

СИНЕРГЕТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА КОНТАКТНО-АККУМУЛЯТОРНОГО ДВУХОСНОГО ЭЛЕКТРОВОЗА

*О. Н. Синчук, д.т.н., проф., Д. А. Шокарев, ст. преп.
Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
ул. Первомайская, 20, 39600, г. Кременчуг, Украина
E-mail: seem@kdu.edu.ua*

*И. О. Синчук, к.т.н., доц.
Криворожский технический университет
ул. 22 Партсъезда, 11, 50027, г. Кривой Рог, Украина
E-mail: EE@rambler.ru*

Рассмотрен принцип разработки энергоэффективного тягового электропривода для комбинированного контактно-аккумуляторного двухосного промышленного электровоза. Предложена схема преобразователя, который обладает широкими возможностями в использовании различных методов управления. Принят метод формирования трапецидальной огибающей модулирующих импульсов выходного напряжения.

Ключевые слова: контактно-аккумуляторный, электровоз, тяговый привод.

Введение. На отечественных горнометаллургических предприятиях с технологиями подземного ведения работ эксплуатируется около 4 тысяч (20 видов) двухосных электровозов [1], обеспечивающих доставку электровозосоставами полезных ископаемых и грузов от места добычи до подъема на поверхность. От эффективности функционирования электровозосоставов во многом зависит себестоимость добываемых полезных ископаемых, поскольку транспортные операции составляют 28,4 % общей себестоимости продукции этих предприятий. Одновременно не менее важным моментом при эксплуатации транспорта под землей является безопасность труда горнорабочих.

Анализ предыдущих исследований. 80 % эксплуатируемых в шахтах типов двухосных электровозов является аккумуляторными и 20 % – контактными, то есть получающими питание от шахтной контактной сети. Существование этих двух монополярных типов электровозов, к тому же оснащенных неэффективными видами тяговых электроприводов (ТЭП) – контактно-резисторными, не способствует повышению эффективности функционирования внутришахтного трансформатора (ВШТ), а в ряде случаев является источником прямого поражения электрическим током – при несанкционированном прикосновении к контактному приводу (КП), не характерным в силу технологии ведения горных работ, в непосредственной близости от работающих горняков.

Одним из решений в этом направлении является создание комбинирования – контактно-аккумуляторного электровоза с синергетическим ТЭП. [3]. Поэтому возникает научная задача разработки ТЭП для новых типов электровозов – контактно-аккумуляторных. Таким типом ТЭП может быть электровоз: IGBT – инвертор – асинхронный тяговый двигатель [3].

Опыта создания такого ТЭП в Украине почти нет, кроме отдельных пробных экземпляров [4].

Из многочисленных зарубежных форм лишь 8 (в том числе три контактные) выпускают двухосные промышленные электровозы с асинхронным тяговым приводом и то для контактных или аккумуляторных типов электровозов.

Цель работы. Разработка энергоэффективного тягового электропривода для комбинированного контактно-аккумуляторного двухосного промышленного электровоза.

Материал и результаты исследования. В основу разрабатываемого тягового асинхронного электропривода для рудничного контактно-аккумуляторного электровоза положена созданная авторами принципиальная схема преобразователя, приведенная на рис. 1 и 2. В электроприводе задействованы два асинхронных двигателя с короткозамкнутым ротором. Обмотки двигателей не имеют электрического контакта между собой и образуют «разомкнутый треугольник» в каждом двигателе. Одноименные обмотки двигателей соединены между собой: концы обмоток первого двигателя соединены с началами обмоток второго двигателя, (рис.1). Обмотки двигателей подсоединены каждая к своему однофазному инверторному мосту UI , образованному IGB транзисторными модулями $D - M$. Каждые три однофазных моста составляют блок UZ преобразователя. Связка обмоток двигателей увязывает пару однофазных одноименных мостов в общую структуру, в которой IGB транзисторы DN и MP являются смежными, а IGB транзисторы DP и MN – крайними. Смежные IGB транзисторы образуют параллельное соединение, но при условии: переключки между однофазными мостами обладает незначительным сопротивлением, однако достаточным для нормального распределения токов, – практически токи обмотки $A1$ первого двигателя и обмотки $A2$ второго двигателя протекают независимо друг

от друга по IGB транзисторам $DN1-DN2$ и $MP1-MP2$. Кроме того, для исключения перетекания токов из-за разброса времени включения и отключения IGB транзисторов принято постоянное включение смежных IGB транзисторов на полупериоде выходного напряжения, а модуляция возможна на крайние IGB транзисторы смежных однофазных мостов.

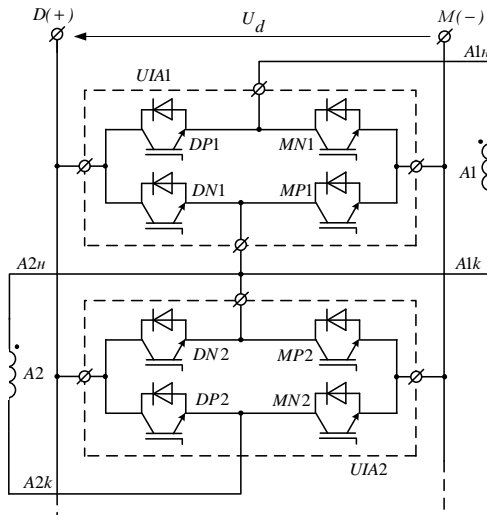
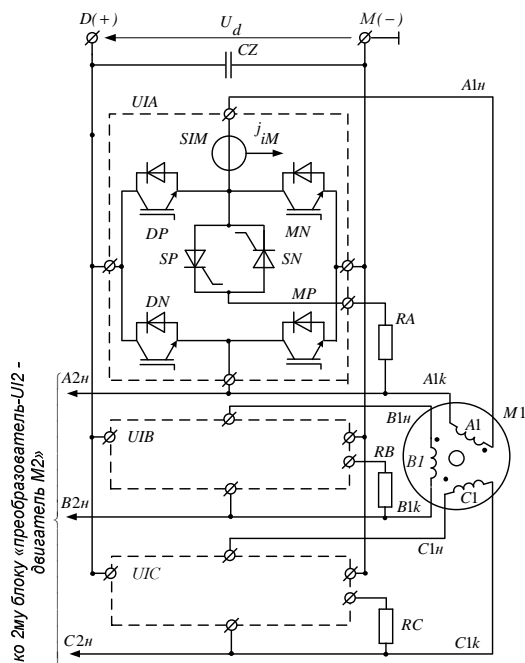


Рисунок 1 – Схема соединения одноименных однофазных мостов и обмоток двигателей двух блоков предлагаемого преобразователя



к 2му блоку «преобразователь-двигатель M2»

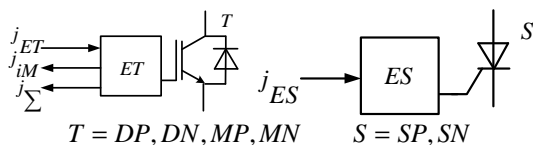


Рисунок 2 – Схема одного блока UZ предлагаемого преобразователя

При последовательном соединении обмоток двигателя обрабатывается алгоритм управления, представленный на рис. 3 включением IGB транзисторов $DP1$ и $MN2$ в течение интервала τ_{05} на первом периоде модуляции T'_M на обмотках $A1$ и $A2$ двигателей формируются положительные импульсы амплитудой $U_d/2$, ток протекает по цепи $D(+)\rightarrow DP1\rightarrow A1\rightarrow A2\rightarrow MN2\rightarrow M(-)$. На интервале τ_0 включен IGB транзистор $MN2$ и отключен $DP1$, ток протекает по цепи $A1\rightarrow A2\rightarrow MN2\rightarrow \text{диод } MN1\rightarrow A1$, напряжения на обмотках двигателя равны нулю. На следующем периоде модуляции T''_M на интервале τ_{05} вновь включены IGB транзисторы $DP1$ и $MN2$, но на нулевом интервале τ_0 включен IGB транзистор $DP1$ и отключен $MN2$. Периоды модуляции T'_M и T''_M чередуются для того, чтобы равномерно распределить динамические потери мощности между крайними IGB транзисторами ($DP1$ и $MN2$) и тем самым уровнять их по нагреву. Отрицательные импульсы на обратной полуволне выходного напряжения формируются аналогичным образом при помощи IGB транзисторов $DP2$ и $MN1$.

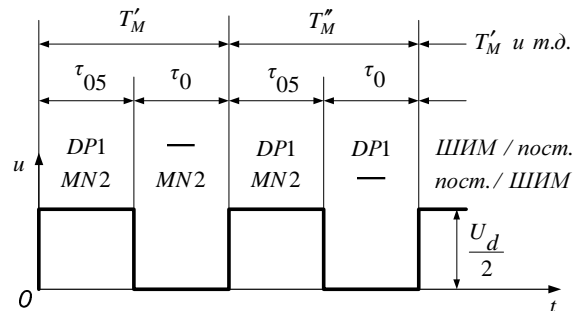


Рисунок 3 – Диаграмма выходного напряжения преобразователя при последовательном соединении обмоток двигателей

Следует отметить, что смежные IGB транзисторы $DN1, MP1, DN2, MP2$ не принимают участия в процессе формирования импульсов напряжения, благодаря чему динамические потери мощности в IGB транзисторах обоих блоков «преобразователь-двигатель» в четыре раза меньше, чем в стандартной схеме на два блока, а статические потери мощности в IGB транзисторах мостов вдвое меньше.

Параллельное соединение обмоток двигателя обеспечивает алгоритм, представленный на рис. 4. На интервале τ_1 включены IGB транзисторы $DP1, MP1, DP2, MP2$, токи протекают по цепям $D(+)\rightarrow DP2\rightarrow A2\rightarrow MP2\rightarrow M(-)$, напряжение импульсов на обоих обмотках двигателей равно U_d . На интервале τ_0 включены IGB транзисторы

$MP1$ и $MP2$, отключены $DP1$ и $DP2$, токи протекают по цепям $A1 \rightarrow MP1 \rightarrow \rightarrow \text{диод } MN1 \rightarrow A1$ $A2 \rightarrow MP2 \rightarrow \rightarrow \text{диод } MN2 \rightarrow A2$, напряжения на обмотках двигателя равны нулю. Можно было бы использовать чередование широтно-импульсной модуляции (ШИМ) IGB транзисторов, как в случае последовательного соединения обмоток двигателя, но квазипараллельное соединение IGB транзисторов $MP1$ и $MP2$ может привести к разбросу токов между ними в динамике, поэтому здесь использовать поочередную ШИМ не рекомендуется. Анализ алгоритмов работы предлагаемой схемы преобразователя позволяет сделать вывод о возможности применения в ней асинфазной непосредственной ШИМ напряжения трапецидальной формы со всеми присущими ей преимуществами.

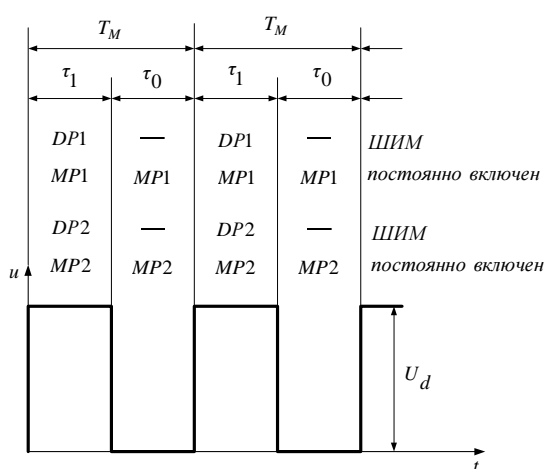


Рисунок 4 – Диаграмма выходного напряжения преобразователя при параллельном соединении обмоток двигателей

Таким образом, обобщая изложенное, можно сказать, что разработана система тягового асинхронного электропривода, основным отличием которой от известных является:

- наличие блоков IGB транзисторных преобразователей, каждый из которых в свою очередь состоит из трех однофазных инверторных мостов;

- обмотки двигателей образуют схему «разомкнутый треугольник»;

- каждая обмотка двигателя подсоединена к своему однофазному инверторному мосту;

- одноименные обмотки двигателей соединены между собой: концы обмоток первого двигателя соединены с началами обмоток второго, образуя тем самым спаренные мосты;

- тормозные резисторы подключены каждый к своему однофазному мосту через пару встречно-параллельно соединенных тиристоров.

Сконструированный алгоритм управления спаренными мостами автономного инвертора тягового привода заключается в том, что при

питании от аккумуляторной батареи смежные мосты действуют параллельно-синхронно в противофазе, при питании от контактной сети при высоком выходном напряжении мосты также действуют параллельно синхронно в противофазе, а при низком выходном напряжении смежные мосты действуют как единый спаренный мост, питающий две последовательно соединенные одноименные обмотки двигателей, в котором задействованы только крайние IGB транзисторы, а смежные IGB транзисторы отключены, благодаря чему статические потери мощности в IGB транзисторах вдвое меньше, чем в стандартной схеме преобразователя. Предложенный способ управления спаренным мостом при питании от контактной сети в зоне низкого уровня преобразуемого напряжения оперирует с последовательно соединенными обмотками двигателей, поэтому импульс выходного напряжения спаренного моста делится поровну между обмотками и к каждой прикладывается

импульс $\frac{U_n}{2}$, по величине близкий к U_B . Таким

образом нивелируются напряжения на двигателях при питании как от аккумуляторной батареи, так и при питании от контактной сети. Нивелирование напряжений реализуется без каких бы то ни было дополнительных полупроводниковых приборов, а только за счет использования предложенного способа управления преобразователем. Благодаря нивелированию напряжения частота модуляции на низком уровне напряжения двигателей практически одинакова как при питании от аккумуляторной батареи, так и при питании от контактной сети, не требуется повышение частоты ШИМ, как в известных схемах преобразователей.

Выводы. 1. Предложенная схема преобразователя обладает широкими возможностями в использовании различных методов управления, которые неприемлемы для стандартной схемы инвертора.

2. В схеме преобразователя предложено использовать метод непосредственной ШИМ напряжения, которая проще векторной ШИМ напряжения и обеспечивает вдвое меньше динамических потерь мощности в IGB транзисторах.

3. Предложено использовать метод асинфазной ШИМ напряжения, обеспечивающий снижение вдвое емкости входного фильтрового конденсатора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дебельный В.Л., Дебельный Л.А., Мельников С.А. Основные направления развития шахтного локомотивного транспорта // Уголь Украины. – 2006. – № 6. – С. 30–31.

2. Комплекс ресурсо- і енергозберігаючих геотехнологій видобутку та переробки мінеральної сировини, технічних засобів їх моніторингу із системою управління і оптимізації гірничорудних виробництв / А.А. Азарян, Ю.Г. Вілкун, Ю.П. Карленко та ін. – Кривий Ріг: Мінерал, 2006. – 219 с.

3. Синчук О.Н., Гузов Э.С. Контактно-аккумуляторный электровоз для рудных шахт // Горная электромеханика и автоматика. – К.: 1982. – № 40.– С. 25–28.

4. Синчук О.Н., Гузов Э.С. Автоматизация электровозного транспорта за рубежом при подземном способе добычи. Обзорная информация ин-т «Черметинформация», Серия «Автоматизация металлургического производства». – Вып. 1. – М., 2005. – 24 с.

Стаття надійшла 24.06.2011р.
Рекомендовано до друку д.т.н., проф.
Родькіним Д.Й.

СИНЕРГЕТИЧНА СИСТЕМА АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА КОНТАКТНО-АКУМУЛЯТОРНОГО ДВОВІСНОГО ЕЛЕКТРОВОЗА

*О. М. Синчук, д.т.н., проф., Д. А. Шокар'ов, ст. викл.
Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, 39600, м. Кременчук, Україна
E-mail E-mail: seem@kdu.edu.ua*

*І. О. Синчук, к.т.н., доц.
Криворізький технічний університет
вул. 22 Партз'їзду, 11, 50027, м. Кривий Ріг, Україна
E-mail: EE@rambler.ru*

Розглянут принцип розробки енергоефективного тягового електропривода для комбінованого контактної-аккумуляторного двовісного промислового електровоза. Запропоновано схему перетворювача, який володіє широкими можливостями використання різних методів управління. Прийнятий метод формування трапецеїдальної обвідної модулюючих імпульсів вихідної напруги.

Ключові слова: контактної-аккумуляторний, електровоз, тяговий привід.

SYNERGETIC SYSTEM ASYNCHRONOUS ELECTRIC CONTACT-BATTERY-TWO-AXLE ELECTRIC LOCOMOTIVE

*O. Sinchuk, D.Sc. (Eng.), Prof., D. Shokar'ov, Sen. Lect.
Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University
vul. Pershotravneva 20, 39600, Kremenchuk, Ukraine
E-mail E-mail: seem@kdu.edu.ua*

*I. Sinchuk, Cand.Sc. (Eng.), Assoc. Prof.
vul. 22 Parts'ezda, 11, 50027, Krivoy Rog, Ukraine
E-mail: EE@rambler.ru*

The principle of the development of energy-efficient traction drives for the combined contact-battery-two-axle industrial electric locomotive is devoted. The scheme of a transmitter which has broad capabilities in the use of different methods of management. Adopted by the method of formation of trapezoidal baseband baseband pulses output voltage.

Key words: contact-battery, the locomotive traction drive.