

## УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ РУДНИЧНЫХ КОНТАКТНЫХ ЭЛЕКТРОВОЗОВ

### Введение

Большинство рудничных электровозов, применяемых в шахтах, имеют тяговый электропривод с контактной системой управления. Такая система позволяет осуществлять ступенчатый пуск и регулирование скорости с применением пускорегулирующего реостата, а также параллельного и последовательного соединения тяговых двигателей. На аккумуляторных электровозах используется также параллельное и последовательное включение секций тяговых батарей. Применяется реостатное электродинамическое торможе-

ние. Такие системы управления тяговым электроприводом недостаточно надежны, их работа сопровождается значительными бросками пускового и тормозного тока и усилий. При этом часто возникает проскальзывание колес электровоза относительно рельсов. Использование реостатной системы управления электроприводом вызывает повышенные потери электрической энергии.

**Цель исследований** - создать микропроцессорную систему управления, соответствующую условиям применения рудничных

электровозов и способную к адаптации и усовершенствованию при изменении условий работы электровозов в течение срока службы с минимальными затратами.

В случае использования системы подавления электрических разрядов при токосъеме возникает необходимость обеспечить дополнительные, к уже имеющимся, функции системе управления. Они вытекают из требований к системе контактного электропитания рудничных электровозов, снабженной устройствами подавления разрядов. При этом:

- должен осуществляться непрерывный контроль состояния контактов токоприемника;
- токосъемный узел токоприемника должен иметь параллельно работающие резервированные контакты;
- при нарушении токосъемных контактов должно обеспечиваться прерывание питания от контактной сети потребителей электрической энергии, размещенных на электровозе.

Исследования, проведенные в НГУ [1, 2], позволили установить, что реализация требуемых значений числа контактов  $n$ , интенсивности их восстановления  $\mu$  и нарушения  $\lambda$ , при которых заведомо достигается безыскровой токосъем в течение периода движения, обуславливает предельно высокие требования к конструкции и надежности токоприемных устройств (см. табл. 1).

Таблица 1

Предельные параметры токосъемного узла

$n$	$\lambda (c^{-1})$	$\mu (c^{-1})$
5	0,5	40
7	1,0	25
10	1,5	15

Учитывая, что осуществление безыскрового токосъема с помощью многоконтактного токоприемника и системы контроля токосъемных контактов с блокированием подачи питания на внутренние цепи электровоза перед пуском требует существенного усложнения токоприемных устройств и сохранения высоких требований к их надежности, то более выгодно и целесообразно применять простые токоприемники и более сложные системы управления. Такие системы управления могут надежно работать при существенно меньшем времени непрерывной работы токосъемного

узла  $t_{\text{ц}}$  и низких требованиях к параметрам  $\lambda$  и  $\mu$ , которые могут быть обеспечены в известных конструкциях токоприемников.

В зависимости от условий применения рудничных электровозов и требований, предъявляемых к их системам управления и электропитания, общий алгоритм управления может претерпевать изменения. Учитывая это, целесообразно обеспечить гибкость реализации и адаптации системы управления рудничных электровозов. Для этого наиболее подходит микропроцессорная система управления, адаптация которой к изменению условий эксплуатации и предъявляемым требованиям реализуется на программном уровне. При необходимости могут быть предусмотрены также наращивание и расширение аппаратной части системы при сохранении общего программируемого микропроцессорного модуля. Таким образом, модернизация системы управления электроприводом рудничных электровозов может быть обеспечена в пределах срока службы без существенного увеличения затрат.

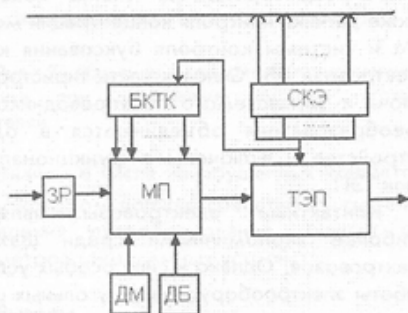


Рис.1. Функциональная схема микропроцессорной системы управления рудничным электровозом

Микропроцессорная система управления электроприводом рудничного электровоза (рис.1) функционально может быть построена на базе систем полупроводникового управляемого тягового электропривода ТЭП и подавления электрических разрядов при контактом электропитании [3]. Реализация соответствующих режимов системы управления обеспечивается микропроцессором МП и соответствующими аналого-цифровыми и цифро-аналоговыми преобразователями.

Режимы работы электропривода задаются воздействием на вход задатчика ЗР. Указанное воздействие может быть сформировано либо машинистом электровоза, либо

Таблица 2

Интенсивность процессов нарушения и восстановления токосяемных контактов

Тип токоприемника	$\rho$	$t_1, c$	$t_2, c$	$\lambda, c^{-1}$	$\mu, c^{-1}$
Шарнирный жесткий	0,258	1,27	0,443	0,78	2,25
С упругими вставками	0,434	0,417	0,317	2,39	3,15
Гибкий	0,13	0,833	0,13	1,20	7,69
Конструкции ДГИ	0,063	0,37	0,025	2,70	40,00

автоматически под влиянием экстремальных внешних условий или аварийных ситуаций, либо поступать от дистанционной автоматизированной системы управления движением поездов. В данной системе заложена возможность реализации автоматического вождения составов. От системы контактного электропитания СКЭ информационный поток поступает в блок контроля токосяемных контактов БКТК. Функции выполнения требуемого алгоритма управления, включая формирование сигнала принудительного прерывания питания, в соответствии с приведенным выше описанием обеспечиваются микропроцессором. На схеме показаны также датчики контроля концентрации метана ДМ и системы контроля буксования колес электровоза ДБ. Силовая часть тиристорного ключа и управляемого полупроводникового преобразователя объединяются в одном устройстве и включены в функциональный блок ТЭП.

Контактные электровозы являются наиболее экономичными среди шахтных электровозов. Однако в силу особых условий работы электрооборудования угольных шахт, прежде всего, опасности взрыва рудничного газа и пыли, применение этих электровозов требует выполнения определенных требований. К таким требованиям относятся:

- наличие на электровозе устройств подавления дугообразования в токосяемном узле;
- наличие средств контроля концентрации метана в атмосфере откаточной выработки и защитного отключения энергоснабжения электровозного транспорта в случае

превышения предельно допустимого максимального значения;

- наличие средств контроля скорости вентиляционной струи в откаточной выработке и защитного отключения в случае ее снижения ниже максимально допустимого значения;
- применение технологий закладки куполов в кровле откаточной выработки;
- предотвращение электрической дуги при замыкании контактной сети на крепь и боковые породы.

В табл. 2 приведены значения вероятности образования электрических разрядов при токосяеме токоприемниками различных типов и средней продолжительности существования ненарушенного  $t_1$  и нарушенного  $t_2$  состояния контактов.

Вероятности состояний этой системы определяются как решение системы дифференциальных уравнений Колмогорова (1), где  $p_1, p_2, p_3, \dots, p_k, \dots, p_n, p_{n+1}$  - вероятности состояний системы контактов:

$$\begin{cases}
 \dot{p}_1 = -n\lambda p_1 + \mu p_2; \\
 \dot{p}_2 = n\lambda p_1 - [(n-1)\lambda + \mu] p_2 + 2\mu p_3; \\
 \dot{p}_3 = (n-1)\lambda p_2 - [(n-2)\lambda + 2\mu] p_3 + 3\mu p_4; \\
 \dots \\
 \dot{p}_k = (n-k+2)\lambda p_{k-1} - [(n-k+1)\lambda + (k-1)\mu] p_k + k\mu p_{k+1}; \\
 \dots \\
 \dot{p}_n = 2\lambda p_{n-1} - [\lambda + (n-1)\mu] p_n; \\
 \dot{p}_{n+1} = \lambda p_n.
 \end{cases} \quad (1)$$

При определении надежности токосяемного узла необходимо отыскать решение

Таблица 3

Время непрерывной работы токоприемника с  $n=2$

$\lambda, c^{-1}$	$\mu, c^{-1}$	$t_{np}, c$
0,8	40	6,25
1,4	0	1,50
1,4	40	5,25
3,5	40	1,40

системы уравнений при начальных условиях:

$$\begin{aligned} p_1(0) = 1; p_2(0) = \dots = p_k(0) = \\ = \dots = p_n(0) = \dots = p_{n+1}(0) = 0. \end{aligned} \quad (2)$$

Расчеты показывают, что для токоприемника с  $n=1$  предельное время работы  $t_w$  в течение которого надежность не уменьшается ниже предельно допустимого минимального значения, при  $\lambda = 2,7c^{-1}$  весьма мало и не превышает  $0,065c$ . Данные для токоприемника с  $n=2$  приведены в табл. 3.

При наличии непрерывного контроля состояния контактов токоприемника легко обеспечить автоматическое блокирование подачи питания на внутренние цепи электровоза при отсутствии надежного контакта во всех элементах токосъемного узла. В этом случае движение каждый раз будет гарантированно начинаться при выполненных начальных условиях вида (2).

При указанном условии каждый раз после начала движения может быть допущена работа токосъемного устройства на протяжении отрезка времени  $t_w$ , в пределах которого надежность токосъемного узла не снижается ниже минимального допустимого значения, и работа системы контактного электропитания является безопасной.

Для гарантированного обеспечения безопасности в случае отсутствия средств подавления дугообразования минимально допустимое время непрерывной работы токосъемного узла должно составить:

$$t_i \geq T_{дв} \cdot k_3, \quad (3)$$

где  $k_3$  - коэффициент запаса, значение которого может быть принято равным  $k_3=2 \dots 3$ . Значение  $t_w$  должно находиться в пределах  $144 \dots 216$  мин.

Алгоритм работы устройств, контролирующих функционирование системы электропитания и управляющих ее работой, может быть изменен так, чтобы исключить противоречие между продолжительностью периода работы и ограничениями в отношении параметров надежности процесса токосъема [4].

Зависимость изменения вероятности в функции времени имеет периодичность (рис.2). Время периода составляет:

$$t_c = t_1 + t_2. \quad (4)$$

Управление прерыванием тока и возобновлением питания от тяговой сети может быть достигнуто с помощью устройства

контроля состояния токосъемных контактов и независимого источника импульсов включения и отключения [5].

Алгоритм работы системы контактного электропитания предусматривает возобновление питания по истечении промежутка  $t_2$  при условии полного восстановления контактов во всех  $n$  токосъемных элементах, если какая-либо часть из них была нарушена перед прерыванием питания.

Полное нарушение контактов токосъемного узла предотвращается путем отключения силовой цепи в случае разрыва контакта в некотором заданном числе ( $n-j < n$ ) токосъемных элементов.

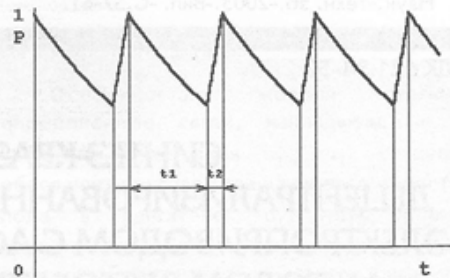


Рис. 2. Изменение вероятности нарушения контакта при прерывании питания тяговых двигателей

Значение числа ненарушенных контактов  $j$ , при котором должна срабатывать система подавления дугообразования, зависит от параметров токосъемных устройств.

### Выводы

Из результатов исследований следует, что использование разработанных принципов и алгоритмов управления позволяет обеспечить решение поставленной задачи безопасного и экономичного применения электровозного транспорта в подземных выработках шахт, опасных по газу. Данная задача решается на основе использования токосъемных устройств с резервированными токосъемными элементами, а также устройств подавления дугообразования и управления электроприводом с прерыванием напряжения питания. Система управления электроприводом подземных электровозов реализуется на основе микропроцессорных средств и бесконтактных управляемых силовых преобразователей.

## Література

1. Ivanov A.B. Electric power supply systems for mine machines // Proceedings of the 3d International Symposium MPES.-Rotterdam: Balkema:-1994.-P.125-129.
2. Бунько В.А., Иванов А.Б., Мирошник А.М., Головченко А.С., Кириллов И.А. Экспериментальные исследования гибкого токоприемника рудничного контактного электровоза // Горн. электромеханика и автоматика: Респ. межвед. науч.-техн. сб.-1982.- Вып. 41, с. 46-47.
3. Розвиток систем управління електроприводом рудникових електровозів / О.Б. Иванов, Самер Азмі Абдель-Жавад // Гірничі електромеханіка та автоматика: Наук.-техн. зб.-2003.-Вип. -С.57-61.
4. Ivanov A.B. Selection of current collection operation mode and power circuit design // Mine Planning and Equipment Selection: Proceedings of the 9th International Symposium. - Rotterdam / Brookfield: A.A. Balkema. - 2000. - P. 583-587.
5. Управление электроприводом рудничных электровозов при подавлении электрических разрядов в токосъемном узле / Иванов А.Б., Абдель-Жавад С.А. // Горн. электромеханика и автоматика: Респ. межвед. науч.-техн. сб.-2004.-Вып. 72, с. 148-156.