



ЭНЕРГЕТИКА, АВТОМАТИЗАЦИЯ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ

Научная статья

<https://doi.org/10.17073/2500-0632-2021-2-121-127>**Исследование, оценка и предложения по решению проблемы качества электроэнергии для системы электроснабжения глиноземного завода в Лам Донге, Вьетнам**

Тхань Лич До

Профессионально-технический колледж, г. Далат, Вьетнам

✉ lichdalat@gmail.com**Аннотация**

Глиноземное производство является сложным, энергоемким технологическим процессом переработки минерального сырья, что определяет необходимость создания рациональных технологических решений, в том числе с точки зрения эффективности использования электрической энергии. В статье приведено описание системы электроснабжения глиноземного завода в провинции Лам Донг, Вьетнам. Проанализированы задачи, которые необходимо решить, чтобы улучшить качество электроэнергии системы электроснабжения. Показано, что наличие нелинейных нагрузок существенно ухудшает качество электрической энергии, что в свою очередь приводит к повреждению оборудования, ошибочным операциям и снижению производительности завода. Разработаны модели системы электроснабжения завода, с помощью которых была проведена оценка качества электроэнергии на общей шине напряжением 6 кВ системы электроснабжения, а также на шинах 6 и 0,4 кВ распределительных подстанций отдельных подразделений завода. Анализ результатов моделирования показывает, что наличие нелинейных нагрузок приводит к значительным искажениям синусоидальных форм напряжений и токов, снижению коэффициента мощности. На основании результатов моделирования сделан вывод, что гармоники напряжения и гармоники тока при нелинейной нагрузке на шинах напряжением 0,4 и 6 кВ превышают допустимый международным стандартом IEEE ST519-1992 предел гармоник. Разработаны предложения по решению проблемы повышения качества электроэнергии в системе электроснабжения завода. Для компенсации высших гармоник тока и напряжения рекомендовано применение в электрической системе глиноземного завода специальных регуляторов качества электроэнергии. Предложено в качестве регуляторов качества электроэнергии использовать активные фильтры гармоник. Предложенные решения позволяют получить практически синусоидальные формы напряжений и токов в системе электроснабжения глиноземного завода.

Ключевые слова

глиноземное производство, система электроснабжения, качество электроэнергии, нелинейные нагрузки, моделирование, высшие гармоники, компенсация, фильтр

Для цитирования

До Тхань Лич. Исследование, оценка и предложения по решению проблемы качества электроэнергии для системы электроснабжения глиноземного завода в Лам Донге, Вьетнам. *Горные науки и технологии*. 2021;6(2):121–127. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2021-2-121-127>

POWER ENGINEERING, AUTOMATION, AND ENERGY PERFORMANCE

Research article

Research, assessment and proposals on resolving power quality problem for the power supply system of Lam Dong alumina refinery, Vietnam

Thanh Lich Do

Dalat Vocational College, Da Lat, Vietnam

✉ lichdalat@gmail.com**Abstract**

Alumina production is rather complex technological process of processing mineral raw materials that requires development of effective technological solutions, including in terms of efficiency of using electric energy. The paper is devoted to studying the power supply system of an alumina refinery in Lam Dong Province, Vietnam. The tasks that need to be solved for improving the power quality in the power supply system were analyzed.

It was shown that non-linear loads significantly degrade the power quality that in turn leads to equipment damage, malfunction and decreasing the refinery productivity. Models of the refinery power supply system were developed and, using which, the quality of power was assessed at the 6 kV voltage utility bus of the power supply system, as well as at the 6 kV and 0.4 kV buses of distribution substations of individual refinery's subdivisions. Analysis of the simulation findings showed that the nonlinear loads lead to significant distortions of sinusoidal forms of voltages and currents, and decreasing the power factor. Based on the simulation results, it was concluded that voltage harmonics and current harmonics at nonlinear load at the low voltage buses of 0.4 kV and at the buses of 6 kV exceed the permissible limits of the harmonics in accordance with IEEE519-1992 international standard. Proposals were developed for improving the power quality in the refinery power supply system. For suppressing higher harmonics of current and voltage, it was recommended to use special power quality regulators in the alumina refinery power supply system. It was proposed to use active harmonic filters as the power quality regulators. The proposed solutions allowed obtaining practically sinusoidal forms of voltages and currents in the alumina refinery power supply system.

Keywords

alumina production, power supply system, power quality, non-linear loads, simulation, higher harmonics, compensation, filter

For citation

Do Thanh Lich. Research, assessment and proposals on resolving power quality problem for the power supply system of Lam Dong alumina refinery, Vietnam. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2021;6(2):121–127. (In Russ.) <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2021-2-121-127>

Введение

Глиноземное производство является важной составляющей алюминиевой промышленности, что определяет необходимость создания рациональных технологических решений, в том числе с точки зрения эффективности использования электрической энергии.

Глиноземный завод в Лам Донге – это крупный и важный проект вьетнамского государства, система электроснабжения которого не должна допускать перебоев в подаче электроэнергии. Для поддержания стабильности электроснабжения необходимо улучшение качества электроэнергии. Поэтому целью моделирования электрической системы глиноземного завода в Лам Донге, Вьетнам, являются изучение и анализ характеристик системы электроснабжения с учетом нелинейных нагрузок. Наличие нелинейных нагрузок существенно ухудшает качество электрической

энергии, что приводит к повреждению оборудования, ошибочным переключениям и, как следствие, снижению производительности завода.

Глиноземный завод в Лам Донге производит 650 тыс. т глинозема в год. Электроэнергия на глиноземный завод поступает от двух линий электропередачи напряжением 110 кВ. На самом заводе построены две трансформаторные подстанции в 20 МВА для понижения напряжения со 110 до 6 кВ. Кроме того, на заводе строится резервная электростанция, состоящая из двух комплектов генераторов мощностью по 15 МВА. Выходное напряжение генераторов составляет 6 кВ. На рис. 1 представлена структура электроэнергетической системы глиноземного завода в Лам Донге. От двух трансформаторов 110/6 кВ напряжение 6 кВ подается на распределительные станции ПД-1...ПД-6. Рассмотрим назначение отдельных станций распределения электроэнергии

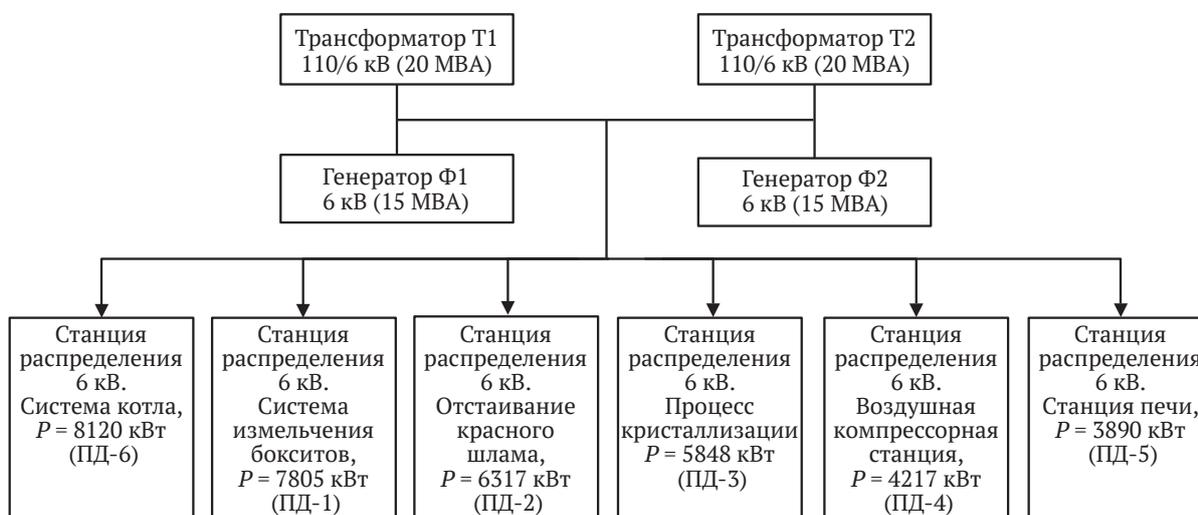


Рис. 1. Структура электроэнергетической системы глиноземного завода в Лам Донге

Fig. 1. Lam Dong alumina refinery electric power system configuration



ПД-1...ПД-6, что имеет большое значение к их соотношению к определенным технологическим процессам, которые реализуются на предприятии.

Станция распределения электроэнергии ПД-1 (6 кВ, 7805 кВт) питает электроэнергией систему измельчения бокситов. Для измельчения бокситов используется замкнутый процесс измельчения руды, состоящий из группы циклонов и набора шаровых мельниц из трех герметичных секций. Для транспортировки боксита используется конвейер.

Станция распределения электроэнергии ПД-2 (6 кВ, 6317 кВт) питает электроэнергией технологический процесс отстаивания красного шлама.

Станция распределения электроэнергии ПД-3 (6 кВ, 5848 кВт) питает электроэнергией двухстадийный технологический процесс кристаллизации, в котором используется 18 комплектов резервуаров для кристаллизации, из которых три комплекта – для кристаллизации на первом этапе, 15 – для кристаллизации на втором этапе.

Станция распределения электроэнергии ПД-4 (6 кВ) питает воздушную компрессорную станцию 4217 кВт.

От станции ПД-4 получают электроэнергию пять подстанций низкого напряжения 6/0,4 кВ с мощностями: $S_1 = 800$ кВА (станция распределения циркуляции кристаллизованной воды, $P_1 = 644$ кВт), $S_2 = 800$ кВА (станция распределения циркуляции сжатого воздуха, $P_2 = 596$ кВт), $S_3 = 800$ кВА (станция распределения циркуляции глиноземной воды, $P_3 = 674$ кВт), $S_4 = 630$ кВА (станция распределения низкого давления воздуха, $P_4 = 567$ кВт), $S_5 = 1000$ кВА (распределительная станция ремонтной мастерской, $P_5 = 900$ кВт, оборудованная системой электросварочных машин, токарных станков, строгальных станков и кранов).

Станция распределения электроэнергии ПД-5 (6 кВ) питает печь мощностью 3890 кВт, два вентилятора вакуумного насоса (6 кВ) мощностью 2×560 кВт, двигатель вытяжного вентилятора (6 кВ) мощностью 710 кВт, используемого для гидратных печей.

От станции ПД-5 получает электроэнергию распределительная система низкого напряжения 6/0,4 кВ, в состав которой входят три трансформатора с мощностями: $S_1 = 630$ кВА (станция распределения гидрата, $P_1 = 390$ кВт), $S_2 = 1250$ кВА (гидратная распределительная станция, $P_2 = 809$ кВт), $S_3 = 630$ кВА (водораспределительная станция, $P_3 = 571$ кВт).

Станция распределения электроэнергии ПД-6 (6 кВ) питает систему электроснабжения котла ($P = 8120$ кВт).

Опираясь на представленное описание функциональной привязки станций питания к технологическим объектам и процессам можно определить подходы к обеспечению качества электроэнергии во всей системе электроснабжения.

Особенности работы электротехнических комплексов и систем завода

Для регулирования скорости электродвигателей различных машин и механизмов широко используются преобразователи частоты, которые являются

нелинейной нагрузкой для системы электроснабжения. Наличие нелинейных нагрузок на шинах напряжением 0,4 кВ приводит к перегреву кабеля и повреждению изоляции. Также возможны перегрев двигателя, возникновение шума и колебаний крутящего момента на роторе, что приводит к механическому резонансу и вибрации. При наличии конденсаторных установок возможен их перегрев и в большинстве случаев разрушение диэлектрика. Под воздействием разных производственных и природных факторов устройств индикации и освещения могут работать не в стационарных режимах, защитные устройства в системах электроснабжения и управления могут аварийно отключаться, сети передачи данных и измерительное оборудование дают ложные результаты [1, 2]. Причиной таких явлений эксперты считают характер нагрузок в электроприводах машинного оборудования, которое участвует в реализации технологических процессов, а также наличие нелинейных элементов в системе электроснабжения при управлении электроприводами [3, 4]. Таким образом, наличие нелинейных нагрузок приводит к нарушению нормальной работы завода.

Модель системы электроснабжения глиноземного завода

Для моделирования системы электроснабжения используется программно-аппаратный комплекс а Matlab Simulink, имеющая в своем составе специализированную библиотеку, позволяющую создавать модели различных электротехнических комплексов и систем [5].

На рис. 2 показана визуальная модель схемы распределительной системы 110 кВ с двумя главными силовыми трансформаторами 110 / 6 кВ, 20 МВА. Схема системы 110 кВ состоит из двух линий, которые резервируют друг друга и соединены между собой через шину. Распределение электроэнергии на стороне 6 кВ осуществляется на шести распределительных подстанциях: распределительной станции ПД-1 системы измельчения бокситов ($P_{\text{ПД.1}} = 7805$ кВт); распределительной станции ПД-2 красного шлама ($P_{\text{ПД.2}} = 6317$ кВт), станции распределения кристаллизации ПД-3 ($P_{\text{ПД.3}} = 5848$ кВт); распределительной станции для компрессоров ПД-4 ($P_{\text{ПД.4}} = 4217$ кВт), распределительной станции печи ПД-5 ($P_{\text{ПД.5}} = 3890$ кВт), распределительной станции котельной ПД-6 ($P_{\text{ПД.6}} = 8120$ кВт). Система снабжена также резервным питанием от 2 генераторов напряжением 6 кВ, мощностью 15 МВА. На рис. 3 приведена визуальная модель распределительной системы станции ПД-1, входящая в состав модели электрической системы глиноземного завода в Лам Донге (рис. 2). Аналогичные модели разработаны для станций распределения электроэнергии ПД-2...ПД-6.

Представленные модели электротехнических комплексов и систем завода позволяют выявить режимы работы оборудования при разных особенностях реализации технологических процессов, а также определить их влияние на качество электроэнергии.

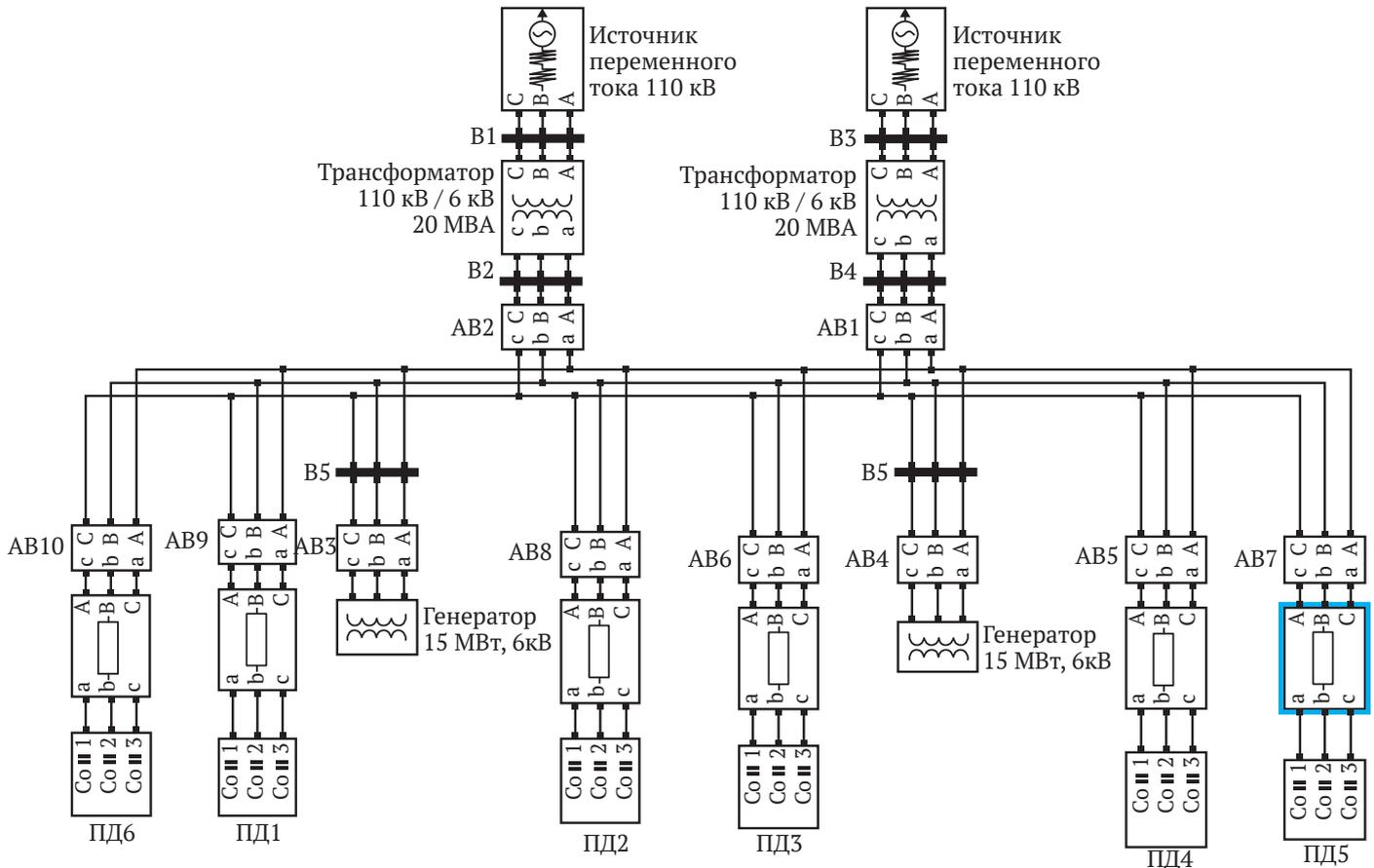


Рис. 2. Модель электрической системы глиноземного завода в Лам Донге

Fig. 2. Lam Dong alumina refinery electric power system model

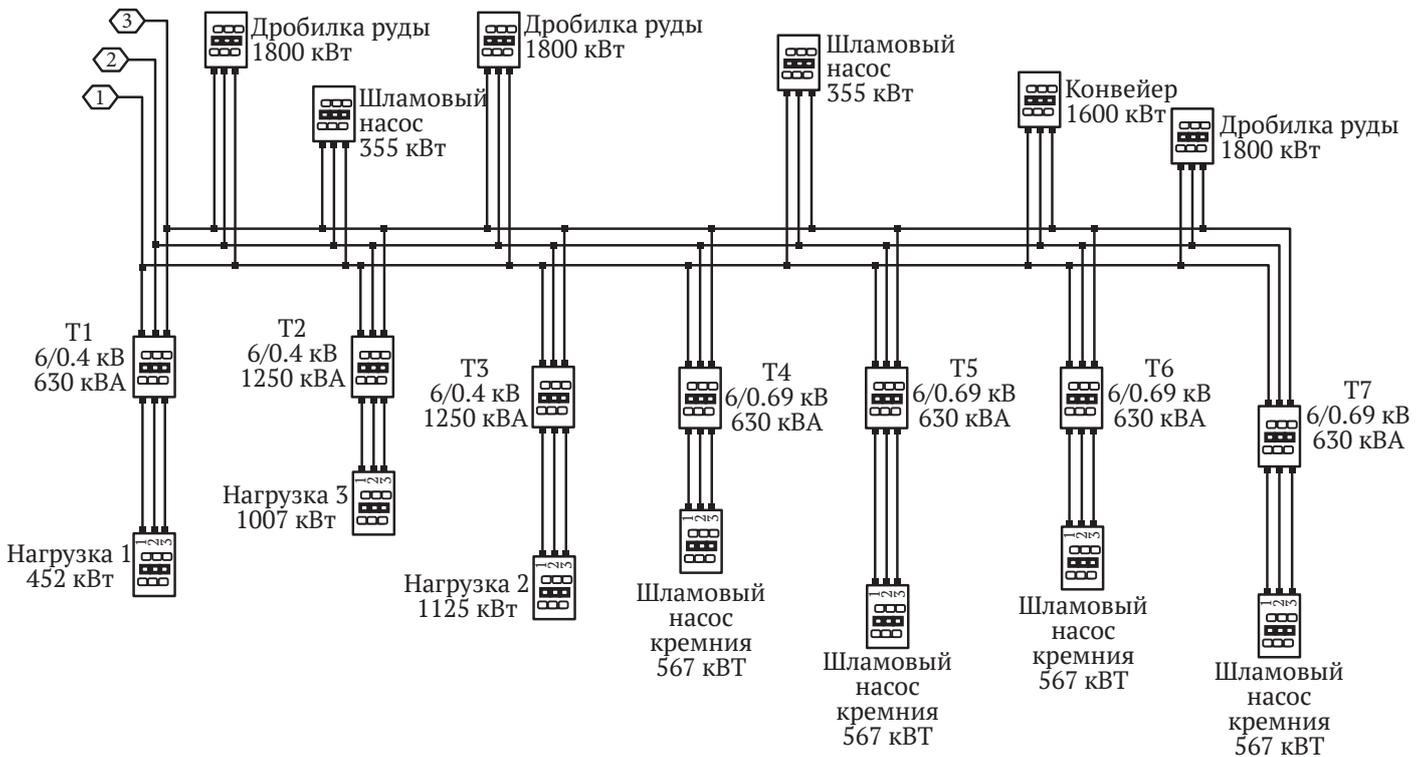


Рис. 3. Модель станции распределения электроэнергии ПД-1

Fig. 3. PD-1 power distribution station model

Результаты моделирования

В табл. 1 и 2 приведены коэффициенты нелинейных искажений (КНИ) по напряжению и току на шинах напряжением 6 кВ системы электроснабжения глиноземного завода и на шинах напряжением 6 и 0,4 кВ станций распределения электроэнергии ПД1...ПД6, полученные в результате моделирования процессов в системе электроснабжения глиноземного завода.

Таблица 1 / Table 1

Коэффициенты нелинейных искажений по напряжению и току на шинах напряжением 6 кВ
Harmonic distortion factors for voltage and current at buses of 6 kV voltage

Точки измерения КНИ	КНИ по напряжению, %	КНИ по току, %
Система электроснабжения глиноземного завода	0,02	1,66
ПД-1	0,02	2,12
ПД-2	0,02	2,07
ПД-3	0,20	0,78
ПД-4	0,02	2,20
ПД-5	0,02	3,35
ПД-6	0,02	3,86

Таблица 2 / Table 2

Коэффициенты нелинейных искажений по напряжению и току на шинах напряжением 0,4 кВ
Harmonic distortion factors for voltage and current at buses of 0.4 kV voltage

Точки измерения КНИ	КНИ по напряжению, %	КНИ по току, %
ПД-1	7,08	25,15
ПД-2	6,27	25,52
ПД-3	6,83	25,35
ПД-4	6,62	25,43
ПД-5	6,32	25,62
ПД-6	7,96	24,60

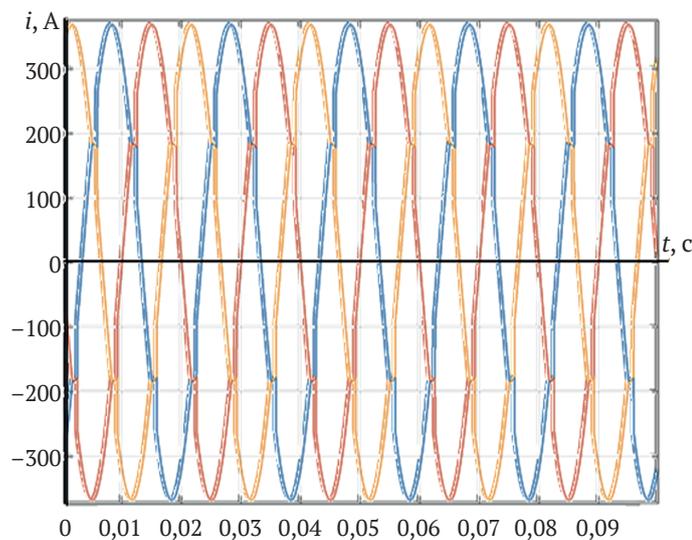


Рис. 4. Формы токов в трех фазах на стороне напряжения 6 кВ

Fig. 4. Three-phase current waveforms on 6 kV voltage side

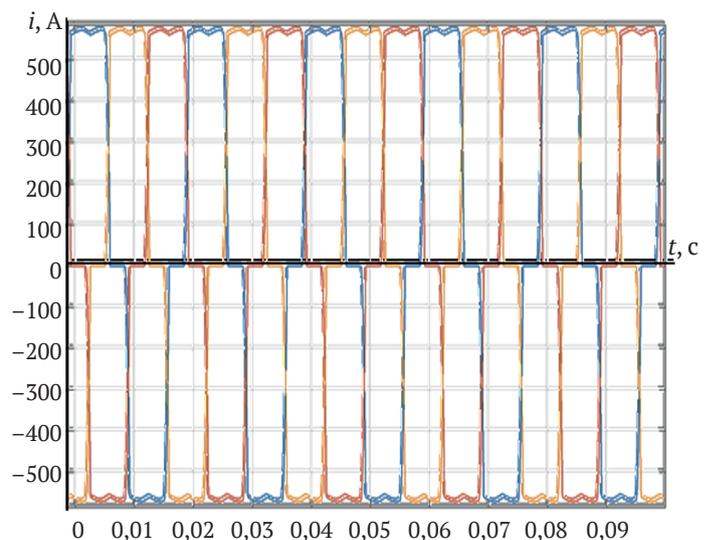


Рис. 5. Формы токов в трех фазах на стороне напряжения 0,4 кВ

Fig. 5. Three-phase current waveforms on 0.4 kV voltage side

Анализ результатов показывает, что наличие нелинейных нагрузок приводит к значительным искажениям синусоидальных форм напряжений и токов на шинах напряжением 0,4 кВ по сравнению с шинами напряжением 6 кВ. Этот вывод подтверждается также сравнением форм графиков токов на стороне 6 кВ (рис. 4) и 0,4 кВ (рис. 5). Видно, что формы токов на стороне напряжения 0,4 кВ существенно отличаются от синусоидальных по сравнению с формой тока на стороне напряжения 6 кВ.

Коэффициенты нелинейных искажений напряжения и тока на шинах низкого напряжения 0,4 кВ превышают допустимый предел по сравнению с международным стандартом IEEE ST519-1992 ($KNI_{U\%} \leq 5$, $KNI_{I\%} \leq 20$). Поэтому для компенсации высших гармоник тока и напряжения необходимо применение в электрической системе глиноземного завода специальных регуляторов качества электроэнергии [6–9].

Перспективным средством повышения качества электроэнергии является применение активных фильтров гармоник (АФГ). Работа АФГ основана на анализе гармоник тока нелинейной нагрузки и генерации в сеть гармоник тока с противоположной фазой. Как результат, высшие гармонические составляющие тока компенсируются в точке подключения АФГ и не распространяются от нелинейной нагрузки в сеть [10, 11].

Наличие нелинейной нагрузки приводит также к значительному снижению коэффициента мощности, что подтверждается результатами моделирования. Например, на подстанции 110/6 кВ коэффициент мощности находится в диапазоне от 0,62 до 0,46. Низкий коэффициент мощности подразумевает необходимость компенсации реактивной мощности на шинах 6 кВ и шинах низкого напряжения на распределительных станциях [12–14].



Заключение

Разработанные модели для имитационного моделирования системы электроснабжения глиноземного завода Лам Донг при помощи пакета Matlab Simulink позволили провести исследования режимов работы системы и отдельных ее компонентов. Проанализированы результаты моделирования с целью выработки решений по улучшению качества электрической энергии.

По результатам исследований можно сделать следующие выводы:

1. На шинах низкого напряжения – 0,4 кВ – под воздействием нелинейной нагрузки форма напряжения и тока существенно деформируется, что влияет на качество электроэнергии.

2. Коэффициенты нелинейных искажений напряжения и тока на шинах низкого напряжения – 0,4 кВ, и на шинах 6 кВ превышают допустимый международным стандартом IEEE ST519-1992 предел гармоник.

3. Для компенсации высших гармоник тока и напряжения необходимо применение в электрической системе глиноземного завода специальных регуляторов качества электроэнергии, например, активных фильтров гармоник.

4. На подстанции 110/6 кВ коэффициент мощности находится в диапазоне от 0,62 до 0,46. Низкий коэффициент мощности подразумевает необходимость компенсации реактивной мощности на шинах 6 кВ и шинах низкого напряжения на распределительных станциях.

Список литературы

1. Жежеленко И. В., Шидловский А. К., Пивняк Г. Г. и др. *Электромагнитная совместимость потребителей*. М.: Машиностроение; 2012. 351 с. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/48402076.pdf> (Дата обращения: 03.01.2021).
2. Железко Ю. С. *Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии*. М.: Изд-во ЭНАС; 2009. 456 с.
3. Карташев И. И., Тульский В. И., Шамонов Р. Г. и др. *Управление качеством электроэнергии*. М.: Изд. дом МЭИ; 2006. 320 с.
4. Карандаев А. С., Корнилов Г. П., Храмшин Т. Р. и др. Анализ показателей качества электроэнергии в системе промышленного электроснабжения с мощными тиристорными электроприводами. *Вестник МГТУ*. 2006;(3):6–11. URL: <http://vestnik.magtu.ru/content/%D0%92%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA%20%D0%9C%D0%93%D0%A2%D0%A3%20%D0%B7%D0%B0%202006%20%D0%B3%D0%BE%D0%B4,%20%D0%9D%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D1%80%203.pdf>
5. Герман-Галкин С. Г. *Виртуальные лаборатории полупроводниковых систем в среде Matlab-Simulink*. СПб.: Лань; 2013. 448 с.
6. Abramov V. I., Parfenov V. M., Shevyrev Yu. V. Choice methods of the parameters of filter compensating stepped type devices for thyristor electric drives. *Электротехника*. 2001;(1):38–42.
7. Добрусин Л. А. *Фильтрокомпенсирующие устройства для преобразовательной техники*. М.: НТФ Энергопрогресс; 2003. 84 с.
8. Шевырева Н. Ю. Влияние на качество электроэнергии ступенчатого фильтро-компенсирующего устройства при работе буровых установок с частотно-регулируемым электроприводом. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2015;(1):408415. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23005905>
9. Шевырев Ю. В. Повышение качества электрической энергии в сетях с полупроводниковыми преобразователями. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2011;(4):234–241. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17265227>
10. Kanaan H. Y., Hayek A., Al-Haddad K., Rahmani S. Carrier-based linear decoupling control of a three-phase four-leg shunt active power filter. In: *IECON 2007 – 33rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*. 2007. P. 1839–1844. <https://doi.org/10.1109/IECON.2007.4459970>
11. Сычев Ю. А. Анализ эффективности применения гибридных систем коррекции показателей качества электроэнергии в системах электроснабжения предприятий минерально-сырьевого комплекса. В сб.: *Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2017*. 2017. С. 223–226.
12. Егоров А. Н., Семенов А. С., Харитонов Я. С., Федоров О. В. Анализ эффективности применения частотно-регулируемого электропривода в условиях алмазодобывающих предприятий. *Горный журнал*. 2019;(2):77–82. <https://doi.org/10.17580/gzh.2019.02.16>
13. Ojo A., Awodele K., Sebitosi A. Load compensation in a three-phase four wire distribution system considering unbalance, neutral current elimination and power factor improvement. In: *2019 Southern African Universities Power Engineering Conference/Robotics and Mechatronics/Pattern Recognition Association of South Africa (SAUPEC/RobMech/PRASA)*. 2019. P. 389–394. <https://doi.org/10.1109/RoboMech.2019.8704821>
14. Сарваров А. С., Шевырев Ю. В., Федоров О. В. Оценка эффективности затрат на повышение энергетических показателей в сетях с полупроводниковыми преобразователями. *Вестник Южно-Уральского Государственного Университета. Серия «Энергетика»*. 2015;15(3):11–19. <https://doi.org/10.14529/power150302>



References

1. Zhezhelenko I. V., Shidlovskiy A. K., Pivnyak G. G. et al. *Electromagnetic compatibility of consumers*. Moscow: Mashinostroenie Publ.; 2012. 351 p. (In Russ.). URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/48402076.pdf> (Accessed: 03.01.2021).
2. Zhelezko Yu. S. *Electric power losses. Reactive power. Power quality*. Moscow: ENAS Publ. House; 2009. 456 p. (In Russ.).
3. Kartashev I. I., Tul'skiy V. I., Shamonov R. G. et al. *Electric energy quality management*. Moscow: MEI Publ.; 2006. 320 p. (In Russ.).
4. Karandaev A. S., Kornilov G. P., Khramshin T. R. et al. Analysis of power quality indicators in an industrial power supply system with high-power thyristor drives. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*. 2006;(3):6–11. (In Russ.). URL: <http://vestnik.magtu.ru/content/%D0%92%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA%20%D0%9C%D0%93%D0%A2%D0%A3%20%D0%B7%D0%B0%202006%20%D0%B3%D0%BE%D0%B4,%20%D0%9D%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D1%80%203.pdf>
5. German-Galkin S. G. *Virtual laboratories for semiconductor systems in the Matlab-Simulink environment*. St. Petersburg: Lan' Publ.; 2013. 488 p. (In Russ.).
6. Abramov B. I., Parfenov B. M., Shevyrev Yu. V. Choice methods of the parameters of filter compensating stepped type devices for thyristor electric drives. *Russian Electrical Engineering*. 2001;(1):38–42.
7. Dobrusin L. A. *Compensation filter devices for converter equipment*. Moscow: NTF Energoprogress Publ.; 2003. 84 p. (In Russ.).
8. Shevyreva N. Yu. The influence of multistage filter compensation device on energy quality during the operation of drill rigs with variable-frequency electric drive. *Mining informational and analytical bulletin*. 2015;(1):408–415. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23005905>
9. Shevyrev Yu. V. Improving electric power quality in networks with semiconductor converters. *Mining informational and analytical bulletin*. 2011;(4):234–241. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17265227>
10. Kanaan H. Y., Hayek A., Al-Haddad K., Rahmani S. Carrier-based linear decoupling control of a three-phase four-leg shunt active power filter. In: *IECON 2007 – 33rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*. 2007, pp. 1839–1844. <https://doi.org/10.1109/IECON.2007.4459970>
11. Sychev Yu. A. Analysis of hybrid system effectiveness for correcting power quality indicators in power supply systems of mining and processing industry enterprises. In: *Innovations and prospects for the development of mining machinery and electrical machinery manufacturing: IPDME-2017*. 2017, pp. 223–226. (In Russ.).
12. Egorov A. N., Semenov A. S., Kharitonov Ya. S., Fedorov O. V. Efficiency of variable frequency drive in diamond mining. *Gornyi Zhurnal*. 2019;(2):77–82. (In Russ.). <https://doi.org/10.17580/gzh.2019.02.16>
13. Ojo A., Awodele K., Sebitosi A. Load compensation in a three-phase four wire distribution system considering unbalance, neutral current elimination and power factor improvement. In: *2019 Southern African Universities Power Engineering Conference/Robotics and Mechatronics/Pattern Recognition Association of South Africa (SAUPEC/RobMech/PRASA)*. 2019, pp. 389–394. <https://doi.org/10.1109/RoboMech.2019.8704821>
14. Sarvarov A. S., Shevyrev Yu. V., Fedorov O. V. Assessment of cost-effectiveness of improving energy performance in networks with semiconductor converters. *Bulletin of the South Ural State University. Series "Power Engineering"*. 2015;15(3):11–19. (In Russ.). <https://doi.org/10.14529/power150302>

Информация об авторе

Тхань Лич До – преподаватель кафедры электрических систем, Профессионально-технический колледж, г. Далат, Вьетнам; e-mail: lichdalat@gmail.com

Information about the author

Thanh Lich Do – Lecturer at the Department of Electrical Systems, Dalat Vocational College, Da Lat, Vietnam; e-mail: lichdalat@gmail.com

Поступила в редакцию 14.03.2020

Поступила после рецензирования 29.04.2021

Принята к публикации 15.06.2021

Received 14.03.2020

Revised 29.04.2021

Accepted 15.06.2021