ловиям энергоэффективности, экономичности и надежности нашего технологического оборудования. Также при более детальном моделировании не удалось добиться уменьшения смоделированных пусковых характеристик электродвигателя.

В качестве альтернативы используемого синхронного двигателя для системы электропривода насоса ГрАТ-4000 можно предложить систему ТРН-АД – тиристорный регулятор напряжения – асинхронный двигатель. При использовании данной системы управления получаем значительное улучшение всех пусковых значений. Имеем более плавный пуск за счёт уменьшения пускового момента и более долгий срок службы оборудования за счёт уменьшения пускового тока. Также уменьшение пусковых токов приведет к экономии электроэнергии.

Список литературы

1. Семёнов А.С. Моделирование режима пуска синхронного двигателя электропривода насоса ГрАТ-4000 // Наука в центральной России: Научно-производственный периодический журнал. 2012. – № 2. – С. 23-27.

2. Семёнов А.С. Перспективы внедрения вентильных электроприводов в горной промышленности / Научная дискуссия: вопросы технических наук // Материалы II международной заочной научно-практической конференции. (12 сентября 2012 г.) – Москва: Изд-во «Международный центр науки и образования», 2012. – С. 52-56.

3. Семёнов А.С., Шипулин В.С. Электропривод – многофункциональное, высокопроизводительное, энергоэффективное устройство / Наука XXI века: новый подход // Материалы II международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых 28 сентября 2012 года, Санкт-Петербург. – Петрозаводск: ПетроПресс, 2012. – 144 с. – В надзаг.: Науч.-изд. центр «Открытие». – С. 63-65.

4. Семёнов А.С., Саввинов П.В., Рушкин Е.И. Внедрение частотно-регулируемых электроприводов как метод энергосбережения на горных предприятиях / Достижения и перспективы естественных и технических наук // материалы II Международной научно-практической конференции. – Ставрополь: Логос, 2012. – 159 с. – С. 60-63.

ОБЗОР ВЕНТИЛЬНО-РЕАКТИВНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Саввинов П.В., Семёнов А.С.

Политехнический институт, филиал ФГАОУ ВПО «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова», Мирный, e-mail: savv-alex@yandex.ru

Подавляющая часть мировой энергоструктуры основана на использовании электроэнергии, как наиболее универсальном виде энергии, поэтому сегодня все государства стремятся использовать технологии и оборудование, которые позволяют снизить затраты при производстве, передаче и потреблении электроэнергии, что в свою очередь снижает себестоимость производства товаров, увеличивая их конкурентоспособность с товарами других стран. Известно, что сбереженный 1 кВтч электроэнергии в большинстве случаев гораздо дешевле того же кВт/часа, произведенного на вновь построенном источнике энергии.

Кроме этого, в сознании людей и на бытовом уровне и мнению руководителей фирм и государств в последнее время происходят заметные изменения в сторону стремления улучшить экологическую обстановку на земном шаре, что обусловило существенное ужесточение экологических требований к энергетическим технологиям и оборудованию. Если в ближайшее время штрафы за использование неэффективных технологий и оборудования будут превышать стоимость высокоэффективного оборудования, то это даст мощный экономический толчок в производстве и применении последнего.

В мировой энергоструктуре подавляющая часть произведенной электроэнергии используется электрическими двигателями различного типа. Наиболее распространенные из них — асинхронные двигатели переменного тока. Эти двигатели достаточно просты в изготовлении, дешевы, используют энергию переменного тока без дополнительных преобразовательных устройств, имеют достаточно высокий КПД при номинальных мощностях. Их можно эффективно использовать при постоянной нагрузке близкой к номинальной. Но в мировой структуре потребления электроэнергии использование электродвигателей в этом режиме составляет не более 10%. Остальные режимы требуют от электродвигателей работы с изменяемой нагрузкой, часто в очень широких пределах. И в этих режимах использование асинхронных электродвигателей без специальных преобразователей оказывается самой неэффективной и затратной. Именно поэтому в последние годы очень бурно развивается производство специальных электронных преобразователей, позволяющих эффективно использовать электроэнергию в асинхронных двигателях в более широком диапазоне нагрузок. Из-за сложности взаимоотношений асинхронных двигателей с преобразователями последние получаются очень сложными и редко очень дорогими. Попытки еще расширить диапазон нагрузок с высоким КПД приводит к еще большему усложнению преобразователей, к их удорожанию и снижению надежности.

Вентильно-реактивные двигатели, являясь, по сути, силовой техникой импульсного типа, идеально стыкуются с электронной цифровой идеологией систем управления, поэтому электронные блоки управления этих двигателей получаются гораздо проще, более компактны и при серийности гораздо меньше, чем производства асинхронных электродвигателей, очень дешевы. Производство электромеханических преобразователей оказывается дешевле, чем производства асинхронных двигателей (на роторе нет обмоток, в статорной обмотке используется меди на 40–50% меньше), технология изготовления проще.

Ротор и статор выполнены в виде пакетов листового магнитомягкого материала. На роторе ВРД отсутствуют обмотки и постоянные магниты. Фазные обмотки находятся только на статоре.

Простота обмотки якоря повышает ремонтопригодность ВРД/ВРГ, т.к. для ремонта достаточно сменить вышедшую из строя катушку.

Управление электромеханическим преобразователем электропривода осуществляется с помощью высокоэффективных силовых полупроводниковых элементов – IGBT или MOSFET (HEXFET) транзисторов, надежность которых существенно превышает надежность любых механических деталей, например: коллекторов, щеток, подшипников.

ВРД не содержит постоянных магнитов ни на роторе, ни на статоре, при этом он успешно конкурирует по характеристикам с вентильными электрическими двигателями с постоянными магнитами (ВЭДПМ). В среднем, при одинаковых электрических и весогабаритных характеристиках ВРД/ВРГ имеет в 4 раза меньшую стоимость, значительно большую надежность, более широкий диапазон частот вращения, более широкий диапазон рабочих температур. Конструктивно, по сравнению с ВЭДПМ, ВРД/ВРГ не имеет ограничения по мощности (практически, мощность ВЭДПМ ограничивается пределом около 20-40 кВт). ВЭДПМ требуют защиты от металлической пыли, боятся перегрева и сильных электромагнитных полей, в случае короткого замыкания обмотки превращаются в самовозгорающуюся систему. Вентильные реактивные электродвигатели/генераторы свободны от всех этих недостатков.

RETRACTED

На изготовление ВРД требуется в среднем 2-3 раза меньше меди, чем для коллекторного электродвигателя такой же мощности, и в 1,3 раза меньше меди, чем для асинхронного электродвигателя.

Тепловыделение происходит в основном только на статоре, при этом легко обеспечивается герметичная конструкция, воздушное или водяное охлаждение

Простота конструкции ВРД снижает трудоемкость его изготовления. В сущности, его можно изготовить даже на не специализирующемся в области электромашиностроения промышленном предприятии. Для серийного производства ВРД/ВРГ требуется обычное механическое оборудование – штампы для изготовления шихтованных сердечников статора и ротора, токарные и фрезерные станки для обработки валов и корпусных деталей. Трудоемкие и сложные в технологическом отношении операции, например изготовление коллектора и щеток коллекторного электродвигателя или заливка клетки ротора асинхронного двигателя, здесь отсутствуют. По предварительным оценкам трудоемкость изготовления ЭМП вентильного реактивного электродвигателя составляет на 70% меньше трудоемкости изготовления коллекторного и на 40% меньше трудоемкости изготовления асинхронного электродвигателя.

Простота обмотки якоря и отсутствие обмотки и магнитов на роторе обеспечивает ВРД/ВРГ высокую гибкость компоновки. Конструкция электродвигателя может быть плоской, вытянутой, обращенной, секторной, линейной. Для выпуска целого ряда электродвигателей с различной мощностью можно использовать один и тот же комплект штампов для вырубки ротора и статора, поскольку для увеличения мощности достаточно увеличить соответственно длину набора ротора и статора. Не составляет труда изготовление машины с расположением статора как снаружи ротора, так и наоборот, а также встраивание электроники в корпус машины. Использование коэффициента электромагнитной редукции позволяет создавать машины для облегченных, напротив, тяжелых условий работы, включая моментные двигатели. Для привода некоторых рабочих машин возможно использовать линейные электродвигатели с возвратно-поступательным перемещением зубчатого штока (аналога ротора). В ряде случаев может быть использована давно известная, но неэффективная в случае асинхронного электродвигателя конструкция плоскостаторной машины, статор которой охватывает доступную для размещения дугу окружности ротора, в качестве которого может использоваться вал с зубчатым контуром.

Простота конструкции обеспечивает ВРД/ВРГ более высокую безотказность, чем безотказность других видов электрических машин. Конструктивная электрическая независимость фазных обмоток обеспечивает работоспособность ВРД даже в случае полного замыкания полюсной катушки одной из фаз. ВРГ остается работоспособным даже после выхода из строя одной или двух фаз.

Широкий диапазон частот вращения: от единиц до тысяч об/мин. Электромагнитная редукция позволяет создавать малогабаритные “моментные” электродвигатели для приводов роботов, манипуляторов и других низкооборотных механизмов или низкооборотные высокоэффективные генераторы для ветровых или волновых электростанций. В то же время частота вращения быстроходных ВРД может превышать 100000 об/мин.

Высокий КПД в широком диапазоне частот вращения. Практически достижимый КПД вентильного реактивного электродвигателя/генератора мощностью 1 КВт может доходить до 90% в диапазоне 5-10-кратной перестройки частоты вращения. КПД более мощных электрических машин может достигать 95-98%.

Поскольку ВРД/ВРГ питается (возбуждается) однополярными импульсами, для управления ЭМП требуется простой электронный коммутатор. Управляя скважностью импульсов силовых транзисторов электронного коммутатора можно плавно изменять форму импульсов тока фазных обмоток электродвигателя или генератора.

Электронное управление электрическими и механическими характеристиками, режимом работы. Естественная механическая характеристика ВРД определяется реактивным принципом действия электрической машины и близка к гиперболической форме. Основное свойство такой характеристики – постоянство мощности на валу машины оказывается чрезвычайно полезным для электроприводов с ограниченной мощностью источника, так как при этом легко реализуется условие его неперегружаемости. Применение замкнутых системы управления с обратными связями по скорости и нагрузке позволяет получить механические характеристики любой заданной формы, включая абсолютно жесткие (астатические), что ведет к какому-либо усложнению системы управления, так как ее процессор обладает большой избыточностью по числу входов и выходов, быстродействию и памяти. Фактически поле доступных механических характеристик непрерывным образом покрывает все четыре квадранта плоскости момент-скорость в пределах области ограничений конкретного электропривода.

Дорогостоящим в рассматриваемой системе электропривода можно считать электронный преобразователь, который является обязательным элементом всех современных регулируемых электроприводов. Однако, цены на изделия силовой электроники по мере развития масштабов производства имеют устойчивую тенденцию к снижению. Исключение из состава ВРД коммутационных аппаратов, для изготовления которых необходима непрерывно дорожающая медь, также способствует уменьшению стоимости.

Наконец, экономическая эффективность ВРД повышается также в результате существенно меньшего расхода электроэнергии, обусловленного высоким КПД электродвигателя и применением наиболее экономичных стратегий управления в динамических режимах работы.

Список литературы

1. Голландцев Ю.А. Уравнения вентильного индукторно-реактивного двигателя при одиночной коммутации фаз // Электротехника. 2003. № 7. С. 45–51.

2. Кузнецов В.А., Садовский Л.А., Виноградов В.Л., Лопатин В.В. Особенности расчета индукторных двигателей для вентильного электропривода // Электротехника. – 1998. № 6. С.35–43.

3. Саввинов П.В., Рушкин Е.И., Семёнов А.С. Внедрение частотно-регулируемых электроприводов как метод энергосбережения на горных предприятиях // Достижения и перспективы естественных и технических наук: Материалы II Междунар. научно-практической конференции. – Ставрополь: Логос, 2012. – 159 с. – С. 60-63.

4. Семёнов А.С. Перспективы внедрения вентильных электроприводов в горной промышленности / Научная дискуссия: вопросы технических наук // материалы II междунар. заочной научно-практической конференции (12 сентября 2012 г.) – М.: Изд-во «Международный центр науки и образования», 2012. – С. 52-56.

5. Шабаев В.А. Анализ критериев технико-экономического оптимума применения вентильно-индукторных двигателей // Электротехника. 2008. № 4. С.44–51.

6. Шипулин В.С., Пак А.Л., Семёнов А.С. Моделирование режима пуска электродвигателя погрузочно-доставочных машин применительно к рудникам по добыче алмазосодержащих пород // Приволжский научный вестник. 2012. № 11 (15). С. 17-23.

RETRACTED

RETRACTED

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ДОБЫЧНОГО УЧАСТКА ПОДЗЕМНОГО РУДНИКА

Шипулин В.С., Семёнов А.С.

Политехнический институт, филиал ФГАОУ ВПО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова», Мирный, e-mail: sash-alex@yandex.ru

В настоящее время Акционерная компания «АЛРОСА» (ОАО) ведет активную разработку месторождений полезных ископаемых подземным способом. На данный момент на территории Республики Саха (Якутия) действуют три подземных рудника, и один находится на стадии строительства. Качество алмазов добываемых в них существенно улучшается из-за меньшей кусковатости руды, которая поступает на обогатительную фабрику и проходит меньше этапов дробления, нежели руда, поступающая с карьера. Исходя из горно-геологических и горнотехнических условий отработки месторождения, на основании исследований и проектных проработок, а также отечественного и зарубежного опыта работы горнорудных предприятий, для отработки запасов на подземном руднике «Интернациональный» принята слоевая система разработки с закладкой выработанного пространства твердеющими смесями. Выбранный вариант камерно-целиковой системы разработки со слоевой выемкой восходящими слоями позволяет одновременно вести работы на двух уровнях. Низкие прочностные характеристики руды и вмещающих пород позволили принять механический способ разрушения горных пород с помощью комбайнов типа АМ-75 и его модификаций.

В соответствии с этим и с разрешением Ростехнадзора по применению горно-шахтного оборудования, соответствующего требованиям взрыво- и пожаробезопасности, определены технологические машины и комплексы, которые можно использовать при добычных работах на руднике:

• добычной комплекс, состоящий из проходческого комбайна типа АМ-75 (или его модификаций); погрузочно-доставочной машины (ПДМ) типа TORO-500 (или TORO-1400); шахтного автомобиля MT-2010;

• проходческий комплекс при проходке по породе крепостью f более 8, состоящий из буровой установки типа Boomer 282 и ковшевой погрузочно-доставочной машины (ПДМ) типа ST-3,5S или ST-710;

• для доставки людей по руднику вспомогательные лестки типа «Мультитранс»;

• для крепления горных выработок и выполнения вспомогательных работ импортные крепеустановщики и анкерные крепи типа Roof Master 2.0 AR-D или типа Robolt H320-30C;

• прокладка сетки с использованием самоходной кассетной системы «МиШтес»;

• торкретирование выработок с применением специальных машин типа Spraymec 6050-W или торкретустановок типа «АЛИВА».

Многое перечисленное оборудование и механизмы имеют электрический привод, поэтому для бесперебойной подачи электроэнергии на добычной участок разработана сложная система электроснабжения. Система электроснабжения подземных горных работ должна обеспечивать надежное и бесперебойное питание электроэнергией основных потребителей, требуемое качество электроэнергии, экономичность всех элементов системы, гибкость и мобильность, обособленное от сетей поверхности питание подземных электроприемников, безопасность в отношении пожаров, взрывов рудничной атмосферы и поражения людей электрическим током.

Выбор напряжения зависит от назначения и расположения подземных потребителей регламентируется различными инструкциями. Для питания подземных электроприемников применяется напряжение 6000, 1140,660 и 380 В переменного тока. Для питания ручного электроинструмента принято напряжение 127 В, а для освещения – 220, 127 и 36 В.

Основными потребителями электроэнергии на шахтах и рудниках являются добычные механизированные комплексы, проходческие комбайны, погрузочно-доставочные машины, конвейерный и электровозный транспорт. Суммарная установленная мощность электроприемников участков высокопроизводительных шахт составляет 500-1000 кВт и более. Электроснабжение таких участков осуществляется напряжением 1140 В.

Исходя из схемы электроснабжения района и месторасположения рудника, для него проектируется следующая схема распределения электроэнергии:

• на главную понизительную подстанцию (ГПП) из районной подстанции электроэнергия подается напряжением 110 кВ;

• на ГПП располагается два трансформатора 110/6 кВ для повышения степени надежности питания электроприемников (ЭП) I категории, к которым относятся подъемные установки, вентиляторы главного проветривания и водоотливная станция;

• электроустановки, сооружаемые на поверхности, должны быть электрически связаны с подземными электрическими сетями – для обеспечения этого при центральной распределительной подстанции (ЦРП) установлены разделительные трансформаторы 6/6,3 кВ;

• питание подземных ЭП осуществляем кабелями 6 кВ проложенными по клетьевому стволу от ЦРП к центральной подземной подстанции (ЦПП);

• ЦПП установлена в околоствольном дворе рудника и собрана из комплектных распределительных устройств (КРУ) во взрывобезопасном исполнении;

• от ЦПП на напряжении 6 кВ получают питание электродвигатели насосов главного водоотлива, трансформаторные подстанции, питающие низковольтные ЭП околоствольного двора и камеры насосной станции на напряжение 660 В;

• питание рабочего освещения принято на напряжении 380/220 В, переносного освещения – 36 В, групповые линии освещения питаются от трансформаторов 660/127 В.

Целью моделирования является построение характеристики зависимости мощности, потребляемой объектами, от суточного времени работы оборудования. Исходными данными являются технические характеристики установленного на объекте оборудования.

Для моделирования необходимо рассчитать недостающие параметры для трансформатора, сопротивления линий и др. Найдём значения сопротивления и индуктивности для трансформатора:

$$S_1 = S_2 = \frac{S_H}{3} = \frac{400}{3} = 133,3 \text{ кВА};$$

$$U_1 = \frac{U_H}{\sqrt{3}} = \frac{6}{\sqrt{3}} = 3,5 \text{ кВ}; \; R_1 = \frac{U_1}{I_1} = \frac{3500}{38,1} = 92 \text{ Ом};$$

$$U_2 = \frac{U_H}{\sqrt{3}} = \frac{0,66}{\sqrt{3}} = 0,38 \text{ кВ};$$