

УДК 621.311

НОРМИРОВАНИЕ ИНТЕРГАРМОНИК КАК ПОКАЗАТЕЛЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В РОССИИ И ЗА РУБЕЖОМ

Гапиров Р.А., Осипов Д.С.

ФГБОУ ВПО «Омский государственный технический университет», Омск, Россия (644050, Омск, просп. Мира, 11), e-mail: rgapirov@mail.ru, ossipovdmitriy@list.ru

В настоящее время нормирование интергармоник находится на стадии разработки и не предусматривается стандартами на качество электроэнергии большинством различных стран. В ряде стандартов нормирование носит лишь характер рекомендаций или не производится вообще. Такое положение связано с тем, что теория интергармоник является относительно новой и, как следствие, малоизученной по сравнению с теорией высших гармоник. Однако на сегодняшний день в условиях роста различных мощных нелинейных нагрузок анализ качества электроэнергии без учета влияния интергармоник на уровни электромагнитной совместимости в промышленных электрических сетях является неполным. В связи с этим представляет интерес изучение причин возникновения интергармоник, разработка методов их расчета, нормирования и снижения уровней. В статье подробно рассмотрены существующие как в России, так и за рубежом стандарты нормирования интергармоник, подчеркивается важность и специфика этой проблемы, становящейся всё более актуальной, раскрываются причины возникновения интергармоник, а также их влияние на потребителей электроэнергии.

Ключевые слова: интергармоники, нормирование, качество электроэнергии, высшие гармоники.

RATIONING INTERHARMONICS AS AN INDICATOR OF THE QUALITY OF ELECTRIC POWER IN RUSSIA AND ABROAD

Gapirov R.A., Osipov D.S.

Omsk state technical university, Omsk, Russia (644050, Omsk, street Mira, 11), e-mail: rgapirov@mail.ru, ossipovdmitriy@list.ru

Currently, the valuation of interharmonics is under development and is not provided by the power quality standards of the majority of the various countries. In some standards, the valuation is just the nature of the recommendations, or not done at all. This situation is due to the fact that interharmonics theory is relatively new and as a consequence, little studied in comparison with the theory of the higher harmonics. However, to date, in terms of growth of various powerful nonlinear load power quality analysis, excluding the effect of interharmonics on the levels of electromagnetic compatibility in industrial electrical networks are incomplete. In this connection it is interesting to study the causes of interharmonics, the development of methods of their calculation, regulation and reduce the levels. The article discussed in detail the existing both in Russia and abroad valuation standards interharmonics, emphasizes the importance and specificity of the problem, which is becoming increasingly relevant, the reasons of occurrence of interharmonics, as well as their impact on consumers.

Keywords: interharmonics, regulation, power quality, harmonics.

В 1994 г. европейским стандартом EN 50160 в электротехническую практику введён новый показатель качества электроэнергии – интергармоники (ИГ). Согласно стандарту Международной электротехнической комиссии (МЭК) и документу Рабочей группы IEEE интергармоники представляют собой гармонические колебания с частотами, не кратными частоте питающей сети [1].

В амплитудно-частотном спектре ИГ находятся между каноническими, т.е. высшими гармониками (ВГ), включая основную, а также между постоянной составляющей и основной гармоникой. При анализе формы синусоиды переменного тока гармоники и ИГ определяются

как компоненты спектра в квазистационарном состоянии в некоем диапазоне частот. В таблице 1 представлены их математические определения.

Таблица 1

| Спектральные составляющие волны (частоты f) | |
|--|--|
| Гармоника | $f = nf_1$, где $n \in \mathbb{Z}$, $n > 0$ |
| Компонента постоянного тока | $f = 0$ где $n = 0$ |
| Интергармоника | $f \neq nf_1$, где $n \in \mathbb{Z}$, $n > 0$ |
| Субгармоника | $f > 0$ Гц и $f < f_1$ |
| f_1 – основная частота напряжения | |

Стандарт МЭК 61000-2-2 дает следующее определение ИГ:

Интергармоническая частота – любая частота, не кратная основной частоте. По аналогии с порядком кратности гармоник порядок интергармонической частоты основан на отношении к основной частоте. Если это отношение меньше единицы, то такую гармоническую частоту называют субгармонической. В соответствии с рекомендацией МЭК порядок интергармонических частот обозначается буквой «m» [9].

Цель исследования

Целью исследования является обоснование перспективности использования новых идей в теории и практике измерения, моделирования и нормирования показателей несинусоидальности формы кривой напряжения и тока. Изучение знаний, расширяющих представления об интергармонических составляющих в системах электроснабжения. На основании обобщения передового опыта международных организаций, занимающихся нормированием и моделированием несинусоидальных процессов, с частотами не кратными базовой определить новый круг проблем в разделе показателей качества электроэнергии.

Материалы и методы исследования

Применительно к проблематике несинусоидальных режимов систем электроснабжения проведен обзор существующих базовых методов исследования и действующей нормативно-правовой документации, регламентирующей интергармонические составляющие напряжения в системах электроснабжения, содержащей преобразователи частоты с звеном постоянного тока. Методы и материалы исследования базируются на известных, проверяемых данных, согласуются с публикациями российских и зарубежных ученых по теории ИГ. Используются современные методы подбора и обработки исходной информации, проведен обзор опыта представителей Института инженеров по электротехнике и электронике – IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers).

В настоящее время нормирование ИГ находится на стадии разработки и не предусматривается стандартами на качество электроэнергии большинством различных

стран. В ряде стандартов нормирование ИГ носит характер рекомендаций. Например, стандартом МЭК предусматривается ограничение уровней ИГ напряжения значением 0,2 % от номинального [9]. Однако это ограничение принято только с точки зрения фликера и влияния ИГ на низкочастотные линии питания управляющих сигналов. В странах СНГ нормирование ИГ не производится.

Такое положение связано с тем, что теория ИГ является относительно новой и, как следствие, малоизученной по сравнению с теорией ВГ. Однако на сегодняшний день в условиях роста различных мощных нелинейных нагрузок анализ КЭ без учета влияния ИГ на уровни электромагнитной совместимости (ЭМС) в промышленных электрических сетях является неполным [1].

В 2008 г. Международной электротехнической комиссией (МЭК) опубликованы два документа, относящихся к вопросам качества электрической энергии, – Международный стандарт МЭК 61000-4-30:2008 (2-е изд.) [7] и Изменение 1 (2008 г.) Международного стандарта МЭК 61000-4-7: 2002 (2-е изд.) [8].

Публикация данных документов свидетельствует о повышенном внимании за рубежом к проблемам качества электрической энергии, а также о том, что специалисты многих стран, участвующие в работе технического комитета ТК 77 МЭК, выработали согласованные требования к составу показателей КЭ, точности их измерений, методам измерений, характеристикам средств измерений, оценке КЭ по результатам измерений, организации мониторинга КЭ.

В Российской Федерации действовал межгосударственный стандарт в области качества электроэнергии (КЭ) – ГОСТ 13109-97, который являлся единственным нормативным документом, устанавливающим основные положения в этой области.

Введение нового стандарта ГОСТ Р 51317.4.30–2008 требовало внести изменения в состав и характеристики показателей КЭ, измеряемых в настоящее время в соответствии с ГОСТ 13109–97. Существенные различия между ГОСТ 13109–97 и ГОСТ Р 51317.4.30–2008 имеют место в отношении показателей отклонения напряжения в электрической сети от номинального значения, а также показателей искажения синусоидальности напряжения в электрических сетях.

Гармонические подгруппы и суммарный коэффициент гармонических подгрупп введены в ГОСТ Р 51317.4.30–2008 в качестве показателей КЭ вместо коэффициента n -й гармонической составляющей и коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения, примененных в ГОСТ 13109–97. Кроме того, в ГОСТ Р 51317.4.30–2008 установлен ряд показателей КЭ, отсутствующих в ГОСТ 13109–97, в том числе связанных с интергармоническими составляющими напряжения.

ГОСТ Р 51317.4.30–2008 изменяет требования к продолжительности основного интервала времени измерений показателей КЭ, а также требования к объединению результатов измерений по времени, неопределенности измерения текущего времени.

В качестве основного интервала времени при измерениях показателей КЭ, относящихся к напряжению, гармоникам, несимметрии напряжений, в системах электроснабжения частотой 50 Гц должен быть интервал длительностью 10 периодов (т.е. приблизительно 0,2 с (с учетом реального значения частоты)). Пропуски между интервалами измерения не допускаются. Отечественные приборы, предназначенные для измерений показателей КЭ, этим требованиям не соответствуют, так как для приборов по ГОСТ 13109–97 допускается применение интервалов измерения от 5 до 25 периодов с возможностью пропусков между ними. Неопределенность измерений показателей КЭ на основных интервалах времени 10 периодов включается в неопределенность измерения каждого показателя КЭ, указываемую в протоколе измерений [4].

В настоящее время в Российской Федерации действует межгосударственный стандарт ГОСТ Р 54149-2010, который также не даёт каких-либо определенных указаний по нормированию ИГ [6].

Возникновение ИГ в ряде случаев обусловлено модуляцией несинусоидальных процессов, кривые которых содержат только кратные высшие гармоники (ВГ), а также низкочастотными колебаниями, характерными для сетей с резкопеременными нагрузками. К таким потребителям относятся электродуговые сталеплавильные печи, сварочные установки, статические преобразователи частоты, циклоконвертеры, синхронные преобразовательные каскады. Эти процессы носят случайный характер, поэтому интергармоники нестабильны по частоте и амплитуде [2].

Преобразователи частоты (ПЧ), широко применяемые в металлургии, машиностроении, на предприятиях лёгкой промышленности, также являются источниками ИГ. На рис. 1 представлена структурная схема ПЧ со звеном постоянного тока. ПЧ состоит из выпрямителя В, инвертора И (как правило инвертора напряжения) и индуктивно-емкостного фильтра [3].

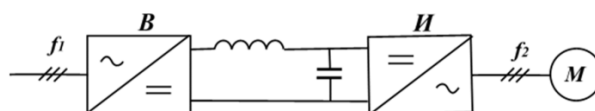


Рис.1. Преобразователь частоты со звеном постоянного тока

Спектральный состав входного (сетевое) тока может быть определён по формуле [10]:

$$f_{uz} = |(p_1 m \pm 1) f_1 \pm n p_2 f_2|, \quad (1)$$

где f_{uz} – частоты интергармоник, Гц;

p_1, p_2 – пульсность выпрямителя и инвертора;

m – целое положительное число, включая ноль (0, 1, 2...);

n – целое положительное число (1, 2, 3...);

f_1, f_2 – частоты выпрямителя и инвертора, Гц.

В качестве примера приведён спектр частот вокруг канонической 5-й гармоники (рис. 2). Как правило, $f_1 \neq f_2$, поэтому вокруг каждой частоты канонической ВГ появляется ряд боковых частот интергармоник.

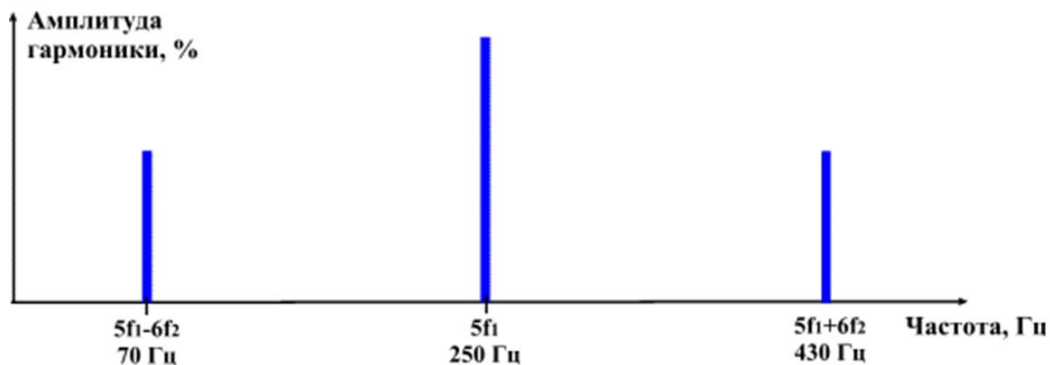


Рис. 2. Спектр частот ИГ вокруг канонической 5-й гармоники

Функция входного тока, содержащего ИГ, может быть представлена в виде [10]:

$$i(t) = \sqrt{2}I_m [\sin(2\pi f_1 t) + m_1 \sin(2\pi f_{u21} t + \varphi_1) + m_2 \sin(2\pi f_{u22} t + \varphi_2)] \quad (2)$$

где I_m – амплитудное значение тока, А;

m_1, m_2 – относительные значения амплитуд пары ИГ;

f_{u21}, f_{u22} – частоты интергармоник, полученные по формуле (1).

Для анализа влияния пары ИГ на характер формы кривой сетевого тока построим функцию тока в среде MathCad. На рисунке 3 представлено влияние частоты 70 Гц при относительном значении амплитуды интергармоники $m_1 = 0,1$. Видно, что данная ИГ вызывает характерные «биения» – колебания амплитудного значения.

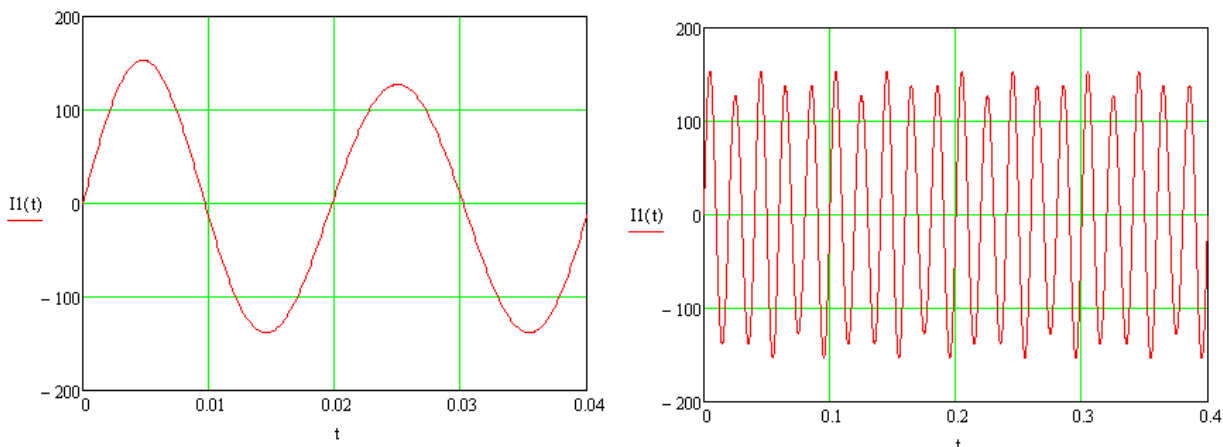


Рис. 3. Вид кривой сетевого тока при сложении частот 70 Гц и 50 Гц

При наложении ИГ частотой 430 Гц, кроме отмеченных выше колебаний амплитудного значения тока, происходит еще и искажение синусоидальности формы кривой (рис. 4).

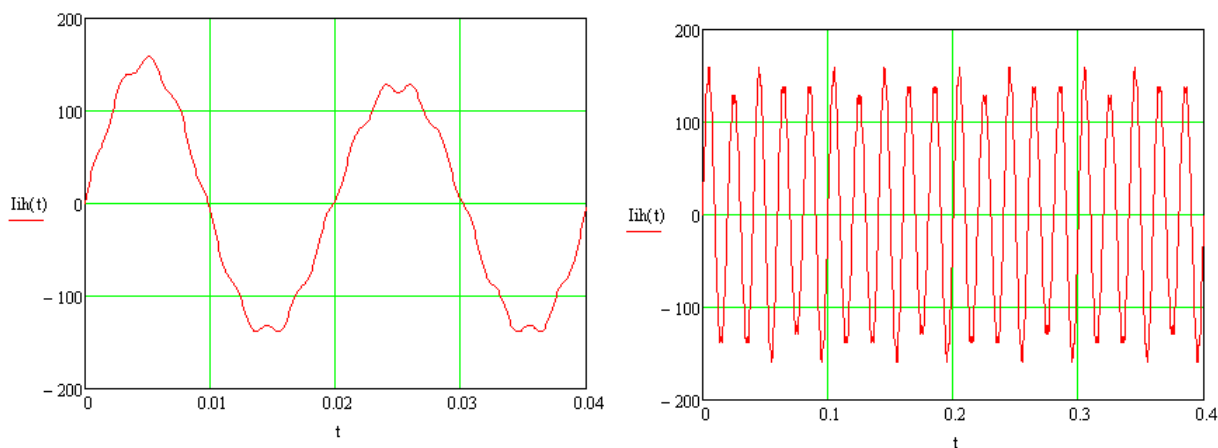


Рис. 4. Вид кривой сетевого тока при сложении частот 70, 50 и 430 Гц

Электродвигатели могут быть источником ИГ из-за щелей между металлом в роторе и статоре. Естественные элементы асимметрии конструкции электропривода (отклонения от детальных чертежных размеров, несоосность и т.п.) также вызывают ИГ.

Дуговые печи производят значительные ИГ в тех случаях, когда в результате резонанса происходит их усиление. Переходные процессы (источник ИГ) практически всегда возникают в начале режима плавления. Сварочные аппараты производят непрерывные по спектру частот составляющие, для каждого режима свои.

Влияние ИГ на системы электроснабжения: возникновение помех в усилителях звуковой частоты; нарушение работы устройств, основанных на измерении моментов перехода напряжения через нуль, например, регуляторов силы источников света; возникновение помех в катушках индуктивности (явление магнитострикции); блокирование или нарушение работы приемников сигналов, передаваемых в электрических сетях, использующих контроль пульсаций.

Выводы

Учитывая негативное влияние интергармоник на элементы систем электроснабжения, постоянное увеличение электроприёмников, являющихся источниками ИГ, в дальнейшем следует уделять внимание задачам исследования явления – появления интергармоник, а также приведения действующей нормативной базы к международным стандартам.

Список литературы

1. Жежеленко И.В. Причины появления интергармоник, генерируемых непосредственными

преобразователями частоты, и подход к их нормированию / И.В. Жежеленко, Ю.Л. Саенко, Т.К. Бараненко // Вісник ПДТУ. – Маріуполь, 2004. – №14.

2. Жежеленко И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий. – 5-е изд., перераб. и доп. / И.В. Жежеленко. – М.: Энергоатомиздат, 2005. – 358 с.

3. Жежеленко И.В. Электромагнитная совместимость в системах электроснабжения промышленных предприятий / И.В. Жежеленко // Электрика, 2008. – № 10. – С. 3-11.

4. Балаков Ю.Н. Значение новых стандартов ГОСТ Р 51317.4.30–2008 (МЭК 61000-4-30:2008) и ГОСТ Р 51317.4.7–2008 (МЭК 61000-4-7:2002) для работ по оценке и мониторингу качества электрической энергии // Энергобезопасность и энергосбережение. – М., 2009. – № 4. – С. 10–14.

5. ГОСТ Р 54149-2010. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.

6. МЭК 61000-4-30:2008. Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 4–30. Методы испытаний и измерений. Методы измерений качества электрической энергии.

7. МЭК 61000-4-7:2002 + Изменение 1 (2008). Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 4–7. Методы испытаний и измерений. Общее руководство по измерениям гармоник и интергармоник и измерительным приборам для систем энергоснабжения и подключаемого к ним оборудования.

8. IEC 61000-2-2: Electromagnetic Compatibility (EMC); Part 2-2: Environment – Compatibility levels for low-frequency conducted disturbances and signaling in public low-voltage power supply systems. – 2000. – 29 с.

9. Hanzelka Z., Bien A. “Power Quality Application Guide. Interharmonics 3.1.1”, Leonardo Power Quality Initiative, July 2004

10. Yong J. Characterizing voltage fluctuations caused by a pair of interharmonics/ Yong J., Tayjasant T., Xu W., Sun C.//IEEE Transactions of power delivery. Vol.23. No. 1. January 2008. P. 319-327.

Рецензенты:

Харламов В.В., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Электрические машины и общая электротехника» ФГБОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения», г. Омск;

Кузнецов А.А., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Теоретическая электротехника» ФГБОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения», г. Омск.