

РАЗРАБОТКА ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ТРОЛЛЕЙВОЗНОГО ТРАНСПОРТА ДЛЯ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ

Институт горного дела УрО РАН совместно с УГТУ занимается разработкой и внедрением нового вида карьерного транспорта – троллейвоза на горно-добывающих предприятиях России и СНГ. Сформулированы требования и рассмотрены наиболее приемлемые, на наш взгляд, варианты тягового электропривода троллейвоза, которые схематично можно описать так: питающая сеть – преобразователь частоты (на полностью управляемых IGBT-или IGCT-модулях с реализацией алгоритма прямого управления моментом DTC) – бесколлекторный тяговый двигатель

The Institute of Mining Practice of the Urals Department of the Russian Academy of Science together with the Urals State Mining Institute is designing and trying to introduce a new type of a trolley car at Russian and CIS mining companies. This article describes the main requirements and most acceptable, in our opinion, designs of the traction electric drive of the trolley car, which can be briefly described in the following way: the supply mains – the frequency converter (consisting of fully unmanned IGBT or IGCT modules realized on the Direct Torque and Flux Control algorithm) – the commutatorless traction engine.

Возможность электрификации карьерного автотранспорта исследуется уже давно. Питание тяговых электродвигателей автосамосвалов от внешней контактной сети позволяет решить ряд актуальных задач, возникших на горно-обогатительных комбинатах. Преимущества троллейвозного транспорта следующие:

- отказ от потребления возрастающего за последнее время в цене и неэкологичного дизельного топлива и применения более дешевой электрической энергии;
- снижение загазованности атмосферы;
- повышение грузоподъемности и маневренности машины;
- увеличение тяговых возможностей электропривода;
- возвращение части энергии, выделяющейся при торможении в контактную сеть (рекуперация энергии);
- снижение стоимости транспортирования.

Питание тяговых электродвигателей вместо питания от дизель-генераторной установки повлечет за собой определен-

ные изменения в существующей конструкции автосамосвала и автомобильной схеме электропривода. При этом необходимо рассмотреть вопросы выбора величины напряжения и рода тока питающей сети, приводного преобразователя; тягового электродвигателя и др.

Безусловно, у троллейвоза есть и свои недостатки: необходимость создания тяговых подстанций, контактной сети и др., оснащения троллейвоза дополнительной аппаратурой для непрерывного и безопасного питания от контактной сети. Несмотря на это эффективность применения троллейвозов в условиях ряда карьеров очевидна. По результатам анализа современных разрабатываемых месторождений, проведенных в ИГД УрО РАН, можно предположить, что троллейвозный транспорт станет самостоятельным транспортом в горной промышленности наряду с автомобильным.

Условия эксплуатации карьерного автотранспорта следующие:

- режим работы круглосуточный, циклический;

- значительно меняющаяся на протяжении цикла нагрузка при переходе от режима максимальной мощности до движения по инерции и торможения до полной остановки;

- резкие колебания температуры, тряска, ударные нагрузки, вибрация, значительная запыленность, влажность;

- неравномерное распределение нагрузки между тяговыми электродвигателями, обусловленное большим количеством поворотов, разным качеством дорожного покрытия на укатанной части дороги и на обочине.

На основании особых горно-технологических условий эксплуатации и конструктивного исполнения троллейвоза (троллейвозы планируется создавать на основе базовых карьерных автосамосвалов) к его электроприводу предъявляются следующие требования:

- простота в обслуживании, высокая надежность, экономичность, встроенная система диагностирования;

- рекуперация энергии;

- гибкое управление с высоким быстродействием на изменение или неравномерность нагрузки;

- максимально возможное управление моментом и жесткие требования к динамическим режимам;

- максимальное тяговое усилие при нулевой скорости и сохранение его в некотором диапазоне скоростей;

- развитие допустимой скорости троллейвоза и плавное регулирование ее в широком диапазоне.

Основное направление совершенствования современных тяговых электроприводов – создание электропривода переменного тока по схеме питающая сеть или синхронный генератор (для автосамосвалов) – преобразователь частоты – бесконтактный электродвигатель переменного тока (асинхронный или вентильный).

Для питания городского электротранспорта обычно применяется сеть постоянного тока напряжением 550-750 В, а для железнодорожного транспорта – сеть постоянного тока напряжением 1500 или 3000 В и сеть переменного однофазного тока напряжением 10 или 25 кВ. Уровень напряжения

3000 В обусловлен сложностью тягового электрооборудования на подвижном составе, а низкое городское напряжение принято из условий безопасности. Однако, чем выше напряжение сети, тем меньше потери и больше расстояние между тяговыми подстанциями. При использовании сети постоянного тока проблема электромагнитной совместимости сети и преобразователя (возможность распределения мощности между троллейвозами в результате рекуперации) решается проще, при этом выпрямитель устанавливается на тяговой подстанции, а не на машине, что облегчает обслуживание и увеличивает надежность.

В пользу выбора наибольшей величины напряжения свидетельствует значительная суммарная мощность электропривода, составляющая 1000-2000 кВт.

Наиболее распространенный тип электропривода с двигателем переменного тока включает в себя преобразователь частоты со звеном постоянного тока и инвертор с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) на полностью управляемых IGBT- или IGCT-модулях. В преобразователь встроена система управления привода с микропроцессорным управлением и внешним промышленным интерфейсом CAN, Modbus и т.д., обеспечивающим потребителю максимум возможностей для использования.

В последние годы выполнен большой объем исследований по разработке асинхронного двигателя, вентильного двигателя с возбуждением от высококоэрцитивных магнитов, вентильно-индукторного двигателя (ВИД). Преимущества индукторного электродвигателя – простота конструкции, а значит, и высокая надежность, но в то же время формирование желаемой тяговой характеристики остается проблематичным особенно в зоне малой частоты вращения. Синхронный двигатель помогает решить эту проблему, но от наличия скользящего контакта избавиться, не увеличивая массогабаритных показателей, невозможно. Скользящий контакт, конечно, не коллектор, но если надежность превыше всего, то асинхронный двигатель – вне конкуренции. Однако остаются проблемы с тяговыми моментами на

малых скоростях движения, решение которых увеличивает цену изделия. Вентильный двигатель с постоянными магнитами – наилучший среди рассмотренных двигателей по тягово-динамическим характеристикам, однако постоянные магниты не дешевы и весьма чувствительны к температурным режимам.

Наибольшее влияние на показатели качества управления электроприводом оказывает принцип управления и структура системы управления. По реализуемому преобразователем закону управления различают преобразователи со скалярным, векторным законами управления и прямым управлением моментом электродвигателя. Электропривод троллейвоза является объектом, в максимальной степени требующим управления моментом и предъявляющим жесткие требования к динамическим режимам. В связи с этим наиболее приемлемым типом

системы автоматического регулирования характеристик электропривода является система прямого управления моментом (по типу DTC).

Исходя из требований к электроприводу троллейвоза и накопленного опыта применения карьерных автосамосвалов и дизель-троллейбусов, разработки и эксплуатации опытных образцов асинхронных тяговых двигателей на железнодорожном транспорте, можно сделать вывод о наибольшей приемлемости асинхронного тягового двигателя для троллейвозного транспорта как по энергетическим характеристикам, так и технологическим и технико-экономическим показателям. При использовании электропривода с частотным управлением и системы автоматического регулирования с применением алгоритма прямого управления моментом могут быть обеспечены требуемые тяговые характеристики привода.

Научный руководитель канд. техн. наук доц. *В.В.Елисеев*