

УДК 629.543.064.5-83 + 656.614.3.073.436

А. О. Дранкова, канд. техн. наук,  
С. С. Михайков

## ОБЗОР МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ СУДОВЫХ ГРУЗОВЫХ КОМПЛЕКСОВ

**Аннотация.** Проведен обзор методов и средств обеспечения электромагнитной совместимости судовых грузовых комплексов. Рассмотрены методы подавления высших гармоник токов и напряжений при помощи пассивных фильтров, изолирующих трансформаторов и активных кондиционеров гармоник. Обозначены основные мероприятия по выбору технических средств обеспечения синусоидальности токов и напряжений в судовых грузовых комплексах.

**Ключевые слова:** судовой грузовой комплекс, электромагнитная совместимость, частотный преобразователь, асинхронный двигатель, пассивный фильтр, изолирующий трансформатор, активный кондиционер гармоник, суммарный коэффициент гармоник

A. O. Drankova, PhD.,  
S. S. Mikhaykov

## REVIEW OF METHODS AND MEANS ENSURE ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY SHIP CARGO COMPLEX

**Abstract.** The review of methods and means which ensures the electromagnetic compatibility of ship cargo complexes. Regards as methods of suppressing higher harmonic currents and voltages using the passive filters, the isolation transformers and the active harmonic conditioners. Outlines the key measures due to ensure the selection of technical means sinusoidal voltages and currents in the ship cargo complexes.

**Keywords:** ship's cargo complex, electromagnetic compatibility, inverter, induction motor, passive filter, isolation transformer, active harmonic conditioner, THD (Total Harmonic Distortion)

A. O. Drankova, канд. техн. наук,  
С. С. Михайков

## ОГЛЯД МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ СУДНОВИХ ВАНТАЖНИХ КОМПЛЕКСІВ

**Анотація.** Проведено огляд методів та засобів забезпечення електромагнітної сумісності судових вантажних комплексів. Розглянуті методи пригнічення вищих гармонік струмів та напруг за допомогою пасивних фільтрів, ізолюючих трансформаторів та активних кондиціонерів гармонік. Зазначені основні заходи з вибору технічних засобів забезпечення синусоїдальності струмів та напруг у судових вантажних комплексах.

**Ключові слова:** судновий вантажний комплекс, електромагнітна сумісність, частотний перетворювач, асинхронний двигун, пасивний фільтр, ізолюючий трансформатор, активний кондиціонер гармонік, сумарний коефіцієнт гармонік

**Постановка задачи исследования.** В автономных судовых грузовых комплексах с мощностями, достигающими 65 % и более от мощности источников судовой электросети, внедрение частотных преобразователей (ЧП) для управления асинхронными двигателями (АД) приводит к значительному искажению формы кривых питающих токов и напряжений, появлению высших гармонических составляющих в нагрузочных токах и напряжениях. При этом наблюдается загрузка электросети дополнительной реактивной мощностью и мощностью искажения.

Известно, что численность асинхронных двигателей с частотным управлением достигает 80 – 90 % от общего числа судовых асинхронных двигателей, поэтому повышение качества электроэнергии, а именно приближение формы питающего напряжения к синусоидальной является важной и актуальной задачей.

В настоящее время большое внимание уделяется вопросам разработки методов и средств, позволяющих уменьшить уровень высших гармоник токов и напряжений, для обеспечения качества электроэнергии, соответствующего требованиям стандартов [1– 3].

**Цель работы.** Целью данной работы является обзор методов и средств обеспечения электромагнитной совместимости судовых грузовых комплексов с частотными преобразователями.

**Природа гармонических искажений и их последствия**

В идеальной однородной электросети формы токов и напряжений являются чисто синусоидальными (рис. 1). На практике же несинусоидальные токи являются результатом протекания тока по нагрузке, в которой ток нелинейно зависит от приложенного напряжения рис. 2 [4].

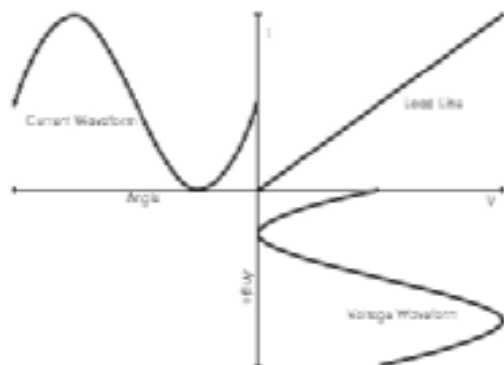


Рис. 1. Форма тока при линейной нагрузке

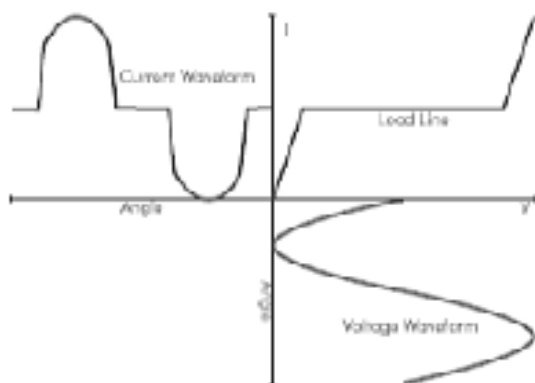


Рис. 2. Форма тока при нелинейной нагрузке

Гармонические искажения токов и напряжений в электросети создаются всеми нелинейными нагрузками, к которым относятся как однофазные, так и трёхфазные, а именно:

- изменяющие состояние блоки питания;
- электронные люминесцентные лампы;
- источники бесперебойного питания;
- тиристорные преобразователи напряжения;
- частотные преобразователи.

В литературе существует разделение на проблемы, создаваемые токами высших гармоник, и проблемы, создаваемые напряжениями высших гармоник [4].

К основным проблемам, которые вызваны присутствием токов высших гармоник, относятся:

- перегрев трансформаторов;
- перегрузка нейтралей;
- ложное срабатывание автоматических выключателей;
- стрессовая работа конденсаторов коррекции коэффициента мощности;
- скин-эффект.

Проблемы, наиболее часто возникающие при наличии напряжений высших гармоник, следующие:

- перегрев асинхронных двигателей;
- искажение напряжения;
- шум пересечения нулевого уровня.

Таким образом, несинусоидальность токов и напряжений вызывает проблемы, как в судовой электросети, так и в нагрузке.

### Технические средства подавления высших гармоник токов и напряжений в судовых грузовых комплексах

Современные технические средства подавления высших гармоник токов и напряжений подразделяют на три основные группы: пассивные фильтры, изолирующие трансформаторы и активные кондиционеры гармоник.

Использование пассивных фильтров относится к наиболее простому структурному решению подавления высших гармоник токов и напряжений. Пассивные фильтры обеспечивают путь с низким сопротивлением гармонических токов таким образом, что они гасятся в фильтре, а не подаются обратно в электросеть (рис. 3). Линейный фильтр обычно настроен на одну или несколько гармоник. Совокупность линейных фильтров обеспечивает гашение целого диапазона гармоник и тем самым снижает процентное соотношение суммарного коэффициента гармоник (THD) [5].

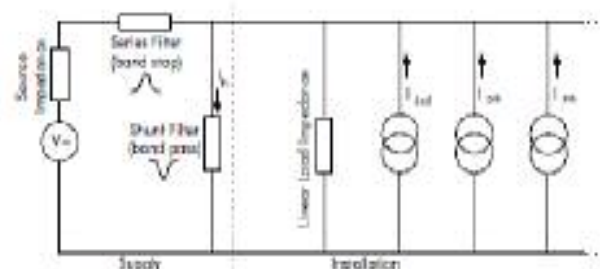


Рис. 3. Последовательное и шунтирующие включения пассивных фильтров

Изолирующие трансформаторы используют эффект уменьшения гармонических составляющих для гармоник кратностью  $3N$ . Это достигается за счёт использования соединения обмоток трансформатора в «треугольник». Трансформаторы с соединением обмоток «треугольник» являются конфигурацией автотрансформаторов, соединённых «звездой» на вторичной обмотке, с определённым сдвигом по фазе между обмотками, соединёнными «треугольником» на первичной обмотке трансформатора [6 – 7].

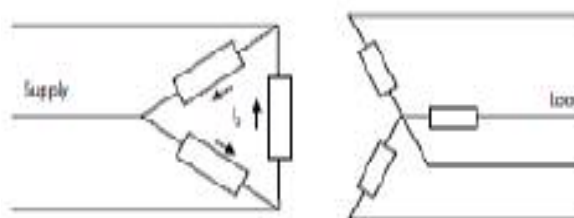


Рис. 4. Изолирующий трансформатор

Технические решения, упомянутые выше, обеспечивают гашение только конкретных, заранее определённых гармоник, и не могут быть рекомендованы в качестве решения общего назначения, к которому относится задача подавления высших гармоник токов и напряжений судовой грузового комплекса.

Для выбора технических средств обеспечения синусоидальности токов и напряжений в судовых грузовых комплексах необходимо:

- знание условий эксплуатации и технических характеристик генераторов, распределительной системы электропитания и автоматов защиты;
- точные знания характеристик нагрузки (гармонического состава токов, потребляемой мощности, места их подключения в электросети);
- использование специальных измерительных приборов для экспериментального определения гармонического состава тока в различных участках распределительной электросети;
- проведение анализа и моделирования изучаемой системы электропитания (источник - частотный преобразователь – нагрузка) с учетом проектируемых фильтров.

Все эти знания и мероприятия определяются как на этапе разработки грузового комплекса, так и на этапе его эксплуатации. При таком подходе наиболее удобным и целесообразным техническим решением оказывается использование активного кондиционера гармоник [8 – 10].

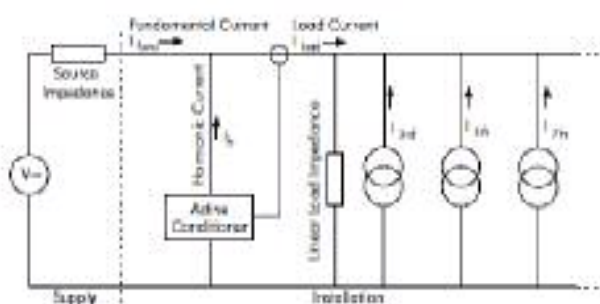


Рис. 5. Активный кондиционер гармоник

Как показано на рис. 5, активный кондиционер гармоник представляет собой шунт. Трансформатор тока измеряет содержание гармоник тока нагрузки и управляет генератором тока для создания точной копии гармоник, которая подается обратно в питающую электросеть в следующем цикле. Поскольку гармонический ток поступает из активного кондиционера, то только основной ток попадает в электросеть. На практике величина амплитуды отдельных высших гармоник тока сокращаются на 90 %, что позволяет в разы уменьшить суммарный коэффициент гармоник (THD). Одним из достоинств активного кондиционера гармоник является то, что в случае необходимости он может программироваться пользователем для выбора конкретных гармонических частот, характерных для рассматриваемого судового грузового комплекса.

**Выводы.** В настоящее время количество устанавливаемого оборудования для судовых грузовых комплексов повышается, что вполне вероятно ведет к росту гармонического загрязнения электросети. Представленные в статье технические средства подавления высших гармоник токов и напряжений в судовых грузовых комплексах имеют свои преимущества и недостатки. Нет универсального конкретного метода и средства. Очень легко потратить много времени и

финансовых средств на неприемлемое и неэффективное техническое решение.

Таким образом, выбор в качестве средства подавления высших гармоник активный кондиционер для судовых грузовых комплексов позволяет избежать технического и финансового разочарования как компаний-проектировщиков данного оборудования, так и эксплуатационного персонала.

#### Список использованной литературы

1. Bollen, Math H. J., (2000), *Understanding Power Quality Problems: Voltage Sags and Interruptions*, *IEEE Press Marketing*.
2. IEC 61000-2-12. *Electromagnetic Compatibility (EMC) – Part 2 – 12: Environment – Compatibility levels for low Frequency Conducted Disturbances and Signaling in Public Medium Voltage Power Supply Systems*.
3. IEC 61000-3-2. *Electromagnetic Compatibility (EMC). Part 3 – 2: Limits – Limits for Harmonic Current Emissions*.
4. Chapman D., (2001), “Harmonics: Causes and Effects”, Leonardo Energy, *Power Quality Application Guide*, March 2001, Chapter 5.1.4, pp. 1 – 11.
5. Fassbinder S., (2003), “Passive Filters”, Leonardo Energy, *Power Quality Application Guide*, June 2003, Chapter 3.3.1, pp. 1 – 12.
6. Ravot J.F., and Kreuzer J., (1988), “Losses in Rectifier Transformers: Factory test Losses in Comparison with actual Operating Losses,” in *Proc. CIGRE*, Paper 12 – 06.
7. Kennedy S.P., and Ivey C.I. “Application Design and Rating of Transformers Containing Harmonic Currents,” in *Conf. Rec1990 IEEE Pulp, Paper Ind. Tech. Confl.*, pp. 19 – 31.
8. Carve H., (2004), “Active Harmonic Conditioners”, Leonardo Energy, *Power Quality Application Guide*, March 2004, Chapter 3.3.3, pp. 1 – 11.
9. Bettega E., and Fiorina J.N., (1999), *Active Harmonic Conditioners and Unity Power Factor Rectifiers*, *Cahier Technique Schneider Electric, ECT 183*, 28 p.
10. Bernard S., and Trochain G., (2000), *Compensation of Harmonic Currents Generated By Computers Utilizing an Innovative Active Harmonic Conditioner*, *MGE UPS Systems, MGE 0128*, 19 p.

Получено 09.07.2014

#### References

1. Bollen, Math H.J., (2000), *Understanding Power Quality Problems: Voltage Sags and Interruptions*, *IEEE Press Marketing*.
2. IEC 61000-2-12. *Electromagnetic Compatibility (EMC) – Part 2 – 12: Environment – Compatibility levels for low Frequency Conducted Disturbances and Signaling in Public Medium Voltage Power Supply Systems*.
3. IEC 61000-3-2. *Electromagnetic Compatibility (EMC). Part 3 – 2: Limits – Limits for Harmonic Current Emissions*.

4. Chapman D., (2001), “Harmonics: Causes and Effects”, Leonardo Energy, *Power Quality Application Guide*, March 2001, Chapter 5.1.4, pp. 1 – 11.

5. Fassbinder S., (2003), “Passive Filters”, Leonardo Energy, *Power Quality Application Guide*, June 2003, Chapter 3.3.1, pp. 1 – 12.

6. Ravot J.F., and Kreuzer J., (1988), “Losses in Rectifier Transformers: Factory test Losses in Comparison with actual Operating Losses,” in *Proc. CIGRE*, Paper 12 – 06,

7. Kennedy S. P., and Ivey C.I. “Application Design and Rating of Transformers Containing Harmonic Currents,” in *Conf Rec1990 IEEE Pulp, Paper Ind. Tech. Confl.*, pp. 19 – 31.

8. Carve H., (2004), “Active Harmonic Conditioners”, Leonardo Energy, *Power Quality Application Guide*, March 2004, Chapter 3.3.3, pp. 1 – 11.

9. Bettega E., and Fiorina J.N., (1999), Active Harmonic Conditioners and Unity Power Factor Rectifiers, *Cahier Technique Schneider Electric, ECT 183*, 28 p.

10. Bernard S., and Trochain G., (2000), Compensation of Harmonic Currents Generated By Computers Utilizing an Innovative Active Harmonic Conditioner, *MGE UPS Systems, MGE 0128*, 19 p.



Дранкова  
Алла Олеговна,  
канд. техн. наук, доц. каф. судовой электромеханики и электротехники Одесской нац. морской академии,  
(ул. Дидрихсона, 8, г. Одесса, Украина, 65029).  
Тел.: +38(050)3917390.  
E-mail: drankova64@mail.ru



Михайков  
Сергей Сергеевич,  
аспирант каф. судовой электромеханики и электротехники Одесской нац. морской академии,  
(ул. Дидрихсона, 8, г. Одесса, Украина, 65029).  
Тел.: +38(093)7195888.  
E-mail: pilot.vodolaz@gmail.com