

Кременчугский национальный университет им. Михаила Остроградского
Криворожский государственный университет**ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЙ ТЯГОВЫЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС
ДВУХСИСТЕМНОГО РУДНИЧНОГО ЭЛЕКТРОВОЗА**

Приведено обоснование и новая структура энергоэффективного и экономичного тягового электротехнического комплекса двухсистемного (контактно-аккумуляторного) рудничного электровоза. Разработан вариант тягового двухсистемного электротехнического комплекса.

Наведено обґрунтування і нова структура енергоефективного та економічного тягового електротехнічного комплексу двохсистемного (контактно-акумуляторного) рудного електровоза. Розроблено варіант тягового двохсистемного електротехнічного комплексу.

A ground and new (author) energyeffective and economicalstructure of asynchronous hauling electrical engineering complex of double-system (pin-storage-battery) mine electric locomotive is resulted in the article. Developed variant of the traction dual system of electro-technical complex.

Введение. На горнорудных предприятиях горнометаллургического комплекса страны с технологиями подземного ведения работ эксплуатируется несколько типов контактных двухосных электровозов сцепной массой 7-14 т [1].

Анализ предыдущих исследований. Основными проблемами существующих и эксплуатируемых на подземных предприятиях электрифицированных видов транспорта является не эффективное управление тяговыми электроприводами постоянного тока и значительная опасность поражения горнорабочих электрическим током при несанкционированном прикосновении их к контактному проводу. Последнее обстоятельство особенно актуально на участках подземных магистралей, где производится погрузка (разгрузка).

При этом, если первая часть проблемы нашла в последние пять лет свое решение в направлении разработки энергоэффективных видов тяговых электротехнических комплексов (ТЭТК) в том числе на основе IGBT-преобразователей и тяговых асинхронных двигателей (ТАД) [2], то вторая – ожидает своего решения [3]. К сожалению, следует отметить, что в решении данной проблемы нет не только единого решения, но и нет единого мнения в направлении этих поисков. Между тем в достижении главной цели – упразднения контактного провода в местах погрузки (разгрузки) электровозосоставов все изыскатели едины во мнениях.

Анализ доступных для авторов исследований высветили как ряд достоинств, так и недостатков имеющихся предложений по достижению выше обозначенной цели. Учитывая результаты исследований, мнение эксплуатационников и зарубежный опыт, предпочтительные авторы отдают созданию двухсистемного ТЭТК двухосного электровоза – контактно-аккумуляторного, когда при движении по магистральным выработкам электровоз питается от контактной сети, а при погрузочных (разгрузочных) – от аккумуляторных батарей (АБ).

При этом, в соответствии с расчетами, достаточно необходимой емкостью АБ – 800А·ч при $U_6=80В$. При таких условиях габаритные параметры к примеру аккумуляторных батарей на основе свинцовых тяговых аккумуляторов 2x40V5PzSL450Ah составят 800x1000x460 мм и массой 880 кг.

Вместе с тем, создание такого двухрежимного синергетического тягового электротехнического комплекса с требуемыми тяговыми параметрами [2] требует дополнительных исследований по поиску оптимального решения.

Цель работы: разработка энергоэффективного асинхронного тягового электротехнического комплекса двухсистемного (контактно-аккумуляторного) рудничного электровоза.

Материал и результаты исследования. Известная (классическая) система ТЭТК «IGBT-преобразователь – ТАД» обладает естественными для таких видов тяговых комплексов достоинствами. В их числе:

- достаточно высокая надежность асинхронного двигателя благодаря отсутствию коллекторно-щеточного узла и отсутствие оперативной контактной аппаратуры, функционирующей под током;
- возможность экономичной работы во всем диапазоне скоростей от нулевой до максимальной благодаря частотному регулированию;
- высокие противобуксовочные свойства благодаря жесткой механической характеристике асинхронного двигателя $M = f(\omega)$.

Последнее качество иллюстрирует рис.1. Если при работе в точке N на характеристике возникает буксование, колесная пара теряет сцепление с рельсами, момент на валу двигателя падает до нуля, скорость вращения вала двигателя увеличивается с n_r до синхронной n_s , т.е. всего на 3-5 %. Поэтому, при восстановлении сцепления ротор двигателя не испытывает механического удара и втягивание в рабочий режим происходит плавно.

Частотное регулирование тягового асинхронного двигателя иллюстрирует частотная характеристика рис.2.

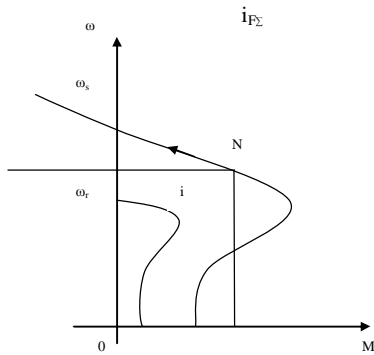


Рис.1. Механическая характеристика асинхронного тягового двигателя $M = f(\omega)$

Уровень сигнала задания i_{Li} определяет тип разгона электровоза, желаемую скорость, работу на позиции при наблюдении $\frac{U_M i}{f_i} \equiv i_{Li} = const$; на частоте от нулевой до f_1 . При этом $I_{Mi} \approx const$; $M_i \approx const$. Под нагрузкой и при разгрузке электровоз движется с минимальной скоростью, $f \rightarrow 0$, поэтому экономично и безопасно питать систему от аккумуляторной батареи B . На высоких скоростях на перегонах требуется высокое напряжение двигателя U_M и система переводится на питание от контактной сети N . По окончании разгона до частоты f_1 далее двигатель переходит на режим ослабления поля: $U_M = const$, $f = var$ до максимальной частоты f_2 .

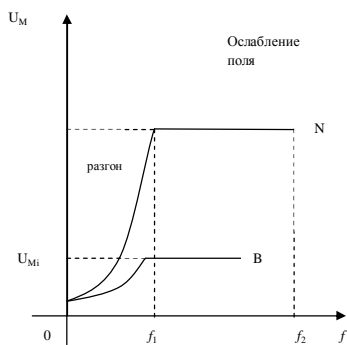


Рис.2. Характеристика частотного регулирования тягового асинхронного двигателя

Система регулирования обрабатывает законы частотного управления с учетом сигналов обратных связей путем ШИМ постоянного напряжения питания U_d в переменное U_M . ШИМ реализуется IGB транзисторным преобразователем UZ по стандартной схеме трехфазного инверторного моста, рис.3, путем векторного управления IGBT по синусоидальному закону. Обмотки двигателя соединены в звезду. Схема проста, однако, она не обеспечивает высокого коэффициента использования питающего напряжения $K_d = \frac{U_M}{U_d} \leq 0,955$, а её реализация при больших токах требует параллельного соединения транзисторов.

В нашем случае амплитуда тягового тока в плече инвертора

$$I_m = \frac{P_m \cdot \sqrt{2}}{\sqrt{3} \cdot U_M \cdot \cos \varphi} = \frac{50000 \cdot \sqrt{2}}{\sqrt{3} \cdot 0,955 \cdot 80 \cdot 0,8} = 668 \text{ A.}$$

Тормозной ток обычно больше тягового на 15-30 %, тогда $\sim 1,2 \cdot 668 = 802 \text{ A}$. С двойным запасом в плече инвертора должен быть IGB-транзистор на номинальный ток 1604 А; это, по крайней мере, два включенных параллельно транзистора по 800 А, например, двойной модуль (полумост) типа FF800R12KE3, всего 6 штук на инвертор.

Тормозной чоппер на один инвертор составляет из двух параллельно FD800R12KE3.

Структура предлагаемой схемы основного тягового электрооборудования двухсистемного электровоза приведена на рис.3,

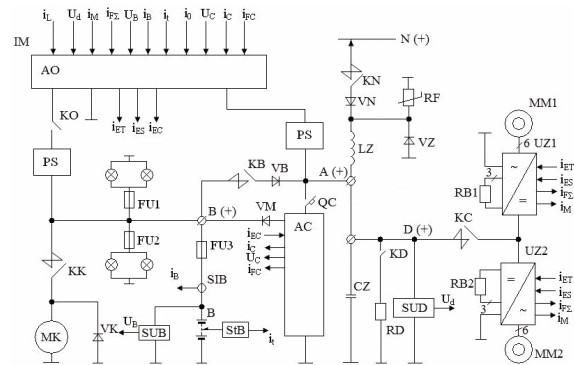


Рис.3 . Структурная схема электротехнического комплекса двухсистемного электровоза

где AO – система управления (процессор); AC – устройство заряда аккумуляторной батареи и бесперебойного питания вспомогательных нагрузок; B – аккумуляторная батарея; CZ, LZ – фильтр; KB – контактор вспомогательной сети; KC – контактор линейный; KD – контактор разрядный; KK – контактор двигателя компрессора; KN – контактор контактной сети; KO – контактор системы управления; MK – двигатель компрессора; MM – тяговые асинхронные двигатели; N – контактная сеть; QC – выключатель зарядного устройства; PS – блок питания; RB – резистор тормозной; RD – резистор разрядный; RF – ограничитель импульсов перенапряжения; S – датчик напряжения, тока, температуры; UZ – транзисторные тяговые преобразователи;

В исходном состоянии все контакторы и автоматические выключатели разомкнуты. Включением QB во вспомогательную сеть $B(+)$ подается напряжение аккумуляторной батареи U_B . Включением KO запрашивается система управления AO , которая осуществляет самоконтроль, обрабатывает входные сигналы и устанавливается в состояние «ГОТОВ». При этом сигналы «РЕЖИМ» и i_L отсутствуют. Запитываются двигатель компрессора и другие вспомогательные нагрузки (освещение, ВЧ-связь) на рис.4 не показанные для простоты восприятия. При включении KB через RC происходит плавный заряд фильтрового конденсатора CZ , после чего KC замыкается и схема готова к работе.

Работа системы протекает под действием сигналов «РЕЖИМ» и «УРОВЕНЬ i_L » по законам частотно-

го регулирования. В отличие от стандартного предлагается преобразователь составленный из трех однофазных инверторных мостов UIA , UIB , UIC , питающих каждый свою обмотку тягового электродвигателя MM , рис.4.

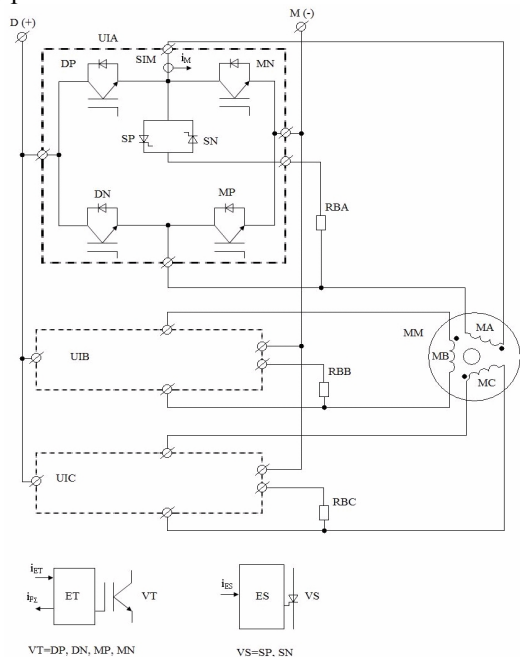


Рис.4. Структура контура преобразования напряжения на зажимах тягового асинхронного двигателя

Выбор схемы преобразователя предопределен стремлением избежать параллельного соединения IGBT транзисторов. Кроме того, схема позволяет использовать более экономичное управление IGBT. Так, например, включением DP и MP на обмотке двигателя формируется положительная полуволна напряжения U_M , причем, либо MP включен постоянно в течение полупериода, а DP осуществляет ШИМ выходного напряжения в это время, либо наоборот, в любом случае, ШИМ осуществляет только один IGBT в каждом однофазном мосте. Таким образом, на периоде модуляции происходит одна коммутация (включение – отключение) IGBT, т.е. всего три коммутации в преобразователе, в то время как в стандартном трехфазном инверторном мосте их шесть в процессе векторной ШИМ по синусоидальному закону. Таким образом, в предполагаемом преобразователе вдвое меньше потери в IGBT. Более того, однофазные мосты обеспечивают высокий коэффициент использования $K_d = U_M/U_d = 1,1$.

Современные IGBT транзисторные модули:

- контролируют ток нагрузки;
- выявляют ток короткого замыкания и производят самоотключение модуля;
- контролируют нижний уровень напряжения, питающего драйвер ET , при котором ещё возможна надежная коммутация IGBT, а ниже – отключают модуль.

Для простоты изображения перечисленные функции на рис.4. представлены одним сигналом $i_{F\Sigma}$.

С целью снижения токовой нагрузки на IGBT в структуре данного комплекса предлагается резистор-

ное торможение на стороне переменного тока в противовес стандартному торможению на стороне постоянного тока, для чего фазные тормозные резисторы RBA , RBB , RBC подключены каждой к своим однофазным инверторным мостам UIA , UIB , UIC посредством тиристоров SP и SN .

Выводы. Разработанный вариант синергетического тягового двухсистемного электротехнического комплекса: IGBT-преобразователь – ТАД позволяет по сравнению с классической структурой получить более высокий (в пределах 35 %) КПД и энергоэкономичное (15-20 %) регулирование частоты вращения тяговых двигателей.

Список используемой литературы

1. Комплекс ресурсо- и энергозберігаючих геотехнологій видобутку та переробки мінеральної сировини, технічних засобів їх моніторингу із системою управління і оптимізації гірничорудних виробництв / А.А. Азарян, Ю.Г. Вілкун [и др.]; – Кривий Ріг: Мінерал, 2006. – 219 с.
2. Комбинаторика преобразователей напряжения современных тяговых электроприводов рудничных электровозов / Н. Н. Юрченко, А. А. Чернышев [и др.]; под ред. О. Н. Синчука/ Научное издание НАН Украины. Ин-т эл.динамики. – К.: 2006. – 250 с.
3. Электробезопасность рудничной откатки: / О.Н. Синчук, Э.С. Гузов, А.Г. Ликаренко, А.Г. Животовский. – К.: Техника, 1988. – 188 с.

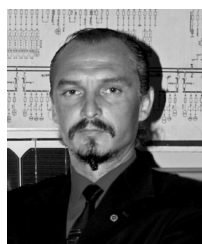
Получено 07.06.2011



Шокарев
Дмитрий Анатольевич,
ст. преп каф. «СЕЕМ»
Кременчугского нац. ун-та
им. М. Остроградского,
тел. 096-596-98-55
E-mail seem@kdu.edu.ua



Скапа Евгений Иванович,
студент Кременчугского нац.
ун-та им. М. Остроградского,
тел. 097-949-83-40
E-mail seem@kdu.edu.ua



Синчук Игорь Олегович,
к.т.н., доцент каф. «Электро-
снабжение и ресурсосбереже-
ние» Криворожского гос. ун-та
тел. 067-465-55-54
E-mail EE@rambler.ru