УДК 665.63.004.12

Ю.В.ГУЛЬКОВ
Горно-электромеханический факультет,
аспирант кафедры электротехники и электромеханики

ВЛИЯНИЕ ОТКЛОНЕНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ПАРАМЕТРЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБОРУДОВАНИЯ НЕФТЕПЕРЕРАБОТКИ

Проведены исследования качества электрической энергии электротехнического комплекса нефтеперерабатывающего предприятия ООО «ПО "Киришинефтеоргсинтез"». Выявлены значения коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения в сети в спектре гармоник $6k \pm 1$ (5, 7, 11, 13, 17), показывающие, что их источниками являются 6-пульсные частотные преобразователи регулируемого привода. Определено отрицательное воздействие высших гармоник тока на электроприемники нефтеперерабатывающего предприятия.

Для нормализации электромагнитной обстановки и снижения несинусоидальности напряжения предлагаются: схемные мероприятия, использование фильтровых устройств, применение специального оборудования, характеризующегося пониженным уровнем генерации высших гармоник в сеть.

The researches of electrical energy quality, electro technical complex of the oil refining operation «IJ "KINEF"» are carried out. The values of a deformation ratio of a voltage curve nonsinuosoidality in a web of the spectrum of harmonics $6k \pm 1$ (5, 7, 11, 13, 17), are detected, they show that their sources are 6-pulse frequent converters of a regulated drive.

The negative effect of current higher harmonics of on electro receivers of the oil refining operation is defined. Circuit solution, using of filter devices, application of the special equipment with reduced level of higher harmonics generation are offered for the normalization of electromagnetic condition.

Отличительными особенностями отечественных нефтеперерабатывающих предприятий (НПП) на современном этапе развития являются:

1) большая энергонасыщенность, суммарная мощность электроприемников превышает 100 МВт;

2) совместная работа оборудования различных технологических процессов разного времени проектирования и постройки, различных подходов к проектированию;

3) постоянное внедрение нового и модернизация существующего оборудования, направленная на углубление переработки нефти (приближается к 64 %) в условиях массового применения частотно-регулируемого привода.

В этой связи, а также вследствие того, что энергетическая составляющая в структуре себестоимости переработки нефти составляет 15 % и имеет тенденцию к непрерывному увеличению, на развивающийся электротехнический комплекс предприятия возлагаются задачи по обеспечению электромагнитной совместимости (ЭМС). Уровень ЭМС является важной характеристикой электромагнитной обстановки, при которой с наибольшей вероятностью гарантируется нормальное функционирование и взаимодействие всех технических средств, которые могут быть как источниками помех, так и средствами, восприимчивыми к этим помехам.

Электромагнитная совместимость характеризует взаимодействие не только между электрическими приборами, аппаратами, электрооборудованием и электромагнитной средой, но и этих технических средств между собой [2].

Качество электроэнергии, являясь составляющей электромагнитной совместимо-

сти, определенное показателями качества электроэнергии (ПКЭ), установленными ГОСТ 13109-97 «Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения» [1], характеризует электромагнитную среду, в которой функционируют электроприемники. На ПКЭ заметное влияние оказывают параметры электрических сетей, а электроприемники и аппараты могут присоединяться в их различных точках. Примером тому являются значения напряжения на зажимах электроприемников (ЭП), зависящие от протяженности и схемы электрической сети. В свою очередь, и ЭП влияют на показатели качества электроэнергии, внося искажения напряжения.

Поскольку технологический процесс переработки нефти включает значительное число операций по транспортировке нефтепродуктов и поддержанию заданного температурного режима, электротехнические комплексы НПП характеризуются большим количеством регулируемых приводов. Как показали исследования, проведенные на предприятии ООО «ПО "Киришинефтеоргсинтез"», комплексы НПП являются источниками высших гармоник, так как эти приводы выполнены на основе асинхронных двигателей и частотных преобразователей. Такие электроприемники потребляют ток, форма которого существенно отличается от синусоидальной, что создает в элементах электрической сети падение напряжения, определяемое гармоническим составом кривой тока. Это и является причиной искажения синусоидальной формы напряжения в той или иной точке (узле) сети [5].

Нормально допустимое (в числителе), предельно допустимое (в знаменателе) значения коэффициента искажения $k_и$ синусоидальности кривой напряжения, согласно ГОСТ 13109-97, в точках общего присоединения к электрическим сетям с разным номинальным напряжением $U_{ном}$ следующие:

$U_{ном}$	0,38	6-20	35	110-330
$k_и$	8,0 / 12,0	5,0 / 8,0	4,0 / 6,0	2,0 / 3,0

В ходе проведенных исследований на распределительных подстанциях, к шинам (0,4 кВ) которых подключены преобразователи частоты ACS-600 (ABB), были получены осциллограммы напряжения. Для регистрации спектра гармоник была использована система в составе цифрового осциллографа DSO 2100 и переносного компьютера. При измерении гармоник соответствующие частоты сравнивали с основной частотой и изолировали от остальной части спектра с помощью внутреннего цифрового фильтра. Осциллограф использовался для записи кривых напряжения и в режиме анализатора спектра. Кривые тока и напряжения, а также спектры гармоник тока и напряжения дублировали спектроанализаторами *Fluke* 41*B* и *Fluke* 43*B*.

Представленная на рис.1 осциллограмма напряжения показывает, что форма кривой напряжения на шинах 0,4 кВ отличается от синусоидальной.

В результате анализа гармонического состава напряжения (рис.2) для номинальных режимов работы оборудования были выявлены пики гармоник в спектре $6k \pm 1$ (5, 7, 11, 13, 17), показывающие, что их источником является 6-пульсный частотный преобразователь.

Несинусоидальность напряжения влияет на все виды электроприемников. Вызвано это не только тепловым дополнительным нагревом ЭП от высших гармоник (ВГ) тока, но и тем, что ВГ образуют составляющие прямой последовательности (1, 4, 7 и т.д.), обратной последовательности (2, 5, 8 и т.д.) и нулевой последовательности (гармоники, кратные трем). В частности, токи нулевой последовательности создают дополнительное подмагничивание стали в электрических машинах, что приводит к ухудшению их характеристик и дополнительному нагреву сердечников (статоры асинхронных двигателей, магнитопроводы трансформаторов) [3]. Обычно ВГ напряжения, суммируясь с основной гармоникой, способствуют повышению действующего значения напряжения на зажимах ЭП [4].

Высшие гармоники напряжения и тока неблагоприятно влияют на электрооборудование, системы автоматики, релейной защиты, телемеханики и связи: появляются до-

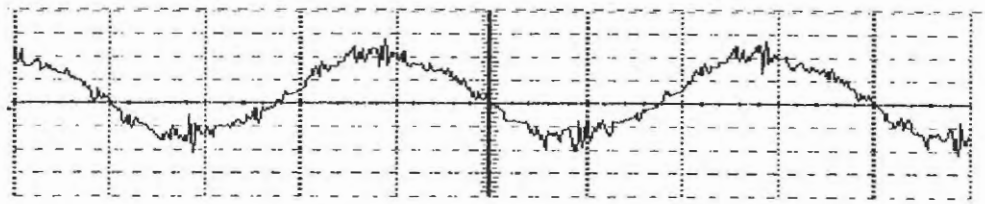


Рис.1. Осциллограмма напряжения на шинах 0,4 кВ

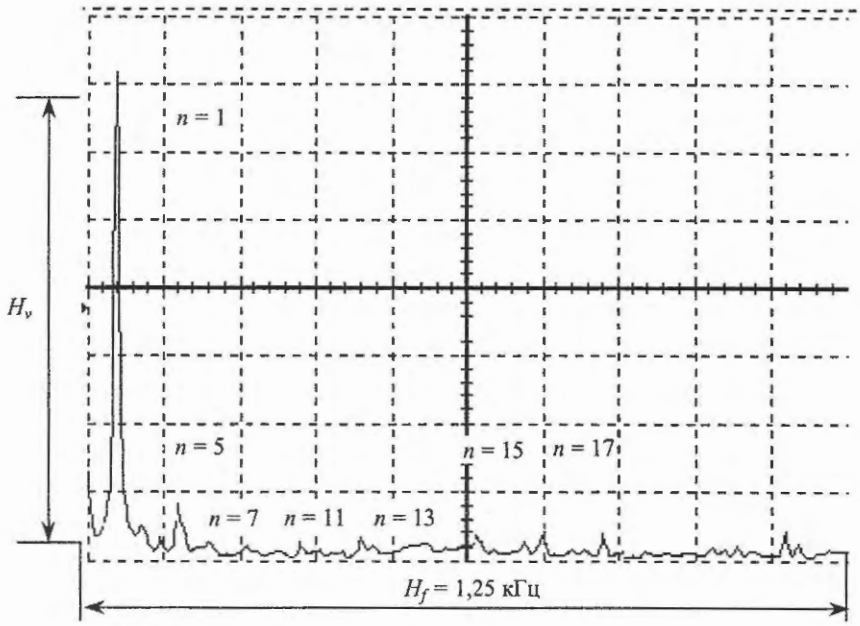


Рис.2. Гармонический состав напряжения

полнительные потери в электрических машинах, трансформаторах и сетях, ухудшается работа батарей конденсаторов (БК), сокращается срок службы изоляции электрических машин и аппаратов, возрастает аварийность в кабельных сетях, появляются сбои в работе систем релейной защиты, автоматики, телемеханики и связи. Высшие гармоники напряжения и тока влияют также на значения коэффициента мощности, вращающего момента электродвигателей. Однако снижение этих характеристик даже при коэффициенте искажения формы кривой напряжения 10-15 % оказывается весьма небольшим. Исследования показали, что уровень дополнительных активных потерь от влияния ВГ в сетях нефтеперерабатывающих предприятий может достигать 15 %.

В условиях нефтеперерабатывающих предприятий батареи конденсаторов способствуют созданию условий, близких к резонансу токов на частоте какой-либо из гармоник, что приводит к опасной перегрузке их по току. В ходе исследований гармоникой, отвечающей таким требованиям, является 11-я.

В конденсаторных батареях, где потери пропорциональны частоте, ВГ являются причиной дополнительного нагрева конденсаторов и приводят к быстрому выходу их из строя. Ограничения по дополнительному нагреву конденсаторных батарей заданы допустимым увеличением действующего на его зажимах напряжения до 10 % от $U_{ном}$ и действующего значения тока до 30 % от $I_{ном}$. Кроме того, увеличение коэффициента несинусоидальности приводит к старению изоляции, качество которой характеризуется tgδ. Работа конденсаторной батареи с коэффициентом несинусоидальности $K_U = 5$ % в течение двух лет приводит к увеличению tgδ в 2 раза. Выражение для определения дополнительных потерь активной мощности в конденсаторных батареях, обусловленных ВГ тока, имеет вид

$$\Delta P_{к.б} = C\omega \operatorname{tg}\delta \sum_{n=2}^{40} U_n n, \qquad (1)$$

где U_n – действующее значение напряжения n-й высшей гармоники.

Исследования влияния несинусоидальности напряжения на работу электроприемников нефтеперерабатывающего предприятия показало справедливость зависимостей, оценивающих дополнительные потери мощности ΔP для различного электрооборудования, обусловленных ВГ тока [3].

Для асинхронных двигателей

$$\Delta P_{а.д} = \Delta P_{м1ном} I_n^2 \sum_{n=3}^{40} \frac{\sqrt{n} + \sqrt{n \pm 1}}{n^2}, \qquad (2)$$

где $\Delta P_{м1ном}$ – потери в меди статора при номинальном токе основной частоты; I_n – кратность пускового тока при номинальном напряжении основной частоты; $\sqrt{n+1}$ – гармоники, создающие поля вращения, встречные полю основной частоты; $\sqrt{n-1}$ – гармоники, создающие поля вращения, попутные полю основной частоты.

Для силовых трансформаторов

$$\Delta P_{тр} = \Delta P_{хх} K_U +$$

$$+ 0{,}607 \frac{\Delta P_{кз}}{U_к} \sum_{n=2}^{40} \frac{1 + 0{,}05n^2}{n\sqrt{n}} K_{U(n)}^2, \qquad (3)$$

где K_U – относительное напряжение n-й гармоники, $K_{U(n)} = U_n / U_{ном}$.

Аналогично восприимчивы к ВГ и кабели, качество диэлектрики которых характеризуется током утечки. При K_U = 6,85 % за 2,5 года ток утечки возрастает на 36 %, а через 3,5 года – на 43 %.

Для нормализации электромагнитной обстановки и снижения несинусоидальности напряжения в условиях нефтеперерабатывающих предприятий могут быть предложены следующие мероприятия:

1) применение схем, выделяющих электроприемники с нелинейной вольт-амперной характеристикой на отдельную систему шин;

2) использование фильтровых устройств;

3) применение специального оборудования, характеризующегося пониженным уровнем генерации высших гармоник в сеть (применение многофазных преобразователей, использование «ненасыщающихся» трансформаторов).

Энергослужбы ООО «ПО "Киришинефтеоргсинтез"» исследуют результаты исследований и разработанные в соответствии с ними мероприятия с целью внедрения.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 13109-97. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. М.: Изд-во стандартов, 1998.

2. *Жежеленко И.В.* Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий. 2-е изд. М.: Энергоатомиздат, 1984.

3. *Карташев И.И.* Качество электроэнергии в системах электроснабжения. Способы его контроля и обеспечения М.: Изд-во МЭИ, 2000.

4. *Абрамович Б.Н.* Электромеханические комплексы с синхронным двигателем и тиристорным возбуждением / Б.Н.Абрамович, В.Я.Чаронов, Ф.Д.Дубинин, Ю.В.Коновалов. СПб: Наука, Изд-во KN, 1995.

5. *Math H.J. Bollen.* Understanding power quality problems / The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. New York, 1999.

Научный руководитель д.т.н. проф. *Б.Н.Абрамович*