to minimize this impact. The paper shows that in order to reduce the impact of production tolerances and assembly and manufacturing tolerances it is advisable to choose engines with higher speed, preferring single-shaft units. In general the questions of quality improvement of tension of ship electrical power systems are considered in article. For the purpose of reduction of unbalanced masses influence, shaft misalignment, necks ellipticity it is offered to choose primary engines with higher speed of rotation.

Ключевые слова: амплитудно-частотная модуляция, несоосность валов, дефекты подшипников, низкочастотная модуляция, демпферная обмотка.

Key words: chastotnaya sampling analogue modulation, shaft misalignment, bearing defekty, low-frequency modulation damper.

В СВЯЗИ с широким использованием на судах средств вычислительной техники, автоматизированных систем управления, с развитием силовой полупроводниковой техники, микропроцессорных систем становится особенно актуальной проблема повышения качества электроэнергии на судах. Работа судовых электроэнергетических систем характеризуется большим количеством квазиустановившихся процессов, сопровождающихся искажением формы кривой и модуляцией напряжения. При этом существуют частотная (высокочастотная и низкочастотная) и амплитудная модуляции. Одной из распространенных причин низкочастотных модуляций напряжения является несоосность валов генераторных агрегатов [1]. При несоосности валов генератора и первичного двигателя в процессе работы агрегата при подходе осей к точке перегиба происходит замедление скорости вращения генератора, а после преодоления точки перегиба потенциальная энергия упругой системы переходит в кинетическую, и скорость вращения агрегата возрастает. Наличие знакопеременного ускорения за один оборот вала вызывает соответствующее увеличение и уменьшение ЭДС как по амплитуде, так и по частоте.

При поточной центровке, вызывающей угловое смещение соединенных валов, имеет место не только неравномерная скорость вращения, но и поперечные и продольные смещения ротора генератора. Частота этих перемещений равна частоте перемещения вала:

$$F_f = \frac{n_0}{60}. \quad (1)$$

Параметры амплитудно-частотной модуляции напряжения определяются параметрами излома и смещения сочлененных валов, скоростью вращения, частотой тока генераторов, величиной и характером нагрузки. При этом основной причиной модуляции напряжения является несоосность валов.

При постоянной нагрузке ($Z_{np} = \text{const}$) модулирующая частота напряжения по амплитуде и частоте определяется скоростью вращения генератора (1).

Особенно чувствительны к несоосности валов генераторные агрегаты с жесткими и полужесткими муфтами, поэтому к этим агрегатам должны предъявляться более жесткие требования по допускам на несоосность валов как в период монтажа, так и в период эксплуатации. Сочленение валов с помощью упругих муфт несколько ослабляют влияние несоосности на степень неравномерности вращения, а, следовательно, положительно влияет на параметры эксплуатационно-частотной модуляции напряжения, но полностью не устраняет вредное влияние несоосности валов на качество напряжения. В некоторых случаях соединительные муфты сами могут являться первопричиной неравномерности скорости вращения генераторов.

В настоящее время в литературе нет точных данных о возбуждающих колебание силах, вызванных несоосностью валов, поэтому не представляется возможным математически точно вывести уравнение движения агрегата с несоосными валами, хотя частота колебательного движения может быть определена достаточно точно (F_f). Сложнее обстоит вопрос с определением амплитуды колебания скорости.

Аналитическое выражение амплитудно-частотно-модулированного напряжения агрегата с несоосными валами аналогично выражению модулированного выражения агрегата с неуравновешенной массой. У агрегатов с равномерной скоростью вращения первичных двигателей (ТГ, ДГ) несоосность валов может быть обнаружена по характеру изменения огибающей амплитуд напряжения при $\Phi_m = \text{const}$. Для наших агрегатов огибающая амплитуд может служить критерием соосности валов [2].

Для определения степени несоосности валов приводного двигателя и генератора надо определить колебание амплитуды напряжения при независимости возбуждении и по предварительно составленной шкале напряжений оценить качество сборки агрегатов. Способ позволяет не только проверить качество сборки, но и довести ее до высокой степени точности и тем самым снизить влияние несоосности валов на модуляцию напряжения. Отрицательное влияние несоосности валов на качество напряжения устраняется тщательной центровкой.

Влияние эллипсности валов и дефектов подшипников на модуляцию напряжения агрегатов

Модуляции напряжения у генераторных агрегатов могут быть обусловлены эллипсностью шеек валов и дефектами деталей подшипников качения и скольжения. Модулирующая частота F_f при эллиптичности шеек валов в два раза и более превышает частоту вращения вала

$$F_{f1} = \frac{n_0}{60} \cdot \quad (2)$$

При дефектах деталей подшипников колебания скорости вращения будут иметь частоты более высокие, чем частота вращения вала F_f [4]. Так, частота ударных колебаний (модулирующая частота), обусловленных ненормальной работой подшипников качения, определяется из выражения

$$F_{f2} = \frac{D_k}{d_{ш}} \cdot F_f Z_{ш}, \quad (3)$$

где D_k — внутренний диаметр неподвижного кольца подшипника, см; $d_{ш}$ — диаметр шарика, см; F_f — число оборотов вала в секунду, Гц; $Z_{ш}$ — число шариков.

Если у генераторного агрегата имеет место эллипсоидность шеек валов (первичного двигателя, генератора, редуктора), низкочастотной модуляция напряжения будет при

$$2F_{f1} < f_{осн}, \quad (4)$$

где F_{f1} — модулирующая частота, обусловленная эллипсностью шеек вала; $F_{осн}$ — основная частота тока генератора.

При других соотношениях между частотами F_f и $f_{осн}$, будут иметь место только высокочастотные модуляции напряжения [5].

Низкочастотные модуляции напряжения у генераторных агрегатов при дефектах деталей подшипников также будут, если

$$F_{f2} < f_{осн}, \quad (5)$$

где F_{f2} — модулирующая частота, обусловленная дефектами подшипников.

Из (3) видно, что овальность шеек валов и дефекты подшипников могут вызывать как низкочастотные, так и высокочастотные модуляции напряжения.

При неуравновешенности центробежных сил, овальности шеек валов и дефектах деталей подшипников будут иметь место сложные негармонические колебания скорости вращения генератора [6]. Низшими частотами колебания скорости вращения будут частоты, обусловленные неуравновешенностью центробежных сил.

Влияние производственных и монтажно-эксплуатационных допусков в редукторах на модуляции напряжения агрегатов

В комплект генераторных агрегатов могут входить не только муфты, но и редукторы, которые также оказывают влияние на качество напряжения генераторных агрегатов [3].

Влияние передаточных чисел редукторов на параметры низкочастотной модуляции напряжения рассматривалось ранее. Поэтому рассмотрим только влияние производственных и монтажно-эксплуатационных допусков редукторов на качество напряжения агрегатов.

Редукторы представляют собой сложную колебательную систему [7], [8]. Модуляции напряжения агрегатов с редукторами могут быть обусловлены многими монтажно-производственными допусками элементов редуктора.

Причиной колебаний выходной скорости редуктора могут быть эксцентриситет зубчатых венцов шестерен относительно осей, отклонения в шаге, профиле и размерах зубьев. Произведенные расчеты по выявлению влияния эксцентриситета зубчатых венцов шестерен, изготовленных по второму классу точности, показали, что при равномерной скорости вращения выходного вала редуктора неравномерность скорости вращения вала генератора $\delta_3 = \frac{1}{80}$, $R_v = \pm 2,5\%$, что недопустимо.

При учете всех неизбежных производственных отклонений в зацеплениях шестерен неравномерность вращения окажется еще большей. Редукторы имеют несколько вращающихся валов с различными скоростями вращения. При неуравновешенных валах, эксцентриситетах и других производственных и монтажных допусках и неточностях в изготовлении выходная скорость агрегата будет представлять сумму гармонических составляющих с различными частотами, амплитудами и фазами. Неточности в изготовлении и сборке редуктора, неуравновешенность валов и т.д. могут явиться возбудителями вынужденных колебаний скорости вращения агрегата.

Влияние гибких валов и демпферных устройств агрегата на модуляции его напряжения

Изменение жесткости пружин демпферных устройств также оказывает влияние на параметры модулированного напряжения. Уменьшение жесткости пружин против расчетной приводит к уменьшению модуляций по амплитуде в режиме холостого хода и при малых нагрузках. При увеличении нагрузки пружины демпферного устройства оказываются полностью сжатыми, что приводит к увеличению модуляций напряжения.

Как повышение, так и уменьшение жесткости пружин, по сравнению с оптимальной, оказывает отрицательное влияние на параметры амплитудно-частотно-модулированного напряжения агрегата [9]. Замена штатного демпферного устройства на демпферное устройство с фиксированным положением корончатой шестерни и меньшими жесткостями пружин привела к изменению параметров амплитудно-частотной модуляции напряжения агрегата. Замена гибкого вала на жесткий также привела к изменению параметров амплитудно-частотной модуляции напряжения. Ввиду того, что жесткость пружин оказалось недостаточной при нагрузке генератора, наблюдались удары в демпферном устройстве, так как росту амплитуд колебания скорости препятствовали ограничители.

Элементы механической передачи мощности агрегатов оказывают влияние на параметры амплитудно-частотной модуляции напряжения, а в некоторых случаях они сами могут быть возбудителями колебаний скорости вращения агрегата. Экспериментальные исследования подтвердили, что весьма сложные или нелинейные колебания хорошо демпфируются только при малой жесткости демпфера. Чрезмерная жесткость ухудшает колебательный процесс.

Выводы

1. Для уменьшения влияния неуравновешенных масс, несоосности валов, эллипсности шеек и других производственных и монтажно-производственных допусков целесообразно выбирать первичные двигатели с более высокой скоростью вращения.

2. Следует также стремиться исключить промежуточные звенья-редукторы. Более предпочтительными с точки зрения качества напряжения являются одновальные агрегаты.

Список литературы

1. Барцевский Е. Г. Идентификация и оптимизация судовых автоматизированных систем методами планирования эксперимента: монография / Е. Г. Барцевский, Ю. Я. Зубарев. — СПб.: Изд-во Политехнического ун-та, 2012. — 255 с.
2. Шейнихович В. В. Качество электрической энергии на судах / В. В. Шейнихович [и др.] — Л.: Судостроение, 1988. — 335 с.
3. Жежеленко И. В. Качество электроэнергии на промышленных предприятиях / И. В. Жежеленко. — Киев: Техника, 1981. — 166 с.
4. Сапунов М. Вопросы качества электроэнергии / М. Сапунов // Новости электротехники. — 2001. — № 4 (10).

5. *Карташев И. И.* Требования к средствам измерения показателей качества электроэнергии / И. И. Карташев, И. С. Пономаренко, В. Н. Ярославский // Электричество. — 2000. — № 4.
6. *Куро Жак.* Современные технологии повышения качества электроэнергии при ее передаче и распределении / Жак Куро // Новости электротехники. — 2005. — № 1 – 2.
7. *Ланцов В.* Контактная разработка силовых устройств: один из путей генерирования новых идей / В. Ланцов // Силовая электроника. — 2008. — № 2.
8. *Сазонов И. В.* Влияние производственных допусков в редукторах на качество напряжения / И. В. Сазонов // Новости электротехники. — 2007. — № 6.
9. *Воронцова Н.* Проблема качества электроэнергии / Н. Воронцова // Силовая электроника. — 2008. — № 2.

УДК 629.12.066

В. М. Приходько,
канд. техн. наук, проф.;

И. В. Приходько,
асп.;

Д. И. Игнатов,
асп.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ СУДОСТРОИТЕЛЬНО-СУДОРЕМОНТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

IMPROVING THE EFFICIENCY OF ENERGY SUPPLY SHIPBUILDING AND SHIP-REPAIRING ENTERPRISES

Установлено, что судостроительно-судоремонтные предприятия являются весьма энергоёмкими производствами в отрасли водного транспорта. Одним из основных условий повышения конкурентоспособности их продукции (постройки, достройки, ремонта судов) заключается в снижении энергозатрат при её производстве (судостроении) и судоремонте. Проведённый анализ задач по совершенствованию системы организации и управления энергетическим обеспечением судостроительно-судоремонтных предприятий в отрасли водного транспорта выявил их взаимосвязанность. Причём, неверное или необъективное решение одной из них должно отразиться на результатах решения других задач. В частности, систему управления энергетическим обеспечением можно принять за многоцелевую функцию. Достижение её оптимума связано с выявлением рациональных уровней, соответствующих решению каждой частной задачи. Однако практически невозможно, оптимизировав каждую частную производную, получить оптимум многоцелевой функции. Это, естественно, вводит определённые ограничения при решении каждой задачи. Показано, что энергоаудит является инструментом повышения энергоэффективности судостроительно-судоремонтных предприятий в отрасли водного транспорта.

It is established that the shipbuilding and ship-repairing enterprises are highly energy-intensive industries in the sector of water transport. One of the main conditions for improving the competitiveness of their products (construction, completion, repair of courts) is to reduce energy consumption during its production (shipbuilding and ship repair. The analysis of the tasks to improve the system of organization and management of the provision of energy shipbuilding and ship-repairing enterprises in the water transport industry revealed that they were related. Moreover, incorrect or biased decision one of them should be reflected in the results of other tasks. In particular, the management system of energy provision can be taken as a multipurpose function. Achieve its optimum due to finding rational levels, corresponding to the solution of each particular problem. However, it is practically impossible to optimize each partial derivative to obtain the optimum multi-purpose functions. This, of course, introduces some limitations when solving each task. It is shown that the energy audit is a tool for improving the efficiency of the shipbuilding and ship-repairing enterprises in the water transport industry.