



УДК 621.316.718.5

## 6.2. ЧАСТОТНО-УПРАВЛЯЕМЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ГОРНОПРОХОДЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

### VARIABLE FREQUENCY DRIVE FOR MINING EQUIPMENT

**Бородацкий Евгений Георгиевич**, канд. техн. наук, главный конструктор преобразовательной техники для общепромышленного электропривода и технологий ЗАО «Автоматизированные системы и комплексы», Россия, 620137, г. Екатеринбург, ул. Студенческая, 1д. E-mail: borodatskiy@asc-ural.ru. Тел.: +7(343)360-05-01 (доб. 1208)

**Шилин Сергей Иванович**, канд. техн. наук, доцент, начальник научно-инженерного центра ЗАО «Автоматизированные системы и комплексы», Россия, 620137, г. Екатеринбург, ул. Студенческая, 1д. E-mail: shilin@asc-ural.ru. Тел.: +7(343)360-05-01 (доб. 1007)

**Васильев Илья Владимирович**, инженер-проектировщик ЗАО «Автоматизированные системы и комплексы», Россия, 620137, г. Екатеринбург, ул. Студенческая, 1д. E-mail: vasiljev\_i@asc-ural.ru. Тел.: +7(343)360-05-01 (доб. 1212)

**Васильев Павел Анатольевич**, заведующий сектором ЗАО «Автоматизированные системы и комплексы», Россия, 620137, г. Екатеринбург, ул. Студенческая, 1д. E-mail: vasiljev@asc-ural.ru. Тел.: +7(343)360-05-01 (доб. 1209)

**Evgeny G. Borodatskiy**, PhD in Technical Sciences, Chief designer of converter equipment for general industrial electric drive «Automated Systems and Complexes», Studencheskaya str. 1D, Ekaterinburg, Russia, 620137. E-mail: borodatskiy@asc-ural.ru. Ph.: +7(343)360-05-01 ext. 1208

**Sergey I. Shilin**, PhD in Technical Sciences, Chief Officer of Engineering Research Centre «Automated Systems and Complexes», Studencheskaya str. 1D, Ekaterinburg, Russia, 620137. E-mail: shilin@asc-ural.ru. Ph.: +7(343)360-05-01 ext. 1007

**Ilya V. Vasilyev**, Development engineer «Automated Systems and Complexes», Studencheskaya str. 1D, Ekaterinburg, Russia, 620137. E-mail: vasiljev\_i@asc-ural.ru. Ph.: +7(343)360-05-01 ext. 1212

**Pavel A. Vasilyev**, Head of Sector «Automated Systems and Complexes», Studencheskaya str. 1D, Ekaterinburg, Russia, 620137. E-mail: vasiljev@asc-ural.ru. Ph.: +7(343)360-05-01 ext. 1209

**Аннотация:** В докладе приведено описание горнопроходческого комплекса, показана актуальность внедрения частотно-управляемого электропривода, рассмотрены основные виды приводов и примеры их практической реализации

**Abstract:** Description of a mining complex is presented in the report. Applicability of variable frequency drive is shown. Main types of drives are considered and examples of their actual implementation are given

**Ключевые слова:** частотно-управляемый электропривод, рудничное электрооборудование

**Key words:** variable frequency drive, mine electrical equipment

При разработке месторождений полезных ископаемых закрытым способом широкое применение получил комбайновый способ проходки. Он обеспечивает более высокую скорость проходки и производительность труда по сравнению с буровзрывным способом [1]. Разработка пластов породы производится при помощи горнопроходческого комплекса, который включает в себя: проходческий комбайн, бункер-перегрузатель, самоходный грузовой вагон,

бункер-дозатор, конвейер, а также ряд вспомогательного оборудования.

Проходческий комбайн является основным элементом комплекса. Он работает в непрерывном режиме и обеспечивает вскрытие пласта и первичное измельчение породы, которая затем подается в бункер-перегрузатель. Бункер используется, как промежуточный накопитель породы и предназначен для согласования

непрерывного режима работы комбайна и циклического режима работы самоходного грузового вагона, перевозящего добытую породу к месту её перегрузки на конвейер. Для повышения производительности самоходного вагона в месте его разгрузки может устанавливаться бункер-дозатор, служащий промежуточным накопителем. Далее, с помощью конвейерного транспорта, порода подается на поверхность.

Значительная часть механизмов, входящих в горнопроходческий комплекс, приводится в движение при помощи электрического привода переменного тока, который различается по установленной мощности и режимам работы. Так мощности электроприводов основного рабочего органа проходческого комбайна и транспортных конвейеров составляют сотни кВт. Эти привода работают в продолжительном режиме работы. Мощности приводов передвижения комбайна и самоходного грузового вагона, а также привода конвейера бункера-дозатора составляют десятки кВт, и они работают в повторно-кратковременном режиме. Также применяется ряд приводов вспомогательных механизмов: насосы, вентиляторы, оснащенные электродвигателями мощностью десятки кВт, которые функционируют в продолжительном режиме работы.

В большинстве случаев указанные выше механизмы требуют регулирования производительности. Одним из вариантов реализации регулируемого электропривода для горнопроходческих комплексов является применение многоскоростных асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором. Их использование позволяет получить простую систему управления на основе релейно-контакторных схем. Однако, эти системы электропривода, не обеспечивают плавность регулирования, имеют ограниченные функциональные возможности, плохие массогабаритные характеристики и высокую стоимость электродвигателей. Более перспективным для реализации регулируемого электропривода является частотно-управляемый электропривод на основе транзисторных преобразователей частоты и односкоростных асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором.

Ввиду недостаточной освоенности этого вида электропривода в шахтном исполнении и наличия потребностей в нем у горнорудной промышленности задача разработки частотно-управляемого электропривода горнопроходческих

комплексов является на сегодняшний день актуальной.

В результате анализа возможных структур было принято решение остановиться на следующих двух вариантах двухзвенного преобразователя частоты отличающихся типом входного преобразователя: с активным выпрямителем на входе и с диодным выпрямителем на входе. По способу охлаждения также разработано два варианта: с естественным охлаждением и с внешним жидкостным охлаждением. Функциональные схемы преобразователей частоты изображены на рис. 1.

Преобразователь состоит из силовой части 1 и микропроцессорной системы управления 2. По топологии силовой схемы он представляет собой двухзвенный транзисторный преобразователь частоты с промежуточным звеном постоянного тока. Основные функции двухэтапного преобразования энергии (выпрямление и инвертирование) осуществляются входным выпрямителем 7 и выходным автономным инвертором напряжения (АИН) 9, которые выполнены по трехфазной мостовой схеме. В случае рекуперирующего преобразователя в качестве входного выпрямителя применяется схема обращенного АИН (или же активного выпрямителя), что обеспечивает возможность возврата энергии в питающую сеть в тормозных режимах электропривода. Если данная функция не требуется, то на входе применяется диодный выпрямитель. Трехфазный сетевой дроссель 4 является необходимым элементом электромагнитной совместимости выпрямителя с питающей сетью. Выходной инвертор 9 работает в режиме необращенного АИН с синусоидальной ШИМ и формирует на зажимах асинхронного двигателя 10 импульсное широтно-модулированное переменное напряжение с требуемыми значениями частоты и амплитуды его полезной (гладкой) составляющей. Фильтровый конденсатор 8 в звене постоянного тока сглаживает пульсации выпрямленного напряжения и обеспечивает электромагнитную совместимость активного выпрямителя и автономного инвертора напряжения. Для получения информации о процессах в силовой схеме, необходимой для контроля, управления и защиты, предусмотрены датчики напряжения 5 и тока 6, установленные на входе, в звене постоянного тока и на выходе преобразователя частоты. Силовой трёхфазный контактор 3 обеспечивает коммутацию к питающей сети в рабочих и аварийных режимах работы.

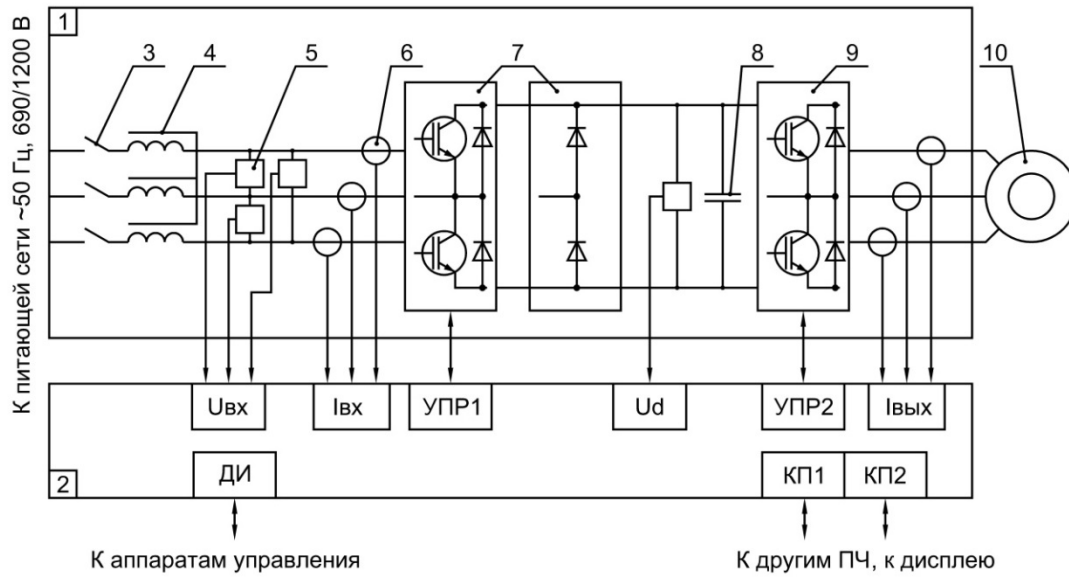


Рисунок 1 - Функциональная схема преобразователя частоты:

1 - силовая часть; 2 - система управления; 3 - входной контактор; 4 - сетевой реактор; 5 - датчики напряжения; 6 - датчики тока; 7 – входной транзисторный или диодный выпрямитель; 8 - фильтр в звене постоянного тока; 9 – автономный инвертор напряжения; 10 - асинхронный электродвигатель

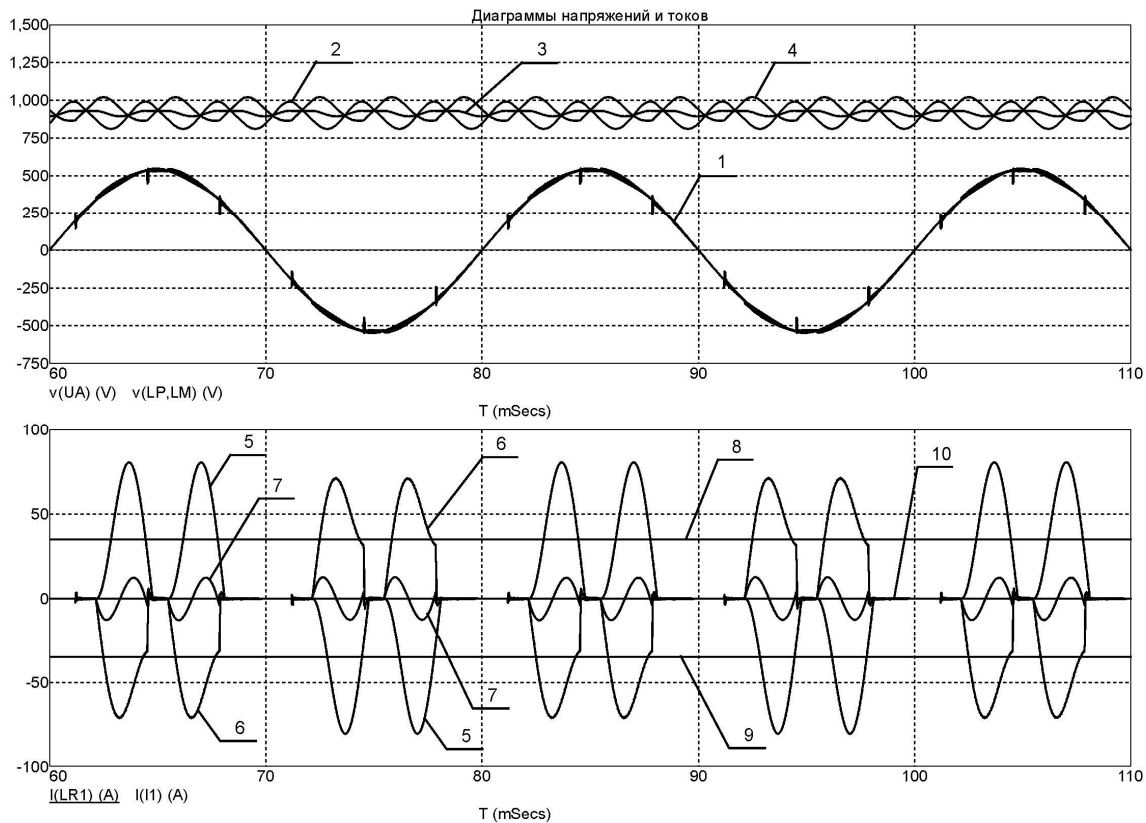


Рисунок 2 - Диаграммы напряжений и токов преобразователя частоты:

1 – фазное напряжение на входе активного выпрямителя ( $v(UA)$ ); 2, 3, 4 – напряжение на выходе активного выпрямителя в режимах двигательном, холостого хода и рекуперативного торможения ( $v(LP,LM)$ ); 5, 6, 7 – фазный ток на входе активного выпрямителя в режимах двигательном, рекуперативного торможения и холостого хода ( $I(LR1)$ ); 8, 9, 10 – ток на выходе активного выпрямителя в режимах двигательном, рекуперативного торможения и холостого хода ( $I(I1)$ )

Все преобразователи оснащены унифицированной микропроцессорной системой управления, которая состоит из двух плат: микроконтроллера на базе специализированного сигнального процессора (DSP) и стабилизированного источника питания. Управляющая программа, размещенная в памяти микроконтроллера, обеспечивает следующие функции:

- индивидуальное управление каждым электроприводом;
- плавное регулирование скорости движения;
- набор предустановленных скоростей;
- плавный разгон и остановка электропривода;
- изменение направления движения;
- рекуперацию энергии торможения в питающую сеть при движении вагона или комбайна под уклон;
- комплекс защит преобразователя и двигателя;
- обмен информацией с внешними устройствами по последовательному коммуникационному интерфейсу.

Программное обеспечение построено так, что вместе с выполнением основной рабочей программы непрерывно выполняется комплекс операций диагностики, контроля состояния элементов преобразователя и связанного с ним оборудования горнопроходческого комплекса, а также реализуется комплекс защит.

Плата микропроцессора оснащена микросхемой энергонезависимой памяти для статистики работы преобразователя, хранения «черного ящика; и др. Для организации противоюзовых и противобуксовочных систем управления электроприводы транспортных средств объединяются в CAN-сеть. Текущее состояние преобразователей частоты отображается на стационарном дисплее внутри взрывозащищенной станции управления. Миниатюрный переносный пульт управления, связанный с дисплеем по радиоканалу, позволяет получать дополнительную информацию (статистику, журнал аварий т.д.), а также производить изменение параметров работы преобразователей частоты.

Особенностью системы управления рекуперированного преобразователя частоты является специальный алгоритм управления входным транзисторным выпрямителем. В соответствии с этим алгоритмом транзисторы открываются с частотой напряжения питания аналогично тому, как открываются диоды неуправляемого выпрямителя. Длительность проводящего состояния транзисторов является величиной постоянной и принимается несколько меньше 120 электрических градусов. Это необходимо для надежной работы активного выпрямителя при возможных колебаниях параметров (амплитуды, частоты или фазы)

напряжения питающей сети. Отказ в активном выпрямителе от высокочастотной ШИМ обеспечивает снижение коммутационных потерь в силовых транзисторах и потерь в стали сетевого дросселя. Что является очень важным качеством в условиях ограниченного объема корпуса взрывозащищенной магнитной станции, в которой размещены преобразователи частоты, особенно при естественном способе охлаждения.

На рис. 2 приведены диаграммы напряжений и токов преобразователя в следующих режимах работы электропривода: холостого хода; двигательного и рекуперативного торможения. Последние два режима показаны для случая работы с номинальным током.

В настоящее время разработана конструкторская документация и освоен выпуск двух преобразователей частоты применяемых в тяговом электроприводе самоходных грузовых вагонов и одного преобразователя частоты для привода конвейера бункера-дозатора [2-5]. Ведутся работы по проектированию электропривода хода для горнопроходческого комбайна.

В докладе будут приведены подробные данные о технических характеристиках и особенностях работы разработанных преобразователей частоты.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Картозия Б.А., Федунец Б.И., Шуплик М.Н. и др. Шахтное и подземное строительство в 2-х томах. Том 1. – М.: Изд-во Академии горных наук, 2001.
2. Бородацкий Е.Г. Повышение энергетической эффективности электропривода передвигания самоходного вагона. Сб. докл. 1-го науч.-практ. семинара с межд. участием «Эффективное и качественное снабжение и использование электроэнергии».- Екатеринбург: ЗАО «Уральские выставки», 2011.
3. Бородацкий Е.Г., Васильев П.А. Преобразователь частоты для самоходного вагона горнопроходческого комплекса/ Материалы XI межд. науч.-практ. конф. «Проблемы карьерного транспорта» – Екатеринбург: УрО РАН, 2011.
4. Бородацкий Е., Васильев П., Кривовяз В. Частотно-управляемый электропривод передвигания самоходного грузового вагона. - Силовая Электроника, 2011, №5.
5. Бородацкий Е.Г., Васильев П.А., Шилин С.И., Васильев И.В. Преобразователь частоты для горнотранспортных систем. - Труды VIII Международной (XIX Всероссийской) конференции по автоматизированному электроприводе АЭП -2014. В 2-х томах. Т.2. - Саранск: изд. Мордовского университета, 2014.