

Ч.К. Буй, С.С. Кубрин, П.А. Каунг

# ВЛИЯНИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ ШАХТЫ

Качество электроэнергии, значение показателей электрической сети зависит от доли реактивной энергии. Использование частотных преобразователей в системах электропривода для горного управления технологическим оборудованием экономически целесообразно. Однако, управление с помощью преобразователей частоты оказывает влияние на параметры электрической сети. Проведен анализ достоинств применения преобразователя частоты для управления электродвигателями, исследовано возникновение высших гармоник, которые влияют на качества электроэнергии низковольтной сети горных предприятий.

Ключевые слова: преобразователь частоты, гармоническая волна, горное предприятие, взрывобезопасность, искробезопасность, активный фильтр, моделирование.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-2-0-20-26

В настоящее время требование эффективного использования энергоресурсов становится все более актуальной в промышленности и при большом расходе энергии особенно для угольных шахт. Таким образом, эффективное использование энергии принесет значительную экономическую выгоду, будет способствовать снижению себестоимости производства угля.

Для развивающихся стран (в том числе Вьетнама), на открытых работах и шахтах, большинство единиц технологического оборудования разработано в 80-е годы прошлого века, которые не обеспечивают удаленного управления горным производством. Высокоэффективный способ использования электроэнергии предприятием основывается на применении современных технологических систем управления.

Частотный преобразователь (или частотно-регулируемый электропривод, пре-

образователь частоты ПЧ) представляет собой статическое преобразовательное устройство, предназначенное для управления и изменения скорости вращения асинхронных электродвигателей переменного тока на основании принципа изменения частоты электропитания (или изменение скорости системы привода).

С развитием науки и технологий, несколько компаний в мире выпускают взрывобезопасные преобразователи частоты, которые используются на горных предприятиях. Управление двигателем может быть основано на использовании интерфейса преобразователя частоты, а также с помощью иных устройств для мониторинга и управления на расстоянии. Кроме этого, для подключения взрывобезопасного преобразователя частоты к периферийным устройствам (ПАС, Датчик), обеспечена поддержка интерфейсов в соответствии с стандартами Modbus, Profibus-DP и Ethernet.

У использования преобразователей частоты есть достоинства: экономия энергоресурсов, увеличение сроков службы технологического оборудования, снижение затрат на плановые, предупредительные и ремонтные работы, обеспечение оперативного управления и достоверного контроля за ходом технологических процессов и др.

Регулирование скорости вращения асинхронного электродвигателя производится путем изменения частоты и величины напряжения питания двигателя. КПД такого преобразования составляет от 96 до 98%, из сети потребляется практически только активная составляющая тока нагрузки, микропроцессорная система преобразователей частоты обеспечивает высокое качество управления электродвигателем и контролирует его параметры, предотвращая возможность развития аварийных ситуаций.

С помощью преобразователя частоты, можно управлять системами приводов и обеспечить автоматизацию их работы, включая пуск, торможение, реверс и изменение скорости вращения электродвигателя и т.д. Преимущества преобразователей частоты автоматический пуск, который обеспечивает плавное включение пусковых сопротивлений электродвигателя, возможность изменения тока в допустимых пределах, что значительно уменьшит развитие неблагоприятных процессов, возникающих при пуске, что повысит производительность системы привода. То же самое относится к реверсу и торможению.

При использовании преобразователей частоты устраняется один из существенных недостатков электродвигателей с короткозамкнутым ротором — независимость скорости вращения ротора электродвигателя от нагрузки. Преобразователь частоты, позволяет управлять скоростью электродвигателей в соответствии с характерами нагрузки. Это в

свою очередь позволяет избегать сложных переходных процессов в электрических сетях, обеспечивая работу оборудования в наиболее экономичном режиме.

### **Ограничения использования преобразователей частоты**

На сегодняшний день, на промышленных предприятиях используются преобразователи следующих производителей ABB, FUJI, TOSHIBA, MISUBISHI, OMRON (Японии), SIMENS, LENZE (Германии), LS (Южной Кореи), DANFOSS (Дании) и т.д. К их достоинствам можно отнести маленький размер, простоту установки, подключения и регулирования параметрами в соответствии с изменением режима электродвигателя и низкое энергопотребление. Кроме этого, у них имеется интерфейс связи с программируемым логическим контроллером управления, и возможен мониторинг сложных современных электроприводов.

Для горных предприятий, из особенности нагрузки, характерны большие мощности электродвигателей. Взрыво- и искробезопасный преобразователь частоты может управлять запуском двигателя при большом моменте, гибкий пуск, а синхронного двигателя, регулировку скорости адаптации к любым нагрузкам. На сложном электроприводе (электропривод электродвигателей), преобразователь частоты может управлять по режиму ведущий-ведомый (master-slave), позволяющий балансировку нагрузки между двигателями системы.

Горные предприятия республики Вьетнам, например, МонгЗьонг, КокШау, Тхонг Нхат, НуйБео, ХаЛам, УонгБи, КуангХанг, МаоХе, ХаЛонг, ДеоНай, КуангХанг, Хонг Тхай и обогатительная угольная Фабрика КыаОнг, применяют преобразователи частоты, которые управляют системами электроприводов: насосами, вентиляторами, ленточными конвейерами, подъ-

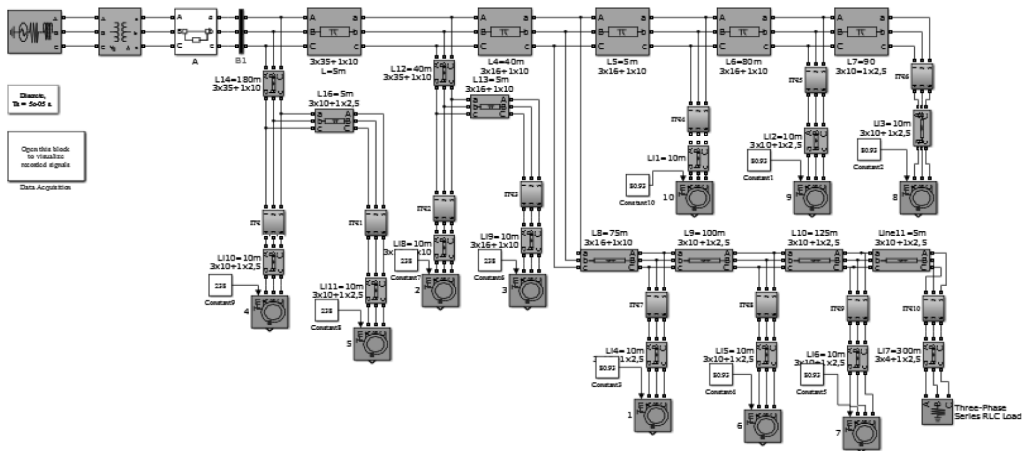


Рис. 1. Моделирование сети шахты с преобразователями частот

емниками, скребковыми конвейерами и т.д. В последнее время несколько компаний сделали взрывобезопасные преобразователи частоты, которые работают в метановой среде и при наличии угольной пыли (пылеметановоздушная смесь), например: ПЧ ВР1 — производитель Китай, ПЧ МСВ — производитель Дания, ПЧ СНУ — производитель Китай (технология Германии) напряжения 660/1140 В. Эти типы ПЧ, которые применяются на некоторые горные предприятия Вьетнама [1].

Преимущества использования преобразователя частоты при управлении электродвигателями на шахте:

- простой запуск и остановка системы электрического привода;

- уменьшение пускового тока;
- уменьшение момента;
- увеличение коэффициента мощности  $\cos\varphi$ ;
- снижение энергопотребления при запуске и работе электродвигателя;
- автоматическая регулировка скорости двигателя в соответствии с требованиями нагрузки;
- удаленный контроль, мониторинг и управление.

### Оценка качества электроэнергии сети шахты при применении преобразователя частоты для управления электродвигателями

Гармоническая волна, влияющая для электрооборудования в сети, снижает

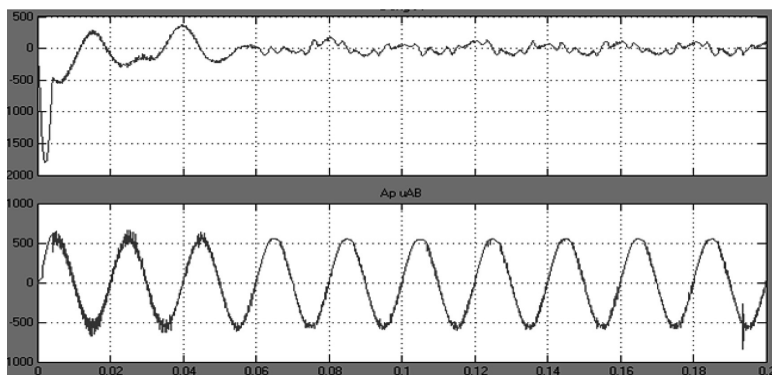


Рис. 2. Форма волны тока и напряжения в фазе А

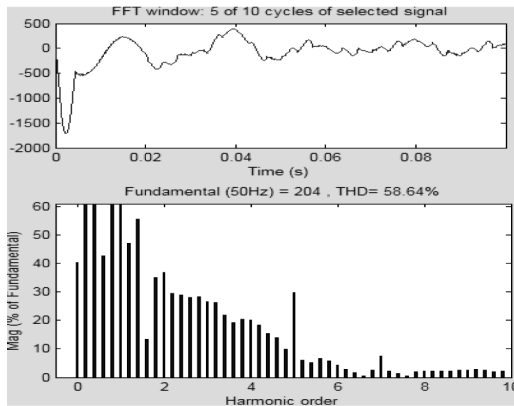


Рис. 3. Результаты анализа спектра гармонических волн тока фазы А

качество электроэнергии и порождает ряд проблем, связанных с электродвигателями (увеличение температуры; снижение производительности; потеря электроэнергии; вибрация и генерирование шума при работе) [2].

Произведено моделирование работы короткозамкнутого двигателя с использованием преобразователя частоты. Результаты моделирования представлены на рис. 1–3 [3, 4, 5]. Моделирование показало, что при использовании преобразователя частоты в сети возникают несинусоидальны колебания тока.

Результат анализа частот гармонических волн тока фазы А свидетельствует, что уровень искажений гармонической составляющей тока (THDi%) примерно 58,64%, гармоническая волна появляет-

ся на большинстве уровней, но в основном на уровне 3, 5, 7. В фазе В уровень искажений гармонической составляющей тока примерно 25,21%, гармоническая волна появляется на большинстве уровней, но в основном на уровне 5, 7. В фазе С уровень искажений гармонической составляющей тока примерно 46,72%, гармоническая волна появляется на большинстве уровней, но в основном на уровне 3, 5, 7.

Результаты анализа гармонических волн напряжения: фаза 1 — общая сумма элементов, уровень искажений гармонической составляющей напряжения (THDu%) примерно 3,03%, фаза 2 — общая сумма элементов, уровень искажений гармонической составляющей напряжения примерно 4,54% и фаза 3 —

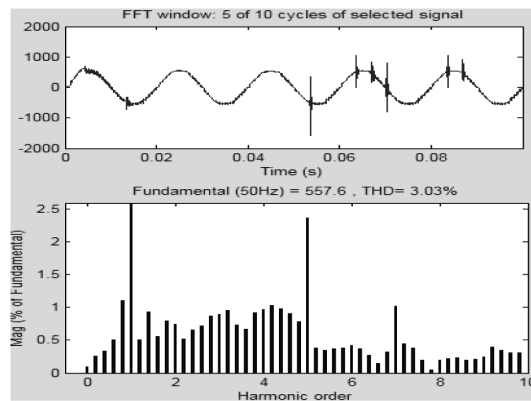


Рис. 4. Результаты анализа спектра гармонических волн напряжения фазы А

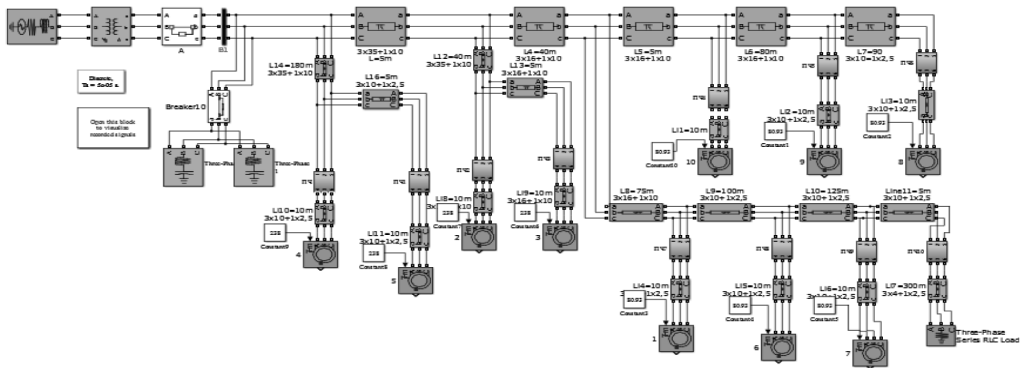


Рис. 5. Моделирование работы короткозамкнутого двигателя с использованием преобразователя частоты и активного фильтра LC

общая сумма элементов, уровень искажений гармонической составляющей напряжения примерно 2,86%.

Моделирование показало, что в сети горного предприятия генерируется ряд гармонических волн (степень 3, 5, 7, 11, 13, 15), если для снижения необходимо использовать регулируемый фильтр об-

ходного соединения. Результаты исследования показали, что большинство гармонические волны степени 5 и 7. Следовательно, необходимо использовать фильтр низких частот – LC [6, 7, 8, 9].

Моделирование работы короткозамкнутого двигателя с преобразователем частоты и активного фильтра LC [10].

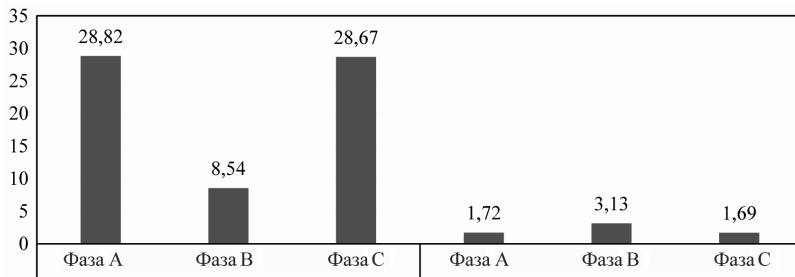
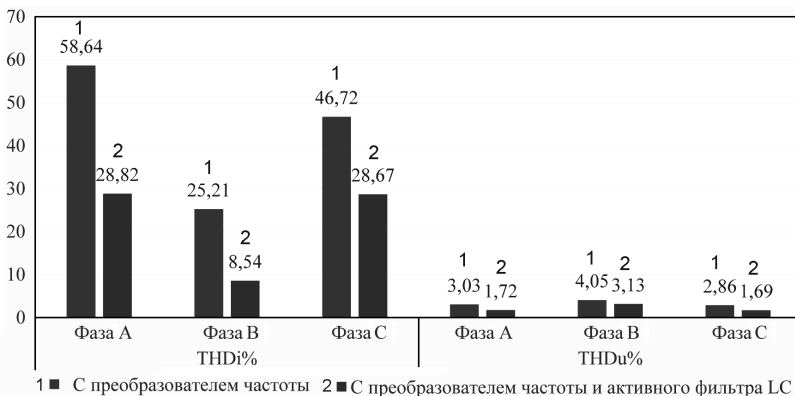


Рис. 6. Искажения гармонической составляющей тока (THDi%) и напряжения (THDu%) по фазам



1 ■ С преобразователем частоты 2 ■ С преобразователем частоты и активного фильтра LC

Рис. 7. Результаты моделирования работы электросети шахты с преобразователями частоты с и без присоединения активных фильтров LC

## Закключение

Применение преобразователя частоты в системе управления проводами технологического оборудования горного предприятия экономически эффективно. Появление высших гармоник в электросети, порождает неблагоприятные явления для оборудования, (перегрев электродвигателей, трансформаторов, кабе-

лей и потерю электроэнергии, вибрацию, шум). Поэтому, применение преобразователей частоты должно сопровождаться использованием активных фильтров LC, соответствующих мощности электродвигателей. Это обеспечит режим работы электросети при котором коэффициент нелинейных искажений тока и напряжения будет меньше 10% [11, 12].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буй Чунг Кьен, Кубрин С. С. Применение преобразователей частоты путь повышение эффективности работы оборудования на шахте / 13 Международная научная школа молодых ученых и специалистов ИПКОН-РАН. — М., 2016.
2. Lucian A, Pedro R, Frede B. Application of discontinuous PWM Modulation in active power filters / IEEE Transactions on Power Electronics, July 2008. — pp. 1692–1706.
3. Malcolm Barnes. Practical Variable Speed Drives And Power Electronics / Newnes, Jun 2003. — 304 p.
4. Плащанский А. Л. Основы электроснабжения горных предприятий. — М.: изд-во МГГУ, 2006. — 499 с.
5. Nguyen Phung Quang. Matlab & Simulink. — Scientific and Technical Publishing House Hanoi, 2004. — 473 p.
6. João Afonso, Carlos Couto, Júlio Martins. Active Filters with coltrol based on the p-q theory // IEEE Industrial Electronics Society Newsletter, 2000, vol. 47, No 3, Sept. — pp. 5–10.
7. João Afonso, Maurício Aredes, Edson Watanabe, Júlio Martins. Shunt active filter for power quality improvement. Lisboa, Portugal, 1–4 Nov 2000. — pp. 683–691.
8. Akagi H., Kanazawa Y. Generalized Theory of the instantaneous reactive power in three-phase / Circuits, IPEC'83, Int. power electronics conf., Tokyo, Japan, 1983. — pp. 1375–1386.
9. Quin C., Mohan. Active filtering of harmonic current in three-phase four-wire system with three-phase and single-phase non-linear loads / APEC, 1992. — pp. 892–836.
10. Nguyen Van Nho. The book power electronics. — Publishing House, Ho Chi Minh City, 2002. — pp. 74–86.
11. Barry W. Kennedy. Power Quality Primer. — McGraw Hill Professional, 2000. — 360 p.
12. Derek A Paice. Multipulse methods for clean power / IEEE Oct. 1995. — 202 p. **ГЛАС**

## КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Буй Чунг Кьен<sup>1</sup> — аспирант, e-mail: buitruongkiendkhqui@gmail.com,  
Кубрин Сергей Сергеевич — доктор технических наук, профессор,  
зав. лабораторией, e-mail: s\_kubrin@mail.ru, ИПКОН РАН,  
Каунг Пьей Аунг<sup>1</sup> — аспирант, e-mail: kaungpyae05@gmail.com,  
<sup>1</sup> ИТАСУ НИТУ «МИСиС».

---

ISSN 0236-1493. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2018. No. 2, pp. 20–26.

**Bui Trung Kien, S.S. Kubrin, Kaung Pyae Aung**

## **EFFECT OF FREQUENCY CONVERTERS ON POWER NETWORK PERFORMANCE IN MINES**

Quality of electric power and performance of power network depends on the fraction of reactive energy. It is economical to include frequency converters in the system of electric

drives to control operation of mining equipment. On the other hand, frequency converters have influence on parameters of electric power network. Advantages of frequency converters in control over electric drives are reviewed, and higher harmonics which affect power quality in low-voltage network in mines are analyzed.

Key words: frequency converter, harmonic wave, mine, explosion safety, spark safety, active filter, modeling.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-2-0-20-26

## AUTHORS

Bui Trung Kien<sup>1</sup>, Graduate Student,  
e-mail: buitrungkiendkhqui@gmail.com,  
Kubrin S.S., Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Head of Laboratory, e-mail: s\_kubrin@mail.ru,  
Institute of Problems of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources  
of Russian Academy of Sciences, 111020, Moscow, Russia,  
Kaung Pyae Aung<sup>1</sup>, Graduate Student, e-mail:kaungpyae05@gmail.com,  
<sup>1</sup> Institute of Information Technologies and Automated Control Systems,  
National University of Science and Technology «MISIS»,  
119049, Moscow, Russia.

## REFERENCES

1. Bui Trung Kien, Kubrin S.S. *Primenenie preobrazovateley chastoty put' povyshenie effektivnosti raboty oborudovaniya na shakhte. 13 Mezhdunarodnaya nauchnaya shkola molodykh uchenykh i spetsialistov IPKON-RAN* (Application of frequency converters way to increase the efficiency of equipment at the mine. 13th International Scientific School of Young Scientists and Specialists-IPKON-RAS), Moscow, 2016.
2. Lucian A, Pedro R, Frede B. Application of discontinuous PWM modulation in active power filters. *IEEE Transactions on Power Electronics*, July 2008. pp. 1692–1706.
3. Malcolm Barnes. *Practical Variable Speed Drives And Power Electronics*. Newnes, June 2003. 304 p.
4. Plashchanskiy A. L. *Osnovy elektrosnabzheniya gornykh predpriyatiy* (Basics of power supply of mining enterprises), Moscow, izd-vo MGGU, 2006, 499 p.
5. Nguyen Phung Quang. *Matlab & Simulink*. Scientific and Technical Publishing House Hanoi, 2004. 473 p.
6. João Afonso, Carlos Couto, Júlio Martins. Active Filters with coltrol based on the p-q theory. *IEEE Industrial Electronics Society Newsletter*, 2000, vol. 47, No 3, Sept. pp. 5–10.
7. João Afonso, Maurício Aredes, Edson Watanabe, Júlio Martins. *Shunt active filter for power quality improvement*. Lisboa, Portugal, 1–4 Nov., 2000, pp. 683–691.
8. Akagi H., Kanazawa Y. Generalized theory of the instantaneous reactive power in three-phase. *Circuits, IPEC'83, Int. power electronics conf.*, Tokyo, Japan, 1983. pp. 1375–1386.
9. Quin C., Mohan. *Active filtering of harmonic current in three-phase four-wire system with three-phase and single-phase non-linear loads*. APEC, 1992. pp. 892–836.
10. Nguyen Van Nho. *The book power electronics*. Publishing House, Ho Chi Minh City, 2002. pp. 74–86.
11. Barry W. Kennedy. *Power Quality Primer*. McGraw Hill Professional, 2000. 360 p.
12. Derek A Paice. *Multipulse methods for clean power*. IEEE Oct. 1995. 202 p.

## FIGURES

- Fig. 1. Modeling mine network with frequency converters.  
Fig. 2. Current and voltage waveforms in phase A.  
Fig. 3. Results of analysis harmonic current wave spectrum in phase A.  
Fig. 4. Results of analysis harmonic voltage wave spectrum in phase A.  
Fig. 5. Modeling operation of squirrel-cage drive with frequency converter and active filter LC.  
Fig. 6. Distortion of harmonic component in current (THDi%) and voltage (THDu%) per phases.  
Fig. 7. Modeling results on performance of a mine power network with frequency converters with-out active filters LC.