

Заключение

1. Рассмотрено качество пенобетонов и их теплозащитные свойства при введении твердых фаз в виде техногенных веществ производства резательных автоклавных пенобетонов, содержащих наноструктурные элементы в виде тоберморитового геля, отличающегося высоким значением энтропии.

2. Сделан вывод о том, что, вводя дисперсии твердых фаз соответствующего размера при твердении автоклавного пенобетона, возможно повысить теплозащитные свойства и качество изделий.

Библиографический список

1. **Классификация** размерностей наноструктур и свойства композиционных материалов / А. М. Сычева, И. П. Филатов. – Архитектура и строительство. – 2008. – № 4. – С. 90–92.

2. **Активированное** твердение пенобетонов / А. М. Сычева [и др.] ; под ред. д-ра техн. наук

Л. Б. Сватовской. – СПб. : Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2007. – 62 с.

3. **Пат. 2377207** Российская Федерация, МПКС04В22/08. Комплексная добавка / Сватовская Л. Б., Сычева А. М., Елисеева Н. Н. ; заявитель и патентообладатель Петербургский государственный университет путей сообщения. – № 2008132197/03; заявл. 04.08.2008 ; опубл. 27.12.2009.

4. **Пат. 2394796** Российская Федерация, МПК С04В38/10. Смесь для автоклавного пенобетона / Сватовская Л. Б., Сычева А. М., Филатов И. П., Бойкова Т. И. ; заявитель и патентообладатель Петербургский государственный университет путей сообщения. – № 2009116991/03 ; заявл. 04.05.2009 ; опубл. 20.07.2010.

5. **Пат. 2395478** Российская Федерация, МПКС04В38/10. Автоклавный золопенобетон / Сватовская Л. Б., Сычева А. М., Шершнева М. В., Сурков В. Н. ; заявитель и патентообладатель Петербургский государственный университет путей сообщения. – 2009116967/03 ; заявл. 04.05.2009 ; опубл. 27.07.2010.

УДК 629.423: 621.3.025

А. Я. Якушев, Е. В. Опарина

Петербургский государственный университет путей сообщения

ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ ПАССАЖИРСКИХ ЭЛЕКТРОВЗОВ ЭП1 И ЭП2К С ПОМОЩЬЮ МУЛЬТИПЛЕКСНЫХ КАНАЛОВ

Приведен способ оптимизации кабельного оборудования для управления силовыми электрическими аппаратами электроподвижного состава с применением мультиплексных каналов. В качестве интерфейса для обмена данными рассмотрено применение последовательного интерфейса I^2C .

мультиплексный канал, электроподвижной состав, интерфейс.

Введение

С развитием автоматизации стали развиваться системы каскадного (подчиненного) управления электроподвижного состава. В подсистемах нижнего уровня для управления электрическими аппаратами

применяются индивидуальные каналы для передачи управляющих сигналов и отслеживания состояния оборудования. Гибкое варьирование аппаратных средств дает возможность организовать вместо имеющихся индивидуальных каналов управления сеть малой автоматизации на последовательных

интерфейсах. Данная статья посвящена анализу принципов функционирования модулей ввода-вывода дискретных управляющих и диагностических сигналов, а также вопросам применения мультиплексных каналов для управления электрическими аппаратами в целях повышения помехозащищенности проводного оборудования системы управления и уменьшения его количественных и физических объемов.

1 Устройство подсистемы управления электрическими аппаратами на пассажирских электровозах ЭП1 и ЭП2К

Серийное производство электровозов ЭП1 с микропроцессорной системой управления началось в 1996 г., производство электровозов ЭП2К – спустя десятилетие. Электровозы серии ЭП1 являются первыми отечественными электровозами с бесконтактным плавным регулированием тяговых и тормозных режимов, в управлении которыми применяется микропроцессорная система. Электровозы серии ЭП2К имеют реостатно-контакторную систему с дискретными сигналами управления, формируемыми микропроцессорной системой.

Аппаратура микропроцессорной системы управления и диагностики (МСУД) электрооборудования электровозов ЭП1 и ЭП2К предназначена для автоматического управления режимами работы электропривода и электрических аппаратов электровозов.

Управление электрическими аппаратами на ЭП1 осуществляется посредством переключения большого количества вспомогательных контактов промежуточных реле, реле времени, дополнительных контактов в цепи каждой катушки электромеханического аппарата, включение которых подчинено схемной логике. В основу построения электрической принципиальной схемы электровоза ЭП2К положен принцип бесконтактного управления исполнительными аппаратами электровоза – контакторами, вентилями, реле. Из цепей управления аппаратами ис-

ключены блокировочные контакты автоматических выключателей, тумблеров, реле, что, несомненно, делает электрическую схему электровоза более совершенной [1]. Однако для управления электрическими аппаратами на обоих типах электровозов применяются индивидуальные дискретные сигналы, формируемые в модулях ввода-вывода системы управления, что приводит к большому количеству проводов.

Аппаратура МСУД ЭП1 состоит из трех контроллеров: центрального и двух технологических с разделенными функциями управления электрооборудованием и диагностики. Центральный контроллер обеспечивает обмен информацией между всеми контроллерами управления и пультом машиниста по дублированному интерфейсу *RS-485*, а диагностику состояния электрооборудования и связь с приборами АСУ безопасности – по интерфейсу *RS-232*.

В состав центрального контроллера и обоих технологических контроллеров входят ячейки вывода и ввода дискретных сигналов УД и ДИ, посредством которых осуществляется управление и диагностика состояния электрических аппаратов. Связь между микроконтроллером и ячейками осуществляется по параллельному интерфейсу *ISA* [2].

Микропроцессорная система управления электровоза ЭП2К выполнена на базе микропроцессорных блоков, объединенных в бортовую вычислительную сеть последовательным каналом *CAN*.

Управление и диагностика состояния электрических аппаратов осуществляется двумя блоками управления БУ (рис. 1), в состав которых входят периферийные узлы, разделенные по функциям: блок нагрузок БН, блок ввода дискретных сигналов БВ, блок вывода релейных сигналов БРВ, блок аналогового вывода БАВ и др. Главным элементом блока управления является блок микроконтроллера БМК, который является ведущим при опросе остальных микроконтроллеров периферийных узлов по синхронному последовательному интерфейсу *SPI* [1].

Непосредственное управление электрическими аппаратами производится посредством

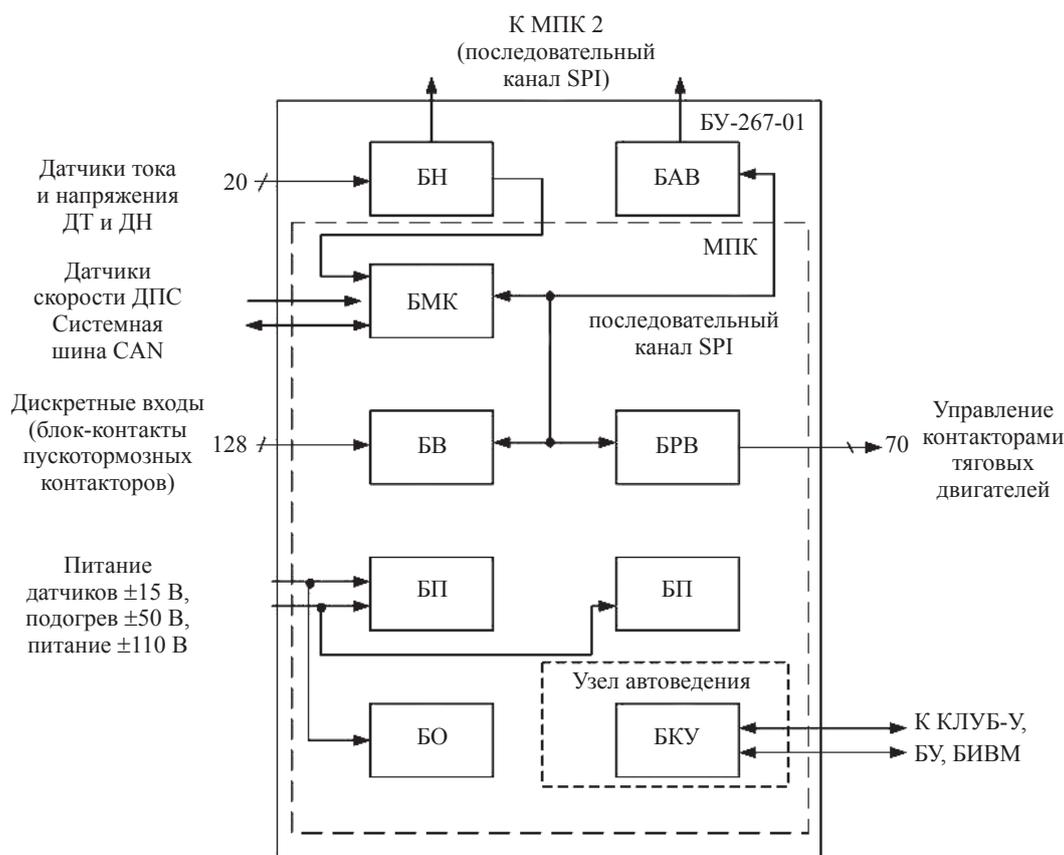


Рис. 1. Структурная схема блока управления БУ электровоза ЭП2К

блока релейного вывода БРВ, а их диагностика – блоком ввода дискретных сигналов БВ.

2 Принцип действия блоков ввода-вывода дискретных управляющих и диагностических сигналов электровозов ЭП1 и ЭП2К

Алгоритм формирования выходных дискретных сигналов на электровозах ЭП1 и ЭП2К аналогичен: при подаче управляющего сигнала от микроконтроллера на исполнительный электрический аппарат (контактор) его адрес дешифруется в БРВ, далее дешифрованный сигнал на включение аппарата подается на гальванически развязанный транзисторный ключ. Транзисторные ключи дискретных блоков управления электрическими аппаратами питаются от шкафа питания напряжением +110 В (+50 В на электровозе

ЭП1) через защитные автоматы и контакторы (рис. 2). При подаче на базу (затвор) транзистора управляющего напряжения напряжение питания +110 В (+50 В) подается на нагрузку (катушку контактора или промежуточное реле), включая таким образом аппарат [1].

Контроль фактического состояния электрических аппаратов на электровозах ЭП1 и ЭП2К осуществляется посредством дискретных сигналов, поступающих с блок-контактов аппаратов напряжением +110 В (+50 В на ЭП1) в блоки согласования уровней БСУ, установленные на каждый канал ввода сигнала. БСУ состоит из делителей и ограничителей напряжения, предназначенных для согласования входного напряжения амплитудой +110 В (+50 В) и низковольтных цепей логического управления. Повышение надежности блока обеспечивается оптоэлектронной гальванической развязкой между

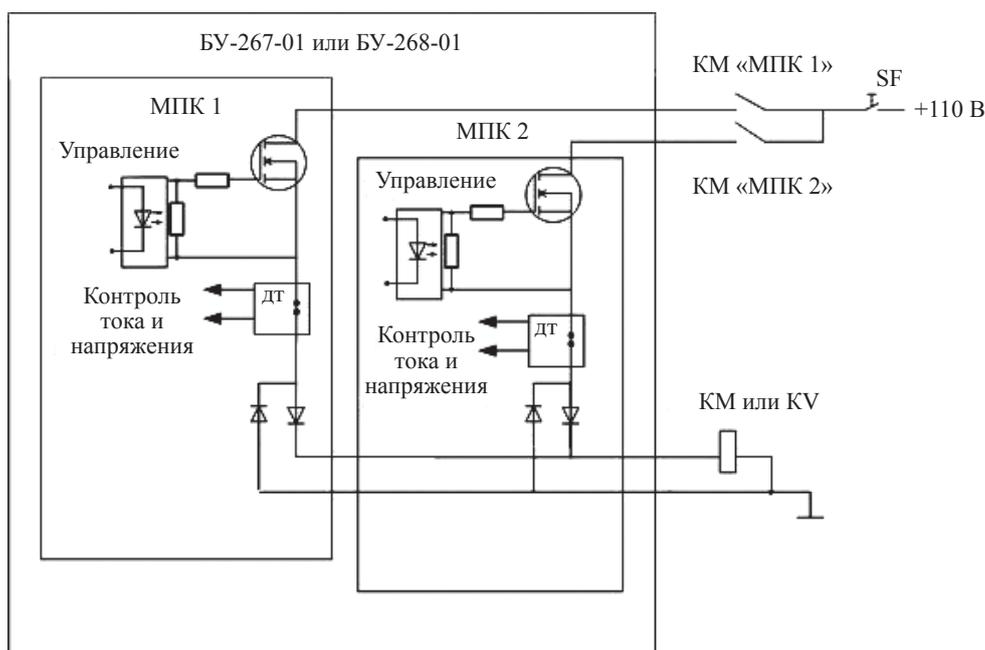


Рис. 2. Управление контакторами из блока управления микропроцессорной системы на электровозе ЭП2К

цифровыми цепями блока и цепями управления электровоза. После того как сигнал получил логическую интерпретацию, он записывается на шинных формирователях, выполняющих функцию буферных элементов. Для обеспечения необходимого уровня помехозащищенности главным микроконтроллером блока производится считывание состояния дискретных входов с шинных формирователей в течение 20 циклов за 3 мс. Получаемая в каждом цикле опроса информация о состоянии того или иного входа накапливается в программных счетчиках. По окончании последнего цикла измерения производится анализ накопленной информации с целью определения нового состояния для каждого входа. При этом новое состояние считается достоверным, если оно было зафиксировано не менее 15 раз, в противном случае сохраняется прежнее состояние, полученное во время циклического опроса в предыдущем цикле. Таким образом формируется пакет данных для передачи ведущему контроллеру, содержащий обновленную информацию о состоянии дискретных входов [1].

Существующая система ввода-вывода управляющих и диагностических дискретных сигналов, применяемая на электровозах ЭП1 и ЭП2К характеризуется параллельным расположением передающих проводов, когда каждому исполнительному аппарату соответствуют индивидуальный канал формирования управляющих сигналов и индивидуальный канал, несущий контрольную информацию о фактическом состоянии аппарата. Подобная организация ввода-вывода имеет следующие положительные аспекты:

- каждый канал имеет гальваническую развязку, что повышает надежность работы цифровой аппаратуры;
- индивидуальная коммуникация характеризуется высокой скоростью передачи сигналов;
- система обладает положительными эксплуатационными характеристиками.

В качестве отрицательных аспектов следует отметить:

- возникновение помех в параллельно идущих «управленческих» и «диагностических» проводах микропроцессорной систе-

мы управления вследствие внешних электромагнитных влияний;

– большой объем управляющих проводов от системы управления к исполнительным механизмам;

– увеличение количества коммуникационных линий за счет применения отдельных проводов для передачи сигналов о фактическом состоянии аппарата от его контрольных блокировок.

3 Электромагнитные влияния

Причина электромагнитных влияний на проводное «управленческое» оборудование микропроцессорной системы – возникновение поперечного электромагнитного поля, силовые линии которого расположены в плоскости, перпендикулярной направлению передачи сигналов по линии или токов в силовых кабелях. Эти силовые линии являются причиной возникновения ЭДС, потенциалов и токов в подверженной влиянию цепи. По отношению к сигналам, при помощи которых осуществляется управление, электродвижущие силы, напряжения и токи, возникшие в результате электромагнитного влияния, являются помехами.

Источниками электромагнитных влияний могут быть соседние провода, тогда влияние называется взаимным, или высоковольтное оборудование, тогда влияние называется внешним [3].

Большое влияние на интенсивность возникновения помех оказывает близость расположения проводов в зоне влияния высоковольтного оборудования.

Внешние электромагнитные влияния, образованные индуцированием ЭДС от внешних электромагнитных полей на провода микропроцессорной системы управления, расположенные в высоковольтной камере (ВВК) электровоза, можно оценить по переходным процессам в силовых цепях.

К каждому коммутационному аппарату в ВВК подведен низковольтный управляющий провод от микропроцессорной системы управления, а от вспомогательных бло-

кировок каждого аппарата в микропроцессорную систему проходит провод, несущий информацию о его фактическом состоянии. В непосредственной близости от этих проводов расположены силовые коммутационные аппараты с максимальным рабочим напряжением 3–4 кВ. При включении и отключении этих аппаратов в коммутируемой ими цепи возникает скачок тока, который вызывает изменяющееся электромагнитное поле. Это поле создает помехи в проводах, идущих от блокировок аппарата в микропроцессорную систему управления.

Индуктивность прямого длинного проводника определяется известным выражением:

$$L = \frac{\mu_0 l}{2\pi} \left(\ln \frac{2l}{r} + \frac{3}{4} \right).$$

Индуктивность L_1 медного провода микропроцессорной системы сечением $0,75 \text{ мм}^2$ и длиной 20 м равна $52,1 \cdot 10^{-6}$ Гн, индуктивность L_2 медного силового кабеля сечением 76 мм^2 составляет $41,2 \cdot 10^{-6}$ Гн.

Взаимная индуктивность проводов

$$M = K_{\text{св}} \sqrt{L_1 L_2}$$

при коэффициенте связи $K_{\text{св}} = 0,5$ составляет $47 \cdot 10^{-6}$ Гн.

Ток в цепи с индуктивностью изменяется по экспоненциальному закону:

$$i = \frac{U_c - mE}{\sum L} \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right),$$

где U_c – напряжение контактной сети; m – число тяговых двигателей, соединенных последовательно; E – ЭДС вращения тягового двигателя; $\sum L$ – суммарная индуктивность цепи тяговых двигателей; T – результирующая постоянная времени цепи.

Скорость нарастания тока в момент переключения контактора аппарата определяется выражением

$$\frac{di}{dt} = \frac{U_c - mE}{\sum L} e^{-\frac{t}{T}}$$

и может достигать $500 \cdot 10^3$ А/с. При этом наведенная ЭДС в низковольтном проводе при изменении тока в силовом кабеле при коэффициенте связи $K_{св} = 0,4 \dots 0,5$ (рис. 3):

$$e = M \frac{di}{dt} = 10 \dots 15 \text{ В.}$$

Таким образом, в проводе, подверженном влиянию силовой цепи, индуцируется помеха в виде импульса, амплитуда которого пропорциональна величине взаимной индукции проводов и скорости изменения тока. Эти помехи поступают вместе с нормальными сигналами о фактическом положении аппаратов в микропроцессорную систему управления, вызывая риск неправильного прочтения информации о состоянии аппаратов.

С целью повышения помехоустойчивости контрольных диагностических цепей передача информации осуществляется током нагрузки $0,1 \dots 0,5$ А, что, в свою очередь, требует увеличения мощности элементов, согласующих уровни входных сигналов.

4 Оптимизация систем управления последовательными мультиплексными каналами

Уменьшить влияние помех, поступающих в микропроцессорную систему управления

(МПСУ), а также уменьшить объем индивидуального проводного «управленческого» и «диагностического» оборудования между МПСУ и силовыми коммутационными аппаратами можно применением такой системы ввода-вывода, при которой все электрические аппараты объединены одним последовательным каналом с микропроцессорной системой управления. По последовательному каналу могут передаваться как дискретные сигналы управления, так и сигналы из контрольных блокировок аппаратов.

Последовательный канал характеризуется меньшей скоростью передачи данных, однако в такой высокой скорости, с которой может осуществляться передача данных через современную параллельную шину, зачастую нет необходимости при обслуживании электромеханических устройств вследствие их большой инерционности. Существенным недостатком последовательной шины является также риск выхода из строя всей системы управления аппаратами в случае, если произойдет ее обрыв. Поэтому необходимо применять резервирование. Примерами применения резервированных последовательных каналов в рассмотренных системах управления электровозов являются последовательные каналы обмена данными между микроконтроллерами основных узлов и блоков по протоколам *CAN (Control Area Network)* – на ЭП2К и *RS-232, RS-485 (Recommended*

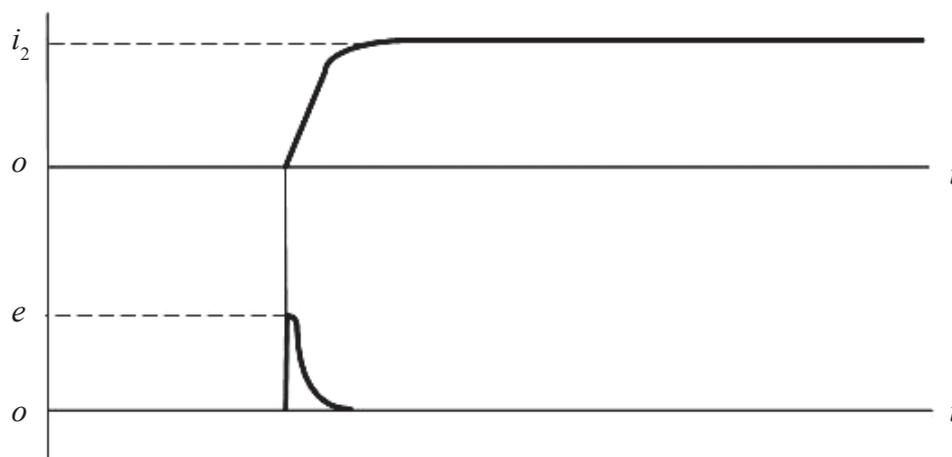


Рис. 3. Изменение тока скачком в силовой цепи электровоза и индуцированная ЭДС в проводе микропроцессорной системы, подверженном влиянию силовой цепи

Standard-232, Recommended Standard-485) – на ЭП1, сложно организованных.

Существенно упрощенная организация передачи информации управления достигается применением мультиплексной шины с использованием протокола I^2C (*Inter-Integrated Circuit*). Это связано с тем, что только один микроконтроллер может работать в режиме ведущего устройства.

Для реализации канала управления необходимо задействовать микроконтроллер и микросхемы последовательно-параллельных портов ППП (рис. 4). Микроконтроллер *ATMEGA 16* реализует протокол обмена по двухпроводному последовательному интерфейсу. В память ППП записывается адрес соответствующего электрического аппарата.

Во время записи информации от ведущего микроконтроллера в аппарате ему передаются данные включения или отключения. Во время чтения главным микроконтроллером информации от ведомого аппарата происходит считывание данных о фактическом положении контактов аппарата; таким образом, отпадает необходимость в дополнительном диагностическом оборудовании.

Каждый аппарат, подключенный к последовательному каналу, имеет адрес. Обычно адрес состоит из 7 битов. Восьмым битом передается признак направления пересылки данных. Уровень логического нуля означает передачу данных в оконечное устройство, уровень логической единицы – приём дан-

ных из оконечного устройства. После приема каждого байта выбранное периферийное устройство по линии *SDA* (*Serial Data* – последовательная линия) посылает бит подтверждения переводом напряжения на низкий уровень, чтобы показать, что оно приняло адрес и условие чтения или записи [4].

В двунаправленном канале I^2C используются две линии: последовательная линия синхронизации *SCL* (*SCLock*) и последовательная линия данных *SDA* (*SDAta*). Сигнал на линии *SCL* формируется процессором для синхронизации данных периферийного устройства. Оба вывода (*SDA* и *SCL*) обычно выполняются с открытым коллектором (ОК) или открытым стоком (ОС). Они соединены с положительным источником питания через нагрузочный резистор по схеме логического перемножения, и, таким образом, несколько устройств могут одновременно использовать шины *SDA* и *SCL* [4].

При передаче данных сигнал *SDA* можно менять, пока на линии *SCL* установлен низкий уровень. Когда на линии *SCL* установлен высокий уровень, перепады на линии *SDA* из одного уровня в другой интерпретируются как условия «старт» и «стоп» (рис. 5) [5].

На основании временной диаграммы обмена данными по интерфейсу I^2C , а также принципов работы узлов с микроконтроллерами составлен алгоритм работы схемы (рис. 6).

Дополнительный бит *ASK*, передаваемый как после байта адреса, так и после каждого

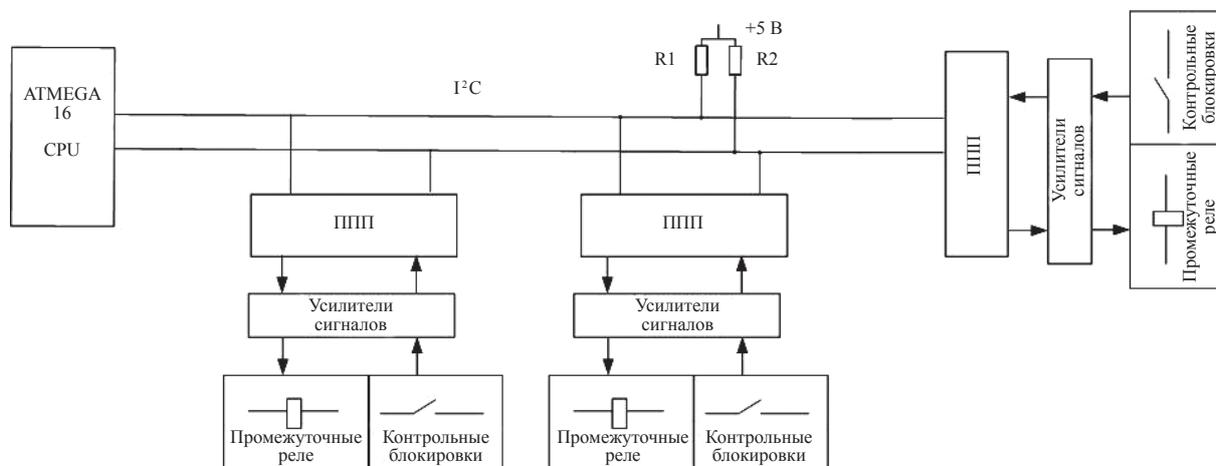


Рис. 4. Реализация шины I^2C

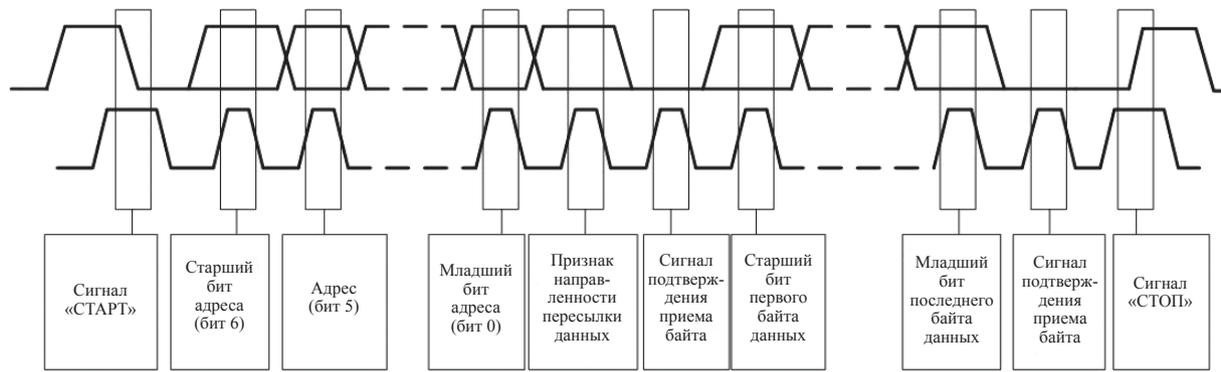


Рис. 5. Временная диаграмма обмена данными по интерфейсу I^2C

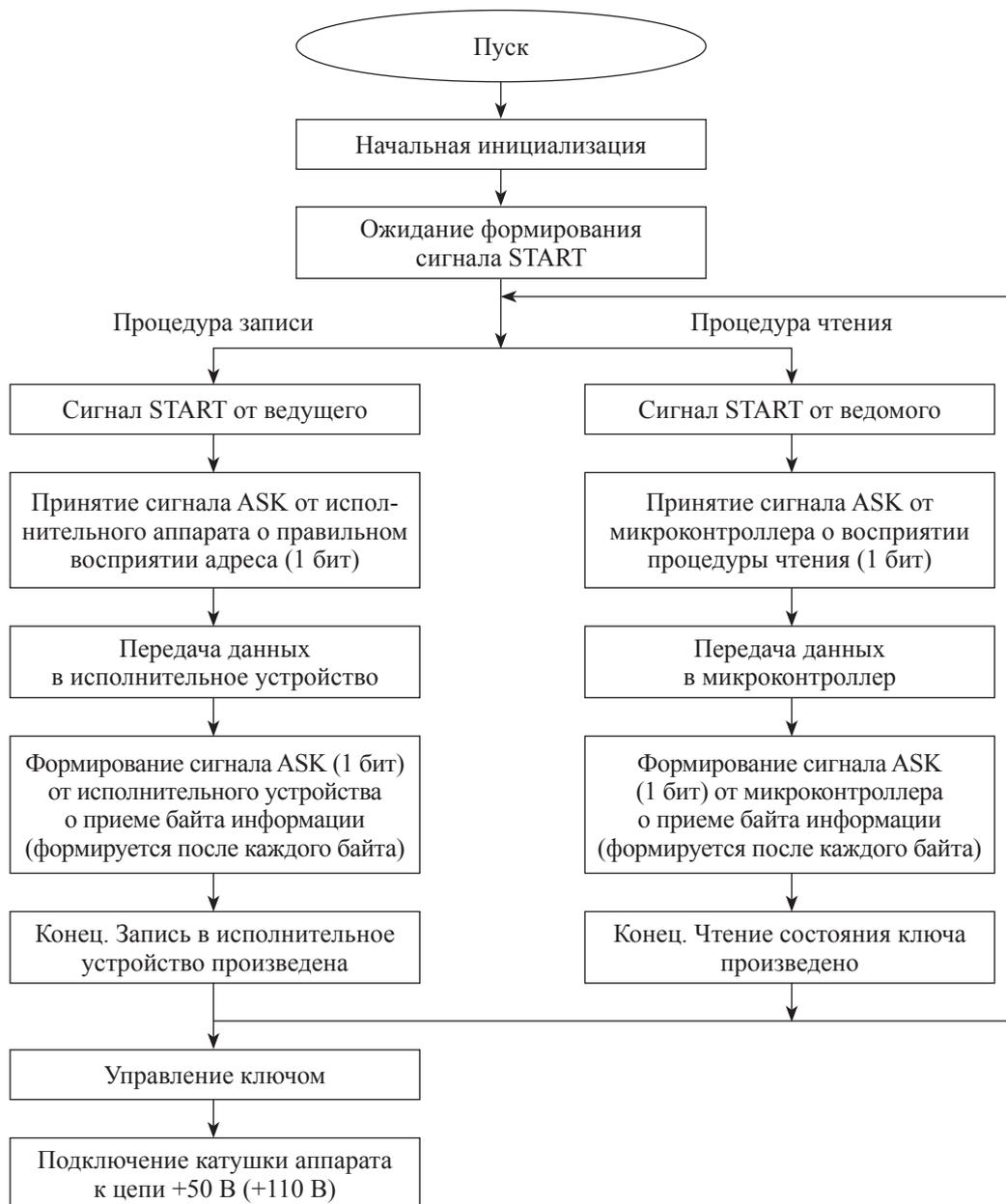


Рис. 6. Алгоритм работы последовательной шины I^2C

байта данных в протоколе I^2C , является проверочным или контрольным. Такие биты повышают избыточность кода. Избыточные биты дают возможность обнаруживать ошибки в принятой информации на основе алгебры логики и тем самым повышают помехоустойчивость передачи данных. Помехоустойчивыми называются коды, позволяющие обнаруживать или исправлять ошибки в принятом сообщении. Увеличение числа таких битов в кодовой комбинации повышает способность обнаружения ошибки кода, но приводит к некоторому снижению скорости передачи информации.

Заключение

1. Проводное оборудование бортовой микропроцессорной системы управления ЭПС подвергается внешнему влиянию электромагнитных полей, индуцирующих в нем помехи, в связи с чем требуется применение мер, обеспечивающих помехозащищенность.

2. Предлагаемая организация системы управления электрическими аппаратами с применением последовательных каналов на основе протокола I^2C уменьшит количество

проводов и позволит оптимизировать длину и близость расположения силовых и управленческих линий.

3. Применяемое в протоколе I^2C избыточное кодирование обеспечивает высокую защиту передачи сигналов.

Библиографический список

1. **Микропроцессорная система** управления магистрального пассажирского электровоза постоянного тока с коллекторными тяговыми двигателями МПСУ-007. Руководство по эксплуатации АРКИ.421455.007 РЭ. – Новочеркасск, 2010. – 225 с.

2. **Аппаратура** микропроцессорной системы управления и диагностики электровоза / И. Н. Бадьян // Современные технологии автоматизации. – 2000. – № 4. – С. 48–52.

3. **Взаимные влияния** в кабелях связи / В. О. Шварцман. – М. : Связь, 1966. – 431 с.

4. **Применение** мультиплексных каналов для управления электрическими аппаратами на электроподвижном составе / Е. В. Сиряя // Известия ПГУПС. – 2012. – № 4 (33). – С. 67–72.

5. **Микроконтроллеры AVR** : практикум / В. Я. Хартов. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2007. – 240 с.

УДК 620.9:621.3:536.24

Л. М. Юферева

Петербургский государственный университет путей сообщения

ПРИБЛИЖЕННЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОТДАЧИ ПРИ КОНДЕНСАЦИИ ПАРА НА ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ НАКЛОННОГО ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО КОНДЕНСАТОРА

Рассматривается задача о накоплении и стекании конденсата на внутренних поверхностях (далее – поверхностях конденсации) отрезка наклонной цилиндрической трубы с плоской заглушкой на верхнем торце. Температура насыщенного пара в полости трубы считается постоянной. Распределение температур по поверхностям конденсации считается заданным. Течение конденсата считается ламинарным и происходит только под действием силы тяжести. Передача теплоты от пара к стенке обусловлена только молекулярной теплопроводностью конденсата.

Разыскивается функция распределения толщин конденсата по внутренним поверхностям конденсатора, позволяющая оценить коэффициент теплоотдачи при конденсации пара.