

В. В. Романовский,
д-р техн. наук, профессор,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова;

А. И. Лебедев,
канд. техн. наук, доцент,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова;

А. Г. Гостев,
аспирант,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова

КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ГРЕБНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВОК СУДОВ ЛЕДОВОГО ПЛАВАНИЯ И ЛЕДОКОЛОВ

ELECTRICITY QUALITY OF ROWING ELECTRICAL INSTALLATIONS OF ICE SHIPS AND ICEBREAKERS

В статье рассматриваются вопросы качества электрической энергии в судовых единых электро-энергетических системах (ЕЭЭС) с гребными электрическими установками (ГЭУ). В таких системах используются различные полупроводниковые преобразователи электрической энергии, мощность которых соизмерима с мощностью самой ЕЭЭС. При этом наблюдается заметное ухудшение качества электрической энергии, что, в свою очередь, оказывает негативное влияние на работу судовых потребителей. Приводится краткий анализ негативного влияния полупроводниковых преобразователей на качество электрической энергии и методы ее улучшения с помощью использования нового поколения полупроводниковых элементов в совокупности с преобразователем частоты со звеном постоянного тока.

In article questions of quality of electrical energy in ship combined electrical power systems (SCEES) with the electrical propulsion system (EPS) are considered. In such systems different semiconductor transformers of the electrical energy which power is commensurable with a power of SCEES are used. Noticeable deterioration of electrical energy is thus watched that in turn has a negative influence on work of ship customers. The short analysis of a negative influence of semiconductor transformers is provided in article on quality of electrical energy and methods of its improving by using a new generation of semiconductor elements in conjunction with the frequency converter with a direct current link.

Ключевые слова: ЕЭЭС, ГЭУ, качество, преобразователи, ледоколы.

Key words: ship combined electrical power systems (SCEES), electrical propulsion system (EPS), quality, transformers, Icebreakers.

ЕДИНЫЕ электроэнергетические системы (ЕЭЭС) судов ледового плавания и ледоколов имеют в своем составе гребные электрические установки (ГЭУ), которые являются потребителями соизмеримой с электростанцией мощности. Как правило, гребные электродвигатели (ГЭД) получают питание от мощных преобразователей частоты, управляемых или неуправляемых выпрямителей (рис. 1 и 2).

Выбор ГЭД зависит от типа преобразователя, расположения, количества и мощности двигателей, способа охлаждения и частоты вращения гребного винта. При мощностях свыше 1 МВт ГЭД синхронного типа превосходит по массогабаритным показателям ГЭД асинхронного типа. Кроме того, следует отметить и другие достоинства синхронных машин, такие как больший воздушный зазор и возможность работы с $\cos \varphi = 1$ [2]. В свою очередь, асинхронные машины имеют меньшую стоимость и высокую надежность, связанную с простотой их конструкции. На мощностях до 400–500 кВт асинхронные ГЭД имеют лучшие массогабаритные показатели по сравнению с синхронными. Перспективными являются двигатели с постоянными магнитами, используемые в движителях Siemens Schottel Propulsor (SSP) и Azipod Compact компании ABB [5].

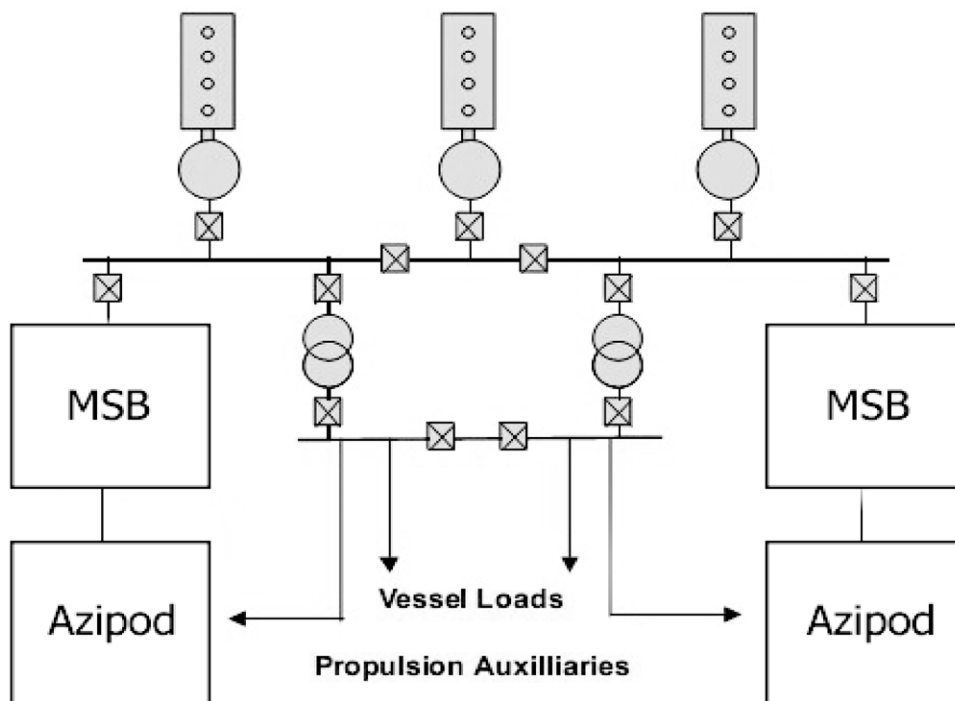


Рис. 1. ГЭУ пассажирского парома с системой AZIPOD Compact

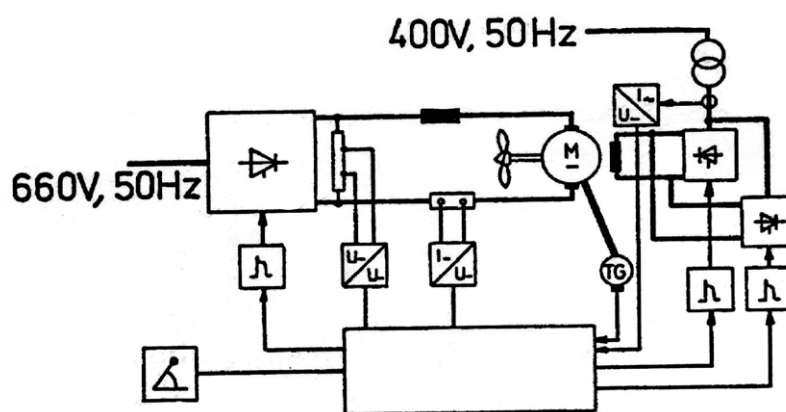


Рис. 2. ГЭУ ледокола типа «Капитан Измайлов»

Выбор преобразователя частоты до последнего времени ограничивался применением непосредственных преобразователей частоты и преобразователей частоты со звеном постоянного тока (ПЧПТ). Однако из-за недостатков непосредственных преобразователей частоты, к которым, в частности, относится их влияние на качество питаемой электроэнергии, приводящее к повышению коэффициента несинусоидальности напряжения судовой сети. ПЧПТ, в свою очередь, имели низкий КПД из-за двойного преобразования энергии.

Появление нового поколения полупроводниковых элементов, отличающихся высоким быстродействием и предельным значением коммутируемой мощности при очень малой мощности управления, позволяет эффективно использовать ПЧПТ. Повышение номинальных параметров запираемых тиристоров и силовых транзисторов позволяет охватить практически весь мощностной диапазон регулируемого привода. Таким образом, КПД мощных преобразователей (ПЧПТ) может достигать в номинальных режимах 95–99 %.

В ПЧПТ с появлением IGBT-транзисторов и запираемых (GTO) тиристоров появилась возможность использовать неуправляемые диоды для выпрямления переменного тока. Выпрямитель, работающий по трехфазной мостовой схеме, наиболее распространен в судовых ЕЭЭС. Нагрузка на часть периода подключается к двум различным фазам синхронного генератора. Таким образом, при работе синхронного генератора на выпрямительную нагрузку ток в фазах обмотки статора является несинусоидальным. Наблюдаются перерывы тока, связанные с закрытием отдельных вентилях. Первая гармоника фазного тока статора при этом отстает от напряжения генератора на угол, примерно равный 0,5–0,6 угла коммутации. Искажается и напряжение на зажимах синхронного генератора. Степень и характер этого искажения определяются коммутационными процессами в выпрямителе, имеющими интервал повторяемости, равный трем. Поэтому за период изменения ЭДС синхронного генератора в кривой его линейного напряжения появляется шесть характерных коммутационных искажений. Искажение напряжения и наличие в его составе высших гармонических составляющих тока отрицательно сказываются на работе судовых потребителей электроэнергии (рис. 3) [1].

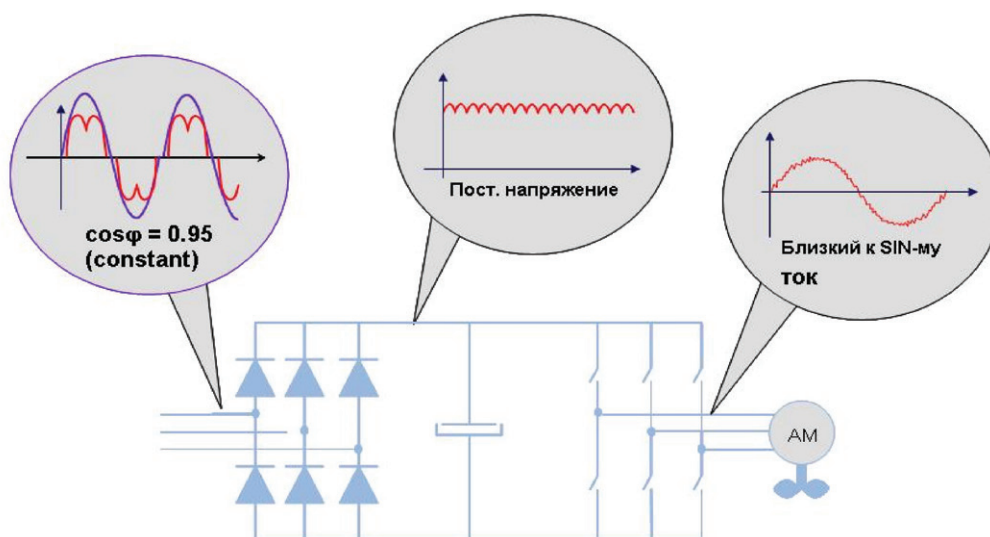


Рис. 3. Изменение ЭДС и напряжения в ПЧПТ

Наличие таких потребителей приводит к отрицательному воздействию на основную сеть переменного тока, заключающемуся в генерации высших гармонических составляющих тока и напряжения. Последние, в свою очередь, повышают вероятность возникновения резонансных явлений в судовых автоматизированных электроэнергетических системах (САЭЭС), нарушают работу программного обеспечения вычислительных и управляющих устройств, релейной защиты и автоматики, вызывают ускоренное старение изоляции основного электрооборудования, снижают надежность электроснабжения потребителей.

В настоящее время на судах ледового плавания и ледоколах с ЕЭЭС наиболее широкое применение получили схемы ПЧПТ (рис. 4). При этом для снижения коэффициента несинусоидальности и повышения качества электрической энергии используют 12-пульсные схемы (рис. 4 б), а в некоторых случаях возможно использование 18- и даже 24-пульсных схем [2]. Такой метод повышения качества электроэнергии требует увеличения полупроводниковых элементов, при этом также увеличиваются массогабаритные и стоимостные показатели преобразователя.

Появление мощных IGBT транзисторов позволяет создавать ПЧПТ с использованием полностью управляемых активных выпрямителей (AFE – Active front end), работающих по принципу широтно-импульсной модуляции (ШИМ) – рис. 4 в.

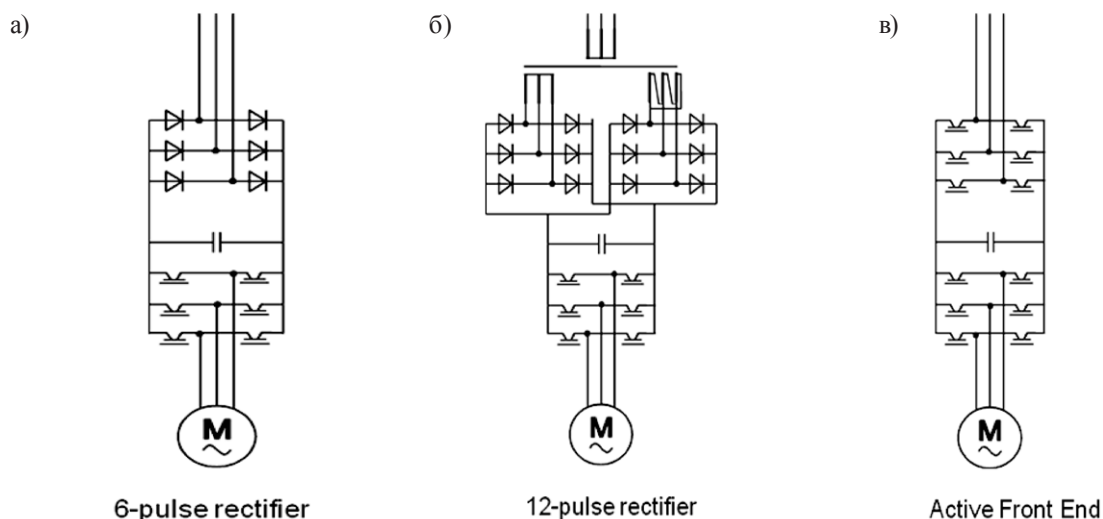


Рис. 4. Схемы ПЧПТ:
 а – 6-пульсная; б – 12-пульсная; в – с активным выпрямителем (AFE)

Благодаря использованию ШИМ-технологии преобразования, влияние таких преобразователей на качество электрической энергии сведено к минимуму [4]. На рис. 5 приведен график влияния высших гармонических составляющих для систем с 6-, 12-пульсным и активным (AFE) выпрямителями в составе ПЧПТ. Помимо прочего использование ПЧПТ с AFE выпрямителем позволяет получить коэффициент мощности ЕЭЭС, близкий к единице. Такие преобразователи могут быть использованы в качестве компенсаторов реактивной мощности и даже активных фильтров [3].

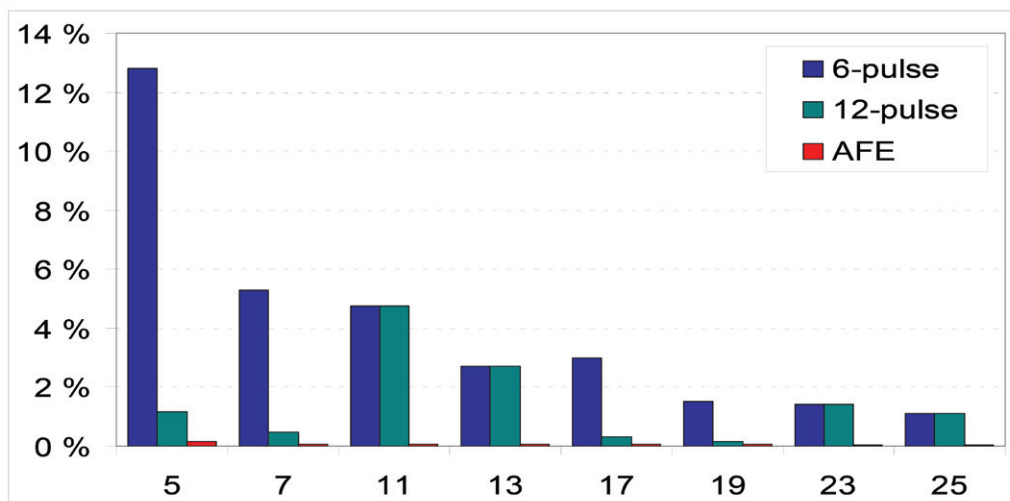


Рис. 5. График влияния высших гармонических составляющих для различных ПЧПТ

Традиционными средствами обеспечения качества электроэнергии в судовой сети являлись конденсаторные батареи с постоянной емкостью, снабженные электромеханическими коммутирующими устройствами и пассивные фильтры. Однако совершенствование вычислительной техники определило развитие управления качеством электроэнергии по двум основным направлениям. Первое из них связано с совершенствованием силовых исполнительных узлов и элементов системы управления, второе определяется поиском оптимальных структур и алгоритмов работы элементов и системы в целом. Таким образом, наличие средств вычислительной

техники в системе управления позволяет использовать сложные и эффективные алгоритмы численной обработки сигналов, значительно увеличив точность коррекции возмущений в электроэнергетической системе судна.

Список литературы

1. Агунов А. В. Управление качеством электроэнергии при несинусоидальных режимах: науч. изд. / А. В. Агунов. – СПб.: Изд. СПбГМТУ, 2009. – 133 с.
2. Романовский В. В. Перспективы модернизации гребных электрических установок ледоколов / В. В. Романовский, В. С. Иванов, А. И. Лебедев // Морской Вестник. – 2013. – № 2(11). – С. 56–59.
3. Пронин М. В. Активные фильтры высших гармоник направления развития / М. В. Пронин // Новости электротехники. – 2006. – № 2 (38).
4. Современные преобразователи частоты: методы управления и аппаратная реализация [Электронный ресурс] // Силовая электроника. – 2004. – № 1. – Режим доступа: http://www.power-e.ru/pdf/2004_01_50.pdf, свободный. – Загл. с экрана.
5. Двигательная установка Azipod VI безопасная, эффективная и экологически чистая навигация в ледовых условиях [Электронный ресурс] // Сайт компании АВВ. – Режим доступа: [http://www05.abb.com/global/scot/scot293.nsf/veritydisplay/56184f24de9dfa99c1257a0f002dc565/\\$file/ABB_Finland_Icebreaker_brochure_2012_ru_web.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot293.nsf/veritydisplay/56184f24de9dfa99c1257a0f002dc565/$file/ABB_Finland_Icebreaker_brochure_2012_ru_web.pdf), свободный. – Загл. с экрана.

УДК 621.311:629.12

С. Ю. Труднев,
ст. преподаватель,
ФГБОУ ВО «КамчатГТУ»

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ШИМ-ИНВЕРТОРА И ОДНОФАЗНОЙ СЕТИ

RESEARCH OF PARALLEL WORK OF PWM INVERTER AND SINGLE-PHASE NETWORK

В статье рассмотрена структура работы устройства, позволяющего улучшить качество электрической энергии. Разработана математическая модель однофазной сети и однофазного источника питания, работающего через инвертор. На основании математической модели разработана и исследована имитационная модель предлагаемого устройства в программе MATLAB. Рассмотрена параллельная работа инвертора и однофазной сети с нулевым фазовым сдвигом, исследованы характеристики зависимости напряжения от времени работы. Исследована параллельная работа преобразователя и однофазной сети с фазовым сдвигом, равным 60 градусам. Выявлен положительный эффект и определены недостатки при внедрении данного устройства.

In article are considered structure of operation of the device allowing to improve quality of electric energy. The mathematical model of a single-phase network and the single-phase power supply working via the inverter is developed. On the basis of mathematical model the imitating model of the offered device in the MATLAB program is developed and investigated. Parallel operation of the inverter and a single-phase network with zero phase shift is