

С.И. Выпанасенко, д-р техн. наук

(Украина, Днепропетровск, Государственное ВУЗ "Национальный горный университет")

О.Н. Синчук, д-р техн. наук., Д.А. Шокарев

(Украина, Кременчуг, Кременчугский национальный университет им. Михаила Остроградского)

СИСТЕМА ЗАРЯДКИ АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ И ПИТАНИЯ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ НАГРУЗОК КОНТАКТНО-АККУМУЛЯТОРНОГО ДВУХОСНОГО РУДНИЧНОГО ЭЛЕКТРОВОЗА

Основным видом транспорта отечественных горных предприятий с подземной добычей полезных ископаемых является электровозный [1]. Перевозку руды, угля в шахтах (рудниках) обеспечивают составы, где используют более 4,5 тысяч электровозов. В эксплуатации находится двадцать типов двухосных электровозов, из которых аккумуляторных – около 80% и контактных – около 20%.

Аккумуляторные электровозы используются, как правило, в шахтах, опасных по газу и пыли [1]. Они значительно дороже своих прототипов – контактных, требуют специальных стационарных станций зарядки тяговых аккумуляторных батарей (ТАБ), что приводит к необходимости планирования дополнительных расходов на их обслуживание по сравнению с контактными.

Контактные электровозы применяются на всех рудных и на отдельных угольных шахтах. Они наиболее просты в работе, надежны в эксплуатации и менее сложны в обслуживании.

Естественно, стремление, с одной стороны расширить сферу применения контактных электровозов, как наиболее дешевых в условиях эксплуатации угольных шахт, а с другой стороны целесообразно отказаться от использования контактного провода в рудных шахтах, где от несанкционированного прикосновения к нему происходит значительное количество электротравм горнорабочих, причем более 75% из них со смертельным исходом [2]. Поэтому возникает необходимость в комбинировании конструкции контактного и аккумуляторного электровозов. Опыт эксплуатации контактно-аккумуляторного электровоза имеется на отдельных зарубежных предприятиях (Кируна, Швеция) [3–4].

Последнее время в Украине возобновились исследования по созданию таких типов электровозов. Предложены новые интересные технические решения тягового электропривода (ТЭП) и контуров питания электровозов. Открытым остается вопрос создания энергоэффективной подсистемы зарядки тяговой аккумуляторной батареи.

Комбинирование двух типов электровозов позволит повысить эффективность функционирования тягового электропривода и снизить затраты на приобретение и эксплуатацию аккумуляторных батарей [3]. В свою очередь создание энергоэффективной системы зарядки аккумуляторной батареи и питания вспомогательных нагрузок двухосного рудничного электровоза существенно сократит потребление электроэнергии от аккумуляторной батареи, что приведет к продлению срока ее службы и уменьшит массогабаритные размеры последней.

Статья посвящена разработке энергоэффективной системы зарядки аккумуляторных батарей и питания вспомогательных нагрузок двухосного рудничного электровоза.

Авторами предложена принципиальная схема системы зарядки аккумуляторной батареи тягового асинхронного электропривода контактно-аккумуляторного двухосного электровоза, отличающаяся от известных тем, что зарядка аккумуляторной батареи и бесперебойное питание вспомогательных нагрузок электровоза (компрессор, освещение и т.д.) осуществляются от контактной сети или в режиме частичной рекуперации энергии, рис. 1.

Система основана на транзисторном чоппере UA (обозначения соответствуют рис.1), содержащем IGB транзистор TA , нулевой диод $D1A$, драйвер EA , управляющий IGB-транзистором по сигналу j_{EA} . Чоппер UA путем широтно-импульсной модуляции (ШИМ) напряжения контактной сети преобразует его в напряжение вспомогательной сети. Кроме того, чоппер,

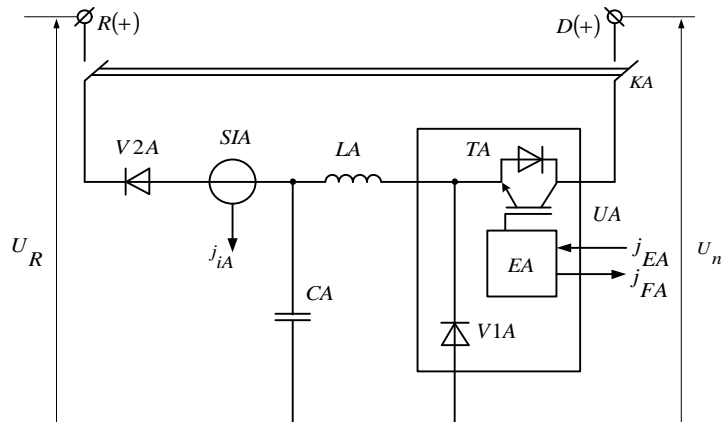


Рис. 1. Принципиальная схема устройства заряда аккумуляторной батареи и бесперебойного питания вспомогательных нагрузок электровоза

как и другие IGB–транзисторные модули, выполняет функции:

- самоконтроля тока нагрузки;
- выявления тока короткого замыкания;
- самоотключения модуля в аварийной ситуации;
- контроля температуры нагрева полупроводниковой структуры и самозащиты от перегрева;
- контроля минимально допустимого уровня напряжения, при котором возможна надежная коммутация IGB транзистора.

Перечисленные функции на рис. 1 представлены одним сигналом j_{FA} . Устройство зарядки AA содержит фильтр $LA-CA$, датчик тока SIA , заградительный диод $D2A$. Чоппер UA осуществляет ШИМ напряжения контактной сети U_n . От зажима $Z(+)$ преобразованное напряжение U_R поступает во вспомогательную сеть $R(+)$ (рис. 2). От вспомогательной сети $R(+)$ питаются вспомогательные нагрузки RA и к ней подключается также аккумуляторная батарея B . Таким образом, устройство AA способно подзаряжать аккумуляторную батарею и осуществлять бесперебойное питание вспомогательных нагрузок в случае ее отключения.

В настоящее время правилами техники безопасности запрещено осуществлять зарядку аккумуляторной батареи на подвижном составе. Однако необходимо учесть то обстоятельство, что стандарт разрабатывался в период, когда аккумулятора заряжался под контролем персонала с использованием несовершенных приборов, непригодных для автоматизации и контроля этого процесса. Ныне проблема разрешима путем установки датчиков защиты, контролирующих температуру электролита, газообразование.

Что же касается второй функции устройства (бесперебойное питание вспомогательных нагрузок), то она с успехом реализуется путем контроля напряжения U_R (датчик SUR , сигнал j_{UR}). В случае питания электровоза от контактной сети устройство AA преобразует напряжение контактной сети U_n в напряжение питания вспомогательных нагрузок U_R . Заградительный диод VB предотвращает зарядку аккумуляторной батареи B . При отрыве пантографа от контактного провода электровоз теряет питание, устройство AA обесточивается, диод VB разблокируется и сеть вспомогательных нагрузок получает питание от аккумуляторной батареи.

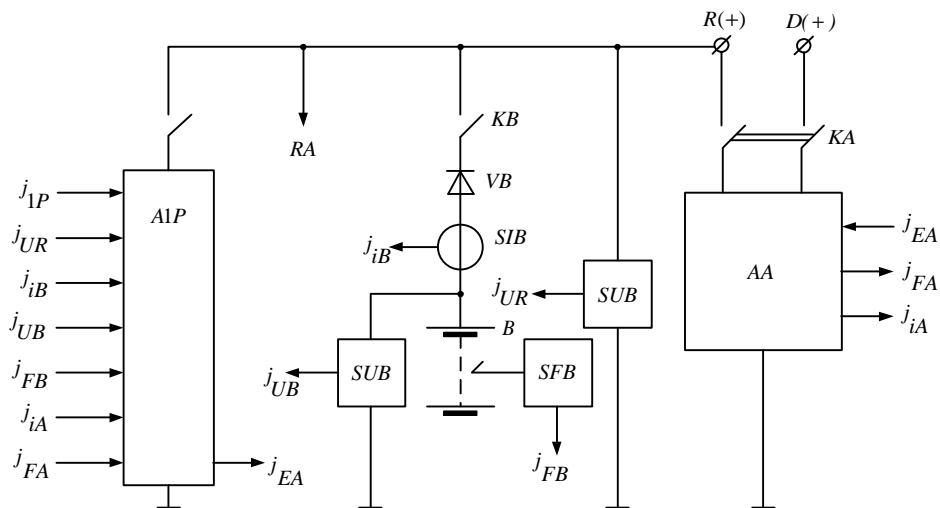


Рис. 2. Система бесперебойного питания вспомогательных нагрузок электровоза

Возможно также питание устройства AA от тяговой цепи в случае торможения электровоза, когда основная часть энергии торможения гасится в тормозных резисторах RB , а часть поступает в фильтровый конденсатор CZ и откуда через устройство AA – поступает во вспомогательную сеть (частичная рекуперация). Таким образом, уменьшается потребление электроэнергии от аккумуляторной батареи.

Структурная схема предлагаемого тягового асинхронного электропривода и системы бесперебойного питания вспомогательных нагрузок рудничного контактно-аккумуляторного электровоза рассмотрена на рис. 3. Здесь: AA – устройство бесперебойного питания вспомогательных нагрузок электровоза и зарядки аккумуляторной батареи; AIP – микропроцессорная система регулирования и управления электровозом; B – аккумуляторная батарея (рис. 2); $D(+)$ – тяговая сеть постоянного тока; $LZ-CZ$ – фильтр; K – контакторы, автоматические выключатели; M – тяговые асинхронные двигатели; $n(+)$ –

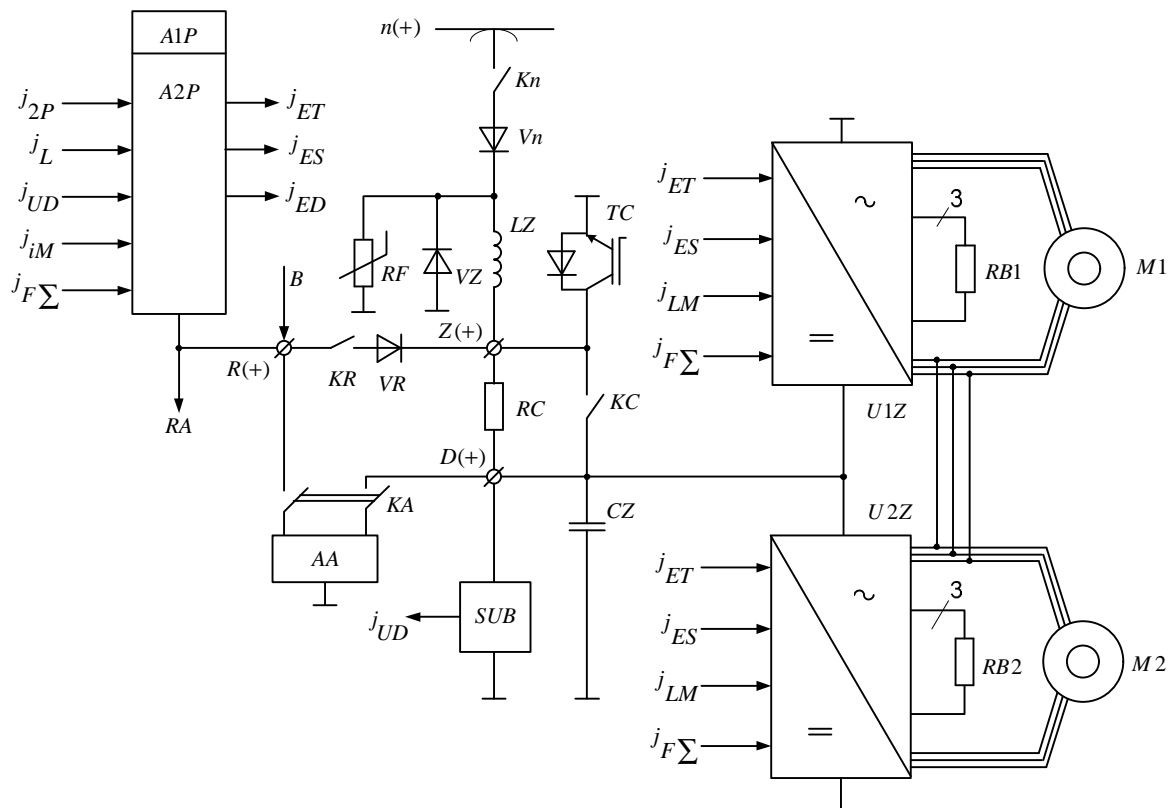


Рис. 3. Структурная схема тягового асинхронного электропривода и системы бесперебойного питания рудничного контактно-аккумуляторного электровоза

контактная сеть; $R(+)$ – вспомогательная сеть; RA – вспомогательные нагрузки; RB – тормозные резисторы; RC – резистор зарядный; RF – ограничитель импульсов перенапряжения; S – датчики сигналов; j – сигналы датчиков; TD – разрядный IGB транзистор; UZ – транзисторные тяговые преобразователи; VB, Vn, VR – диоды заградительные; VZ – диод нулевой

В исходном состоянии все контакторы и выключатели разомкнуты. Нажатием KB (рис. 2) во вспомогательную сеть ($R(+)$) подается питающее напряжение U_B от аккумуляторной батареи B . Получает питание также система управления и регулирования, датчики, драйверы и другие элементы. Система управления и регулирования осуществляет самоконтроль, обрабатывает входные сигналы и устанавливается в состояние "ГОТОВ". В состоянии "ГОТОВ" сигналы задания режимов j_P и уровней j_L отсутствуют. Получают питание вспомогательные нагрузки электровоза: двигатель тормозного компрессора с системой управления, освещение.

Работа электропривода при питании электровоза от аккумуляторной батареи протекает следующим образом. При включении KR происходит плавный заряд фильтрового конденсатора CZ через резистор RC , после чего замыкается KC и тяговая цепь готова к работе. Подаются сигналы задания режима работы j_P и уровней j_L , которые обрабатываются по законам частотного регулирования. Пуск и разгон электровоза осуществляется заданием уровня отношения U_S/f_S . Чем выше уровень, тем больше тяговый момент двигателя, тем выше темп разгона электровоза. Выбором отношения U_S/f_S при заданной частоте f_S задают скорость движения электровоза. Максимальная скорость движения при питании электровоза от аккумуляторной батареи с максимальным значением I_S определяется напряжением батареи $U_B = U_d$, преобразуемым в напряжение двигателя. На промежуточных интервалах $I_S < \max I_S$ скорость и, соответственно, f_S , могут быть увеличены вплоть до максимально допустимой при $I_S \rightarrow 0$. При движении под уклон скорость электровоза возрастает и становится выше допустимой. В работу включается система торможения. Для этого машинист снижает уровень сигнала j_L , в соответствии с которым система регулирования изменяет частоту f_S . При создании режима "тормоз" частота f_S снижается до нуля. Система электрического торможения реализует минимально возможную скорость (порядка 2–5 км/ч), а затем в работу включается механический тормоз. Все управляющие действия по формированию уровней напряжения, тока, частоты двигателей в режимах тяги, торможения, выбега электровоза выпол-

няют IGB транзисторные преобразователи $U1Z$, $U2Z$ и тормозные резисторы. При питании электровоза от аккумуляторной батареи однофазные инверторные мосты UI преобразователей UZ работают параллельно и синхронно. Исключение тягового электропривода из работы происходит следующим образом. Отключаются IGB транзисторные преобразователи $U1Z$, $U2Z$, причем не снятием управляющих сигналов j_{ET} , j_{ES} со всех полупроводниковых приборов одновременно, а поочередным отключением: сперва IGB транзисторов, осуществляющих ШИМ напряжения, а затем (после снижения токов до нуля, $j_{iM} = 0$), отключением всех остальных. Таким образом исключается возможность сброса остаточной энергии двигателей в фильтровый конденсатор CZ . Далее отключаются установки KR и KC . Разряд конденсатора CZ осуществляется через резистор RC благодаря включению IGB транзистора TC . Поскольку мощность заряда конденсатора CZ значительно меньше затраченной на торможение, то мощность TC в схеме, приведенной на рис. 3, будет еще меньше. Таким образом, мощность, габариты, стоимость узла рассеивания остаточного заряда конденсатора практически не сказываются на технико-экономических показателях работы электрооборудования тягового электропривода.

Работа электропривода при питании электровоза от контактной сети протекает следующим образом. Блок KR отключен. В случае, если по каким-то причинам он остался включенным, то при подаче в схему напряжения контактной сети $U_n \gg U_B$ заградительный диод VR предотвратит попадание высокого напряжения контактной сети в низковольтную сеть вспомогательных нагрузок. При включении K_n в тяговую цепь поступает напряжение контактной сети. Конденсатор CZ через резистор RC плавно заряжается до напряжения U_n , после чего включается KC . Далее электропривод работает как и при питании от аккумуляторной батареи. При низких уровнях выходного напряжения преобразователей используется последовательное соединение однофазных инверторных мостов. Выходное преобразованное напряжение распределяется по обмоткам двигателей равномерно ($\frac{U_d}{2} = \frac{U_n}{2}$), а максимальное значение

$U_S = 0,745 \frac{U_n}{2}$. Дальнейшее повышение выходного напряжения преобразователя достигается переключением управления преобразованием на параллельное соединение обмоток двигателей. При синхронном питании обмоток двигателей напряжение на них изменяется от нуля до $0,745U_n$, что позволяет вдвое увеличить скорость движения электровоза. Таким образом, при питании от контактной сети реализуется максимальная мощность при максимальном моменте двигателя. В случае, когда не требуется реализация максимального момента двигателя при максимальном уровне преобразованного напряжения, электропривод переводят в режим работы асинхронного двигателя с ослабленным полем. При этом напряжение на каждом двигателе поддерживается на максимальном уровне, а частота f_S увеличивается до достижения электровозом максимально допустимой скорости движения. При работе от контактной сети тяговый электропривод реализует весь диапазон скоростей движения электровоза (весь диапазон частот f_S), причем без увеличения частоты модуляции на низких частотах выходного напряжения преобразователя.

При питании электровоза от контактной сети появляется возможность исключить питание вспомогательных нагрузок от аккумуляторной батареи. Для этого предусмотрено устройство бесперебойного питания AA . Получая питание от контактной сети, устройство преобразует его в напряжение вспомогательной сети, исключив при этом питание вспомогательной сети от аккумуляторной батареи. В перспективе возможно использовать устройство AA для зарядки аккумуляторной батареи.

Отключение питания электропривода от контактной сети производится аналогично отключению от аккумуляторной батареи:

- отключается K_n ;
- отключается KC ;
- отключается преобразователь;
- разряжается конденсатор фильтра CZ .

При существующих провалах напряжения контактной сети, снижении уровня напряжения на конденсаторе CZ ниже допустимого, контакт KC отключается. После зарядки конденсатора CZ до требуемого уровня включается контакт KC и тяговая цепь вновь готова к работе.

Разработанная система тягового асинхронного электропривода контактно-аккумуляторного электровоза с подсистемой зарядки тяговых аккумуляторных батарей сочетает функции зарядки батарей и бесперебойного питания силовых вспомогательных нагрузок электровоза, что важно для повышения надежности работы системы и улучшения ее массогабаритных показателей.

Список литературы

1. Дебелый, В.Л. Основные направления развития шахтного локомотивного транспорта [Текст] / В.Л. Дебелый, Л.А. Дебелый, С.А. Мельников // Уголь Украины. – 2006. – №6. – С.30–31.
2. Синчук, О.Н. Электробезопасность рудничной откатки [Текст] / О.Н. Синчук, Э.С. Гузов, А.Г. Липаренко, А.Г. Животовский. – К.: Техника, 2008. – 188 с.
3. Синчук, О.Н. Контактно-аккумуляторный электровоз для рудных шахт [Текст] / О.Н. Синчук, Э.С. Гузов // Горная электромеханика и автоматика: Респ. межвед. Науч. –техн. сб. – 1982. – Вып. 40. – С. 25–28.
4. Синчук, О.Н. Автоматизация электровозного транспорта за рубежом при подземном способе добычи [Текст] / О.Н. Синчук, Э.С. Гузов // Обзорная информ. ин-та "Черметинформация". Сер. Автоматизация металлургического производства. – 2005. – Вып. 1. – 24 с.

Рекомендовано до друку: проф. Шкрабцем Ф.П.