

На правах рукописи



ОСЬКИНА МАРИЯ АЛЕКСАНДРОВНА

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗВИТИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ
ВОЗМОЖНОСТЕЙ СВЕТОДИОДНЫХ СВЕТОФОРОВ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

05.22.08 – Управление процессами перевозок
(технические науки)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Екатеринбург
2017

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Уральский государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ ВО УрГУПС)

Научный руководитель доктор технических наук, профессор
Сергеев Борис Сергеевич

Официальные оппоненты:

Розенберг Ефим Наумович, доктор технических наук, профессор; открытое акционерное общество «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте», первый заместитель генерального директора (ОАО НИИАС);

Ковкин Алексей Николаевич, кандидат технических наук; федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», старший научный сотрудник кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» (ФГБОУ ВО ПГУПС)

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ ВО СамГУПС)

Защита состоится «19» апреля 2017 года в 14:00 на заседании диссертационного совета Д 218.013.01 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уральский государственный университет путей сообщения» по адресу: 620034, Екатеринбург, ул. Колмогорова, д. 66, ауд. Б2-15 – зал диссертационных советов.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке и на сайте федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уральский государственный университет путей сообщения». Адрес сайта, на котором размещена диссертация и автореферат: <http://www.usurt.ru>.

Автореферат диссертации разослан «14» марта 2017 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Тимухина Елена Николаевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В настоящее время на железных дорогах РФ происходит массовая планомерная замена светофоров с лампами накаливания на светодиодные, поскольку последние обладают большей надежностью работы и долговечностью функционирования, а их энергопотребление существенно ниже.

Однако данный процесс сдерживается из-за ряда существенных проблем.

Одна из них связана с противоречием, заключающемся в невозможности одновременно обеспечить достаточно высокие работоспособность и энергетическую эффективность при замене ламповых светофоров на светодиодные в уже действующих системах управления и электропитания устройствами автоматики и телемеханики на железнодорожном транспорте (ЖДТ) с помощью постоянного тока.

Другая заключается в существенном ограничении длины линий управления и электропитания для светодиодных светофоров по сравнению с ламповыми вследствие возникновения эффекта засветки ненадлежащего показания из-за влияния существующих в кабельных линиях паразитных электромагнитных связей при электрической централизации переменного тока. Это связано с различием принципов функционирования светодиодной матрицы (СДМ) и лампы накаливания.

По этой же причине становятся актуальными проблемы, связанные с контролем функционирования и определением работоспособности светодиодных светофоров для существующих систем автоматики и телемеханики на ЖДТ.

Также в настоящее время отсутствуют перспективные технические решения по замене металлосодержащих стационарных сигнальных кабельных линий управления светофорами на волоконно-оптические линии связи (ВОЛС), использование которых позволило бы решить проблему влияния паразитных электромагнитных связей на работу светофоров.

Решение перечисленных выше проблем подтверждает актуальность диссертационного исследования.

Степень разработанности темы исследования. В области исследований проблем разработки и внедрения светодиодных светофоров и светодиодной техники наибольший вклад был внесен учеными и инженерами следующих организаций и вузов: ВНИИЖТ, МИИТ, НИИАС, ТрансСигнал, УОМЗ, УрГУПС и др. Среди оте-

чественных ученых и инженеров в этом отношении следует отметить: В.И. Есюнина, Ю.И. Зенковича, В.М. Лисенкова, М.А. Мурашову, А.Б. Никитина, Ю.Ю. Пусвацета, Е.Н. Розенберга, Е.О. Савельева, Вл.В. Сапожникова, Б.С. Сергеева, С.А. Щиголева. Среди зарубежных ученых – J.D. Vulough, P. LeMunh, M. Moley, J. Munro, S. Nakamura и др. В своих исследованиях автор опирался на их работы, а также на практические результаты других отечественных и зарубежных ученых и инженеров.

Целью диссертационной работы является разработка и научное обоснование решений, направленных на совершенствование светодиодных светофоров железнодорожного транспорта и схем управления ими при условии обеспечения безопасности перевозок.

Поставленная цель достигается решением следующих задач:

1. Провести научный анализ устройства существующих светодиодных светофоров и систем управления ими с выявлением недостатков, влияющих на их долговечность, работоспособность, а также на безопасность перевозок в целом.

2. Научно обосновать и разработать устройства светодиодных светофоров, в которых выявленные недостатки устранены.

3. Предложить и научно обосновать способы управления и питания стационарных светодиодных светофоров, позволяющие исключить засветку ненадлежащего показания светофора и существенно увеличить длины сигнальных кабелей.

4. Разработать методы контроля работоспособности СДМ светофора в холодном состоянии, а также усовершенствовать методы контроля функционирования СДМ в режиме излучения, позволяющие исключить влияние электромагнитных помех в сигнальных и питающих кабельных линиях на безопасность перевозок.

5. Предложить и научно обосновать принципы управления стационарными светофорами по ВОЛС.

Объектом исследования являются устройства автоматики и телемеханики на линиях и станциях, устройства, обеспечивающие безопасность перевозок.

Предмет исследования: светофоры железнодорожного транспорта, устанавливаемые на перегонах и станциях сети железных дорог, и схемы управления ими.

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем.

1. Научно обоснованы процессы работы СДМ, позволяющие повысить долговечность и работоспособность светодиодного светофора. Предложено устройство светофора с резервированием элементов СДМ.

2. Показано, что разработанные и научно обоснованные автором способы удаленного управления и питания стационарных светодиодных светофоров позволяют исключить засветку ненадлежащего показания светофора и увеличить расстояние до светофора путем увеличения длины сигнальных и питающих кабельных линий за счет уменьшения влияния электромагнитных помех в них.

3. Доказано, что предложенные автором методы позволяют за счет использования ранее не применяемых физических свойств *p-n* переходов определять работоспособность СДМ светофора в холодном состоянии и за счет исключения влияния электромагнитных помех в сигнальных и питающих кабельных линиях осуществлять контроль его функционирования в режиме излучения.

4. Научно доказано, что использование ВОЛС с предложенным безопасным элементом для передачи сигнала управления светофорами позволяет обеспечить выполнение требований по безопасности перевозок.

Теоретическая и практическая значимость работы определяется следующими полученными результатами.

1. Разработаны новый принцип реализации и практические схемы резервированных светодиодных светофоров, позволяющие повысить их долговечность и работоспособность.

2. Предложены направления реализации схем удаленного управления светодиодными светофорами с питанием от переменного напряжения, в которых принципиально исключена засветка ненадлежащего показания светофора. Использование предложенных способов также позволяет увеличить длину сигнальных кабелей управления светофорами, а значит и расстояние до светофора.

3. Разработаны схемы определения работоспособности в режиме холодного состояния и контроля функционирования светофора с питанием от переменного напряжения в режиме излучения.

4. Предложенные структурные схемы реализации управления светофорами по ВОЛС обеспечивают выполнение требований по безопасности перевозок.

Методология и методы исследования. В ходе исследования автором применялись методы классической теории линейных электрических цепей, физического моделирования электронных и электрических схем и устройств, принципы анализа нелинейных электронных элементов и основы теории физических процессов в полупроводниковых приборах.

Положения, выносимые на защиту:

1. Устройство научное обоснование процессов работы СДМ светофора с резервированием элементов.
2. Способы удаленного управления и питания стационарных светодиодных светофоров, позволяющие исключить засветку ненадлежащего показания и существенно увеличить длины сигнальных кабелей.
3. Методы определения работоспособности СДМ светофора в холодном состоянии с использованием физических свойств *p-n* переходов и методы контроля функционирования СДМ в режиме излучения.
4. Принципы управления светофорами по ВОЛС с использованием предложенного безопасного элемента, обеспечивающие выполнение требований безопасности перевозок.

Степень достоверности и апробация результатов. Результаты обоснованы теоретически и подтверждены экспериментальными исследованиями с использованием корректных математического аппарата и методики лабораторного макетирования электронных схем. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались: на четвертой научно-технической конференции с международным участием «ИСУЖТ» (Москва, 2015), периодических научных семинарах аспирантов и кафедральных семинарах УрГУПС (Екатеринбург, 2014, 2015), IX Международной научно-практической конференции «Наука и образование – транспорту» (Самара, 2016), расширенном заседании кафедры «Электрические машины» (Екатеринбург, 2016).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 8 статей (из них 4 в изданиях, входящих в «Перечень изданий, рекомендованных ВАК для публикации научных результатов диссертаций») и 5 патентов РФ.

Объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, перечня основных сокращений и обозначений, списка литературы, состоящего из 110 наименований. Текст диссертации содержит 120 страниц, включает 43 рисунка.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность выбранной темы диссертации, степень ее разработанности, сформулированы цель и задачи работы, представлена научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, описываются методология и методы исследований, приведены положения, выносимые на защиту, определены степень достоверности и апробация результатов работы.

В первой главе раскрывается степень разработанности проблемы. Проведен анализ научной литературы и направлений исследований в области создания и развития светодиодных светофоров ЖДТ. Рассматриваются история и этапы внедрения светодиодных светофоров на отечественных и зарубежных железных дорогах.

Светодиодные светофоры представляют собой СДМ, состоящие из нескольких параллельных цепей с последовательным соединением нескольких единичных светодиодов в каждой, с формированием требуемой величины тока через светодиоды при помощи активного резистора, линейного стабилизатора постоянного напряжения, реактивных элементов (конденсаторов или катушек индуктивности), а также микроэлектронных драйверов.

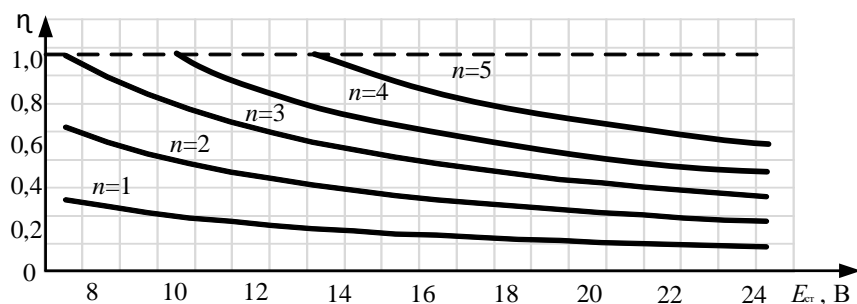
Анализ работы таких светодиодных светофоров показал, что они обладают невысокой энергетической эффективностью. Были рассмотрены существующие варианты решения данной проблемы.

Рассмотрены возможные технические решения светодиодных светофоров, основанные на смешении цветов светодиодов, имеющих различный цвет излучения. Эти устройства позволяют при наличии в схеме двух типов светодиодов получать три цвета излучения.

Также определены направления развития в области расширения функциональных возможностей, улучшения технических, энергетических и эксплуатационных показателей и возможностей практической реализации светодиодных светофоров.

Во второй главе проанализирована работа СДМ, применяемых в светодиодных светофорах ЖДТ, управление из электропитанием которых осуществляется постоянным напряжением. Выявлены их недостатки, связанные с долговечностью и энергетической эффективностью. Предложен новый принцип реализации СДМ, в котором устранены выявленные недостатки.

Выполнено исследование характеристик существующих светодиодных светофоров. Показано, что они обладают невысокой энергетической эффективностью (рисунок 1).



n – количество последовательно включенных светодиодов в параллельной цепи СДМ

Рисунок 1 – Зависимость КПД (η) светодиодного светофора от напряжения питания СДМ ($E_{ст}$)

График показывает, что увеличение n повышает КПД светофора. Однако это приводит к одновременному снижению долговечности работы СДМ. Это противоречие исключается в предложенной схеме резервированного светофора (рисунок 2).

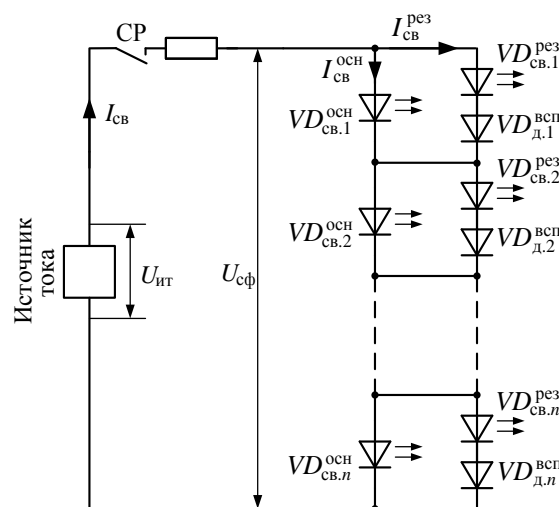


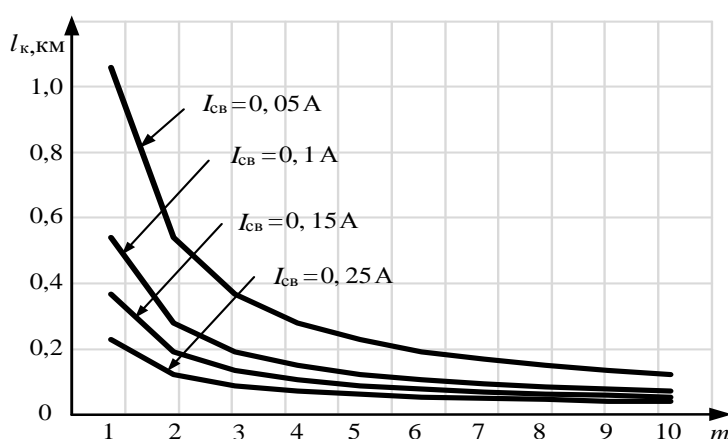
Рисунок 2 – Схема резервированного светодиодного светофора

Исследование работы этой схемы выполнено графоаналитическим методом. В результате получено уравнение, определяющее условия работоспособности схемы при технологических и температурных разбросах параметров вольтамперных характеристик (ВАХ) светодиодов и диодов СДМ:

$$\begin{aligned} & \left[\Delta U_{\text{д0}} \ 1 \pm \delta^U \right]^{\text{BCП}} + \left[\Delta U_{\text{д0}} \ 1 \pm \delta^U \right]^{\text{PEЗ}} + \\ & + I_{\text{CB}} \left[R_{\text{дФ}} \ 1 \pm \delta^R \right]^{\text{BCП}} + \left[R_{\text{дФ}} \ 1 \pm \delta^R \right]^{\text{PEЗ}} > \left[\Delta U_{\text{д0}} \ 1 \pm \delta^U \right]^{\text{OCH}} + I_{\text{CB}} \left[R_{\text{дФ}} \ 1 \pm \delta^R \right]^{\text{OCH}}, \quad (1) \end{aligned}$$

где $\Delta U_{\text{д0}}$, $R_{\text{дФ}}$ – нормированные параметры ВАХ вспомогательных, основных и резервных светодиодов и диодов, В, Ом; δ^U и δ^R – относительное изменение падения напряжения на светодиоде или диоде и изменение их дифференциального сопротивления вследствие разброса технологических параметров и изменения температуры корпуса кристалла; I_{CB} – ток, протекающий через светодиоды и диоды, А.

Предложенный светодиодный светофор за счет резервирования элементов имеет большую долговечность работы, а за счет большого числа последовательно включенных светодиодов в СДМ появляется возможность увеличения напряжения питания. Это приведет к закономерному снижению тока, протекающего через светодиоды, что даст возможность существенно увеличить длину сигнальных кабелей, (рисунок 3). Здесь значение $m=1$ соответствует схеме резервированного светофора.



m – количество параллельно включенных светодиодов СДМ; $l_{\text{к}}$ – длина сигнального кабеля, км; I_{CB} – ток, протекающий через светодиоды, А.

Рисунок 3 – Зависимость длины кабеля от параметров СДМ

В третьей главе исследованы вопросы повышения работоспособности и энергетической эффективности светодиодных светофоров переменного напряжения, проведен анализ влияния емкостей между соседними парами жил сигнальных кабелей, которые определяют возможность появления засветки ненадлежащего показания светофора, а также предложены способы ее устранения.

Эквивалентная схема взаимодействия электрических сигналов в кабеле приведена на рисунке 4.

Здесь представлены два излучателя: Изл.1, который не должен излучать при включенном состоянии контактов сигнального реле CP2, и Изл.2, который в этом случае функционирует в режиме излучения. Задачей обеспечения безопасного режима работы светофора является выполнение условия: $U_{H1} < U_{CB \text{ доп}}$, где U_{H1} – напряжение на входе Изл.1, В; $U_{CB \text{ доп}}$ – допустимое напряжение на входе Изл.1, при котором обеспечивается отсутствие его излучения, В.

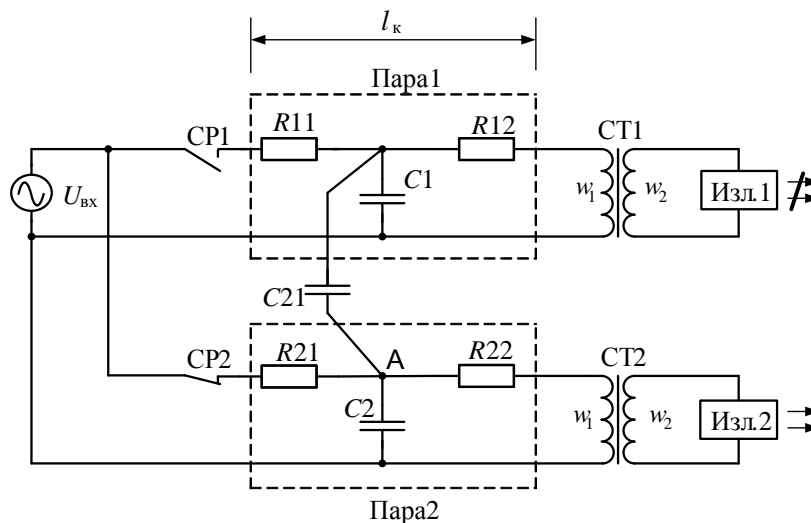


Рисунок 4 – Эквивалентная схема взаимодействия двух пар жил сигнального кабеля

Исходя из схемы на рисунке 4, напряжение на входе Изл.1 определяется:

$$U_{H1} = \frac{U_A R_{H1}}{R_{H1} + R12} \left[1 - \frac{X_{21}}{X_{21} + \frac{R_{H1} + R12}{R_{H1} + R12 + X1}} \right]. \quad (2)$$

При этом:

$$U_A = U_{BX} \left[1 - R_{21} \frac{X_2 + \frac{R_{21} \left(X_{21} + \frac{R_1 X_1}{R_1 + X_1} \right)}{R_{21} + X_{21} + \frac{R_1 X_1}{R_1 + X_1}}}{\frac{X_2 R_{21} \left(X_{21} + \frac{R_1 X_1}{R_1 + X_1} \right)}{R_{21} + X_{21} + \frac{R_1 X_1}{R_1 + X_1}}} \right], \quad (3)$$

где U_{BX} – напряжение источника питания, В; R_{H1} – сопротивление излучателя Изл.1, Ом; $R_1 = R_{21} + R_{H1}$, Ом; $X_1 = \frac{1}{2\pi f C_1}$, Ом; $X_2 = \frac{1}{2\pi f C_2}$, Ом; $X_{21} = \frac{1}{2\pi f C_{21}}$, Ом; R_{11} , R_{12} , R_{21} выражают половину суммарного активного сопротивления прямой и обратной жил первой и второй пар кабеля соответственно, Ом; f – частота питающего напряжения, Гц; C_1 , C_2 , C_{21} – паразитные емкости, возникающие между жилами и парами жил сигнального кабеля, Ф.

Один из примеров расчета (рисунок 5), выполненный по уравнениям (2) и (3), показывает изменение напряжения U_{H1} в зависимости от длины сигнального кабеля l_k при различных величинах емкости между парами жил сигнального кабеля C_k .

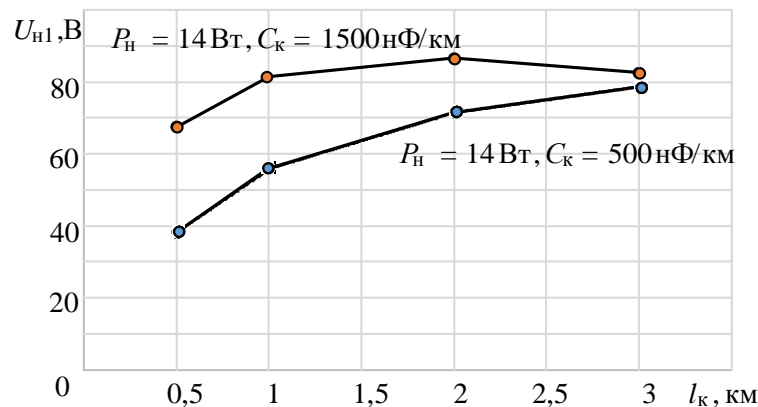


Рисунок 5 – Зависимость напряжения на излучателе Изл.1 от длины сигнального кабеля l_k

Выполненный численный анализ уравнений (2) и (3) показывает, что рассматриваемые схемы централизованного управления светофорами невозможно приме-

нять в станционных системах при длинах реальных сигнальных кабелей более 0,8–1,0 км из-за появления засветки ненадлежащего показания светофора.

Для устранения этого недостатка предложены несколько способов. Сущность некоторых из них заключается в том, что путем введения контактов вспомогательного реле ВР исключается подача напряжения на Изл.1. При этом реле ВР управляется с поста электрической централизации. То есть при практической реализации этого способа требуется введение дополнительных (одной или двух) жил сигнального кабеля. Другие способы не требуют введения дополнительных жил сигнального кабеля. При этом по основной паре жил для Изл.1 передается два вида напряжений: постоянное (для управления реле ВР) и переменное (для питания излучателя).

Таким образом, результаты выполненного анализа дают возможность, с одной стороны, определить максимально возможную длину сигнального кабеля, а с другой, выбрать оптимальный способ управления удаленными светофорами.

В четвертой главе выполнено исследование устройств контроля функционирования и определения работоспособности светодиодных светофоров при питании их переменным напряжением. При решении этой задачи рассмотрены два режима работы светофора. Первый заключается в контроле величины тока, протекающего через СДМ во время ее излучения. Второй – в обеспечении контроля работоспособности СДМ при отсутствии протекающего через нее тока (контроль «холодного» состояния).

Эквивалентная схема управления светофором, соответствующая первому режиму работы, приведена на рисунке 6. Здесь включенное состояние огневого реле ОР соответствует наличию номинального значения тока через излучатель.

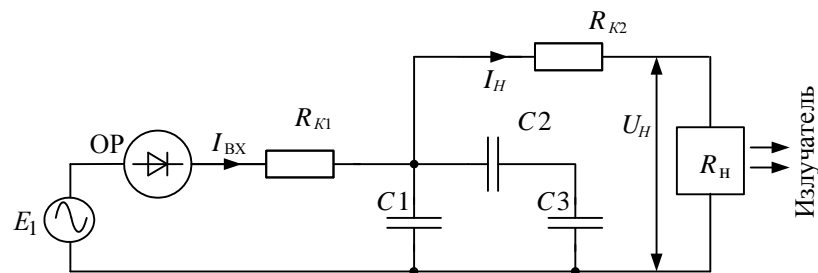


Рисунок 6 – Эквивалентная схема управления светофором, соответствующая режиму контроля его функционирования

Значение входного тока схемы, протекающего через обмотку огневого реле, находится из выражения:

$$\dot{I}_{\text{вх}} = \dot{E}_1 \left[R_{K1} + R_{\text{ОР}} + \frac{\left(\frac{1}{j\omega C1} \right) \frac{1/C2 + 1/C3}{1} R_{K2} + R_H}{1/C1 + 1/C2 + 1/C3} \right]^{-1} \cdot \left[\left(\frac{1}{j\omega C1} \right) \frac{1/C2 + 1/C3}{1} + R_{K2} + R_H \right] \quad (4)$$

А ток, протекающий через излучатель, равен:

$$\dot{I}_H = \frac{R_{K1} + R_{\text{ОР}}}{R_{K2} + R_H} \left\{ \dot{E}_1 \left[R_{K1} + R_{\text{ОР}} + \frac{\left(\frac{1}{j\omega C1} \right) \frac{1/C2 + 1/C3}{1} R_{K2} + R_H}{1/C1 + 1/C2 + 1/C3} \right]^{-1} \right\} \cdot \left[\left(\frac{1}{j\omega C1} \right) \frac{1/C2 + 1/C3}{1} + R_{K2} + R_H \right] \quad (5),$$

где R_{K1} , R_{K2} – резисторы, выражающие половину суммарного активного сопротивления прямой и обратной жил сигнального кабеля, Ом; \dot{E}_1 – напряжение источника питания, В; $R_{\text{ОР}}$ – сопротивление огневого реле, Ом; R_H – сопротивление излучателя, Ом; $C1$, $C2$, $C3$ – паразитные емкости, возникающие между жилами и парами жил сигнального кабеля, Ф.

Уравнения (4) и (5) позволяют определить входной и выходной токи схемы, на основании чего возможно решение вопроса работоспособности светофора или выбора параметров реле ОР, реализующего контроль его излучения.

В качестве примера на рисунке 7 приведены результаты расчета токов.

Здесь же показаны значения токов полного притяжения $I_{\text{п.п}}$ и отпущения $I_{\text{отп}}$ реле ОР, величины которых взяты из данных одного из типичных огневого реле.

Определение допустимых режимов работы схемы контроля излучения светофора возможно путем сравнения графиков $I_{\text{вх}} = f(C_k, l_k, P_H)$ с величинами токов $I_{\text{п.п}}$ и $I_{\text{отп}}$ и позволяет, с одной стороны, выбрать требуемый тип огневого реле, а с другой, определить возможность функционирования схемы для реально имеющихся параметров сигнального кабеля.

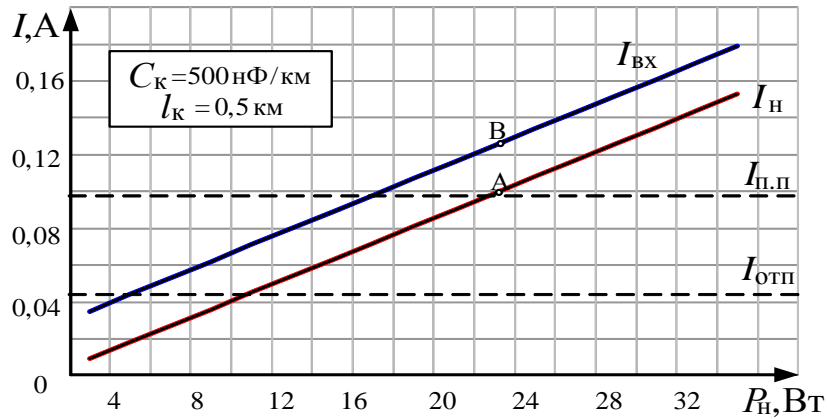


Рисунок 7 – Зависимость токов притяжения и отпущения контрольного реле и токов в схеме светофора от мощности излучателя для длины сигнального кабеля $l_k = 0,5 \text{ км}$

Определение потенциальной работоспособности СДМ при отсутствии ее излучения представляет собой нетривиальную задачу, которая в настоящее время для светодиодных светофоров полностью не решена. В основном это обусловлено различием ВАХ светодиода и лампы накаливания. Лампа накаливания допускает протекание по ней определенного значения тока, при котором ее излучение гарантированно будет отсутствовать. У светодиодов контроль потенциальной работоспособности СДМ должен осуществляться при нулевых значениях тока светодиодов.

Для реализации функции определения работоспособности СДМ можно использовать физические свойства $p-n$ перехода светодиодов, которые могут определять целостность СДМ при отсутствии протекания через светодиоды тока.

Автором предложены методы определения работоспособности СДМ в холодном состоянии. Один из разработанных методов заключается в использовании барьерной емкости $p-n$ перехода, иллюстрация функционирования которого приведена на рисунке 8.

Из рисунка 8 следует: если напряжение, прикладываемое к светодиоду в прямом направлении, будет меньше, чем величина $NU_{\text{зап}}$, то ток через светодиоды будет отсутствовать, но будет существовать барьерная емкость $p-n$ перехода. Если к светодиодам подключить источник переменного напряжения, то указанная емкость будет определять существование тока через светодиоды, и при обрыве в цепочке светодиодов ток будет равен нулю, что можно зафиксировать контрольным устройством.

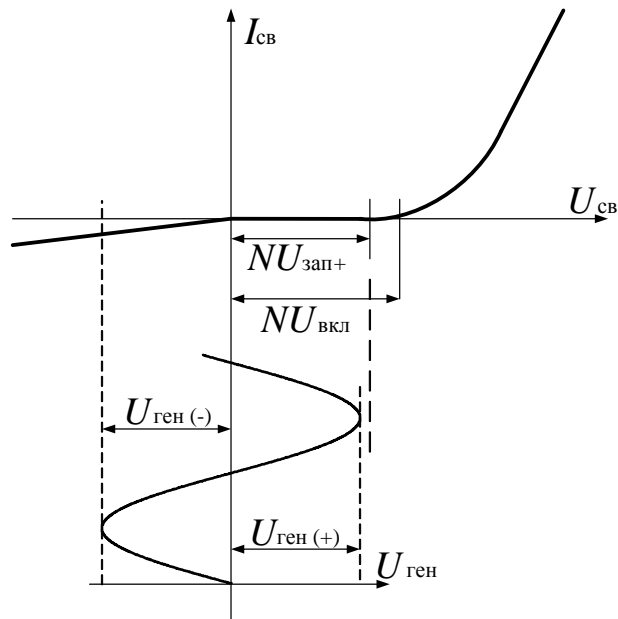


Рисунок 8– Взаимодействие ВАХ светодиодов и выходного напряжения генератора при использовании барьерной емкости $p-n$ перехода для определения работоспособности СДМ

Другой метод основан на наличии температурного потенциала $p-n$ перехода. Если количество последовательно включенных светодиодов в СДМ достаточно велико, то суммарное напряжение температурного потенциала будет вполне достаточным для его фиксации контрольным устройством. При обрыве в цепи последовательно включенных светодиодов суммарный температурный потенциал будет отсутствовать, что является признаком потенциальной неработоспособности СДМ.

Таким образом, проведенный анализ позволил определить области контроля функционирования и работоспособности СДМ, а предложенные автором методы позволили полностью решить данные проблемы.

В пятой главе рассмотрены вопросы применения ВОЛС для передачи сигнала управления светофорами. Исследования актуальны в первую очередь для стационарных светофоров с централизованным управлением от поста электрической централизации с большим объемом кабельных сетей.

При практической реализации внедрения ВОЛС для управления светофорами требуется решение двух основных проблем. Первая из них заключается в том, что при передаче и преобразовании оптического сигнала необходимо выполнение требований безопасности перевозок. Второй проблемой является невозможность переда-

чи по ВОЛС силового сигнала постоянного или переменного напряжения для питания излучателя светофора.

Схема безопасного устройства передачи информации от ВОЛС для управления излучателем приведена на рисунке 9.

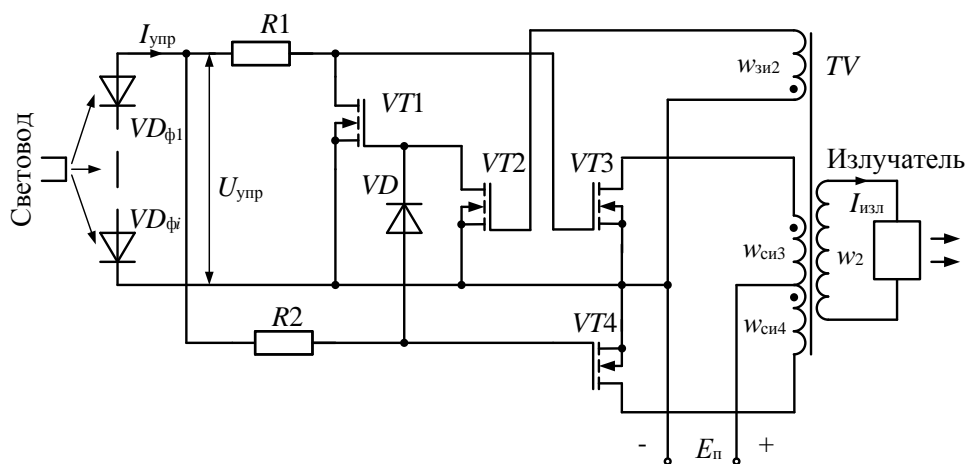


Рисунок 9 – Схема безопасного устройства передачи информации

Анализ процессов работы этой схемы показал, что она будет соответствовать предъявляемым к ней требованиям, если выполняются следующие условия:

$$N_{\text{ФД}} > \frac{\frac{P_{\text{изл}}}{SE_{\text{п}}} + U_{\text{зи пор}}}{U_{\text{ФД}}}, \quad (6)$$

$$I_{\text{УПР}} = \frac{E_{\text{УПР}} - U_{\text{Д}} - U_{\text{СИЗ}}}{R2}, \quad (7)$$

$$R1C_{\text{зи}} \ll \frac{1}{f_{\text{пр}}}, \quad R2C_{\text{зи}} \ll \frac{1}{f_{\text{пр}}}, \quad (8)$$

$$R1, R2 = F(N_{\text{ФД}}, f_{\text{пр}}, G, D). \quad (9)$$

где $N_{\text{ФД}}$ и $U_{\text{ФД}}$ – количество фотодиодов во входной цепи схемы и фото ЭДС каждого из них, В; $P_{\text{изл}}$ – мощность, потребляемая излучателем, Вт; S и $U_{\text{зи пор}}$ – крутизна ВАХ и пороговое напряжение МОП транзисторов схемы, В; $U_{\text{Д}}$ и $U_{\text{СИЗ}}$ – прямое падение напряжение на диоде VD и напряжение «сток – исток» на открытом транзисторе $VT3$, В; $R1$ и $R2$ – сопротивления соответствующих резисторов, Ом;

$C_{зи}$ – емкость «затвор–исток» МОП транзисторов, входящих в схему устройства, Ф;
 $f_{пр}$ – частота преобразования импульсного преобразователя, Гц.

Выражение (9) является целевой функцией, в состав которой, кроме указанных выше, входят аргументы G и D , которые задают требуемые показатели массы и стоимости безопасного устройства соответственно.

На рисунке 10 приведены структурные схемы реализации управления стационарными светофорами по ВОЛС.

Первая из них (рисунок 10, а) относится к управлению входными светофорами станции.

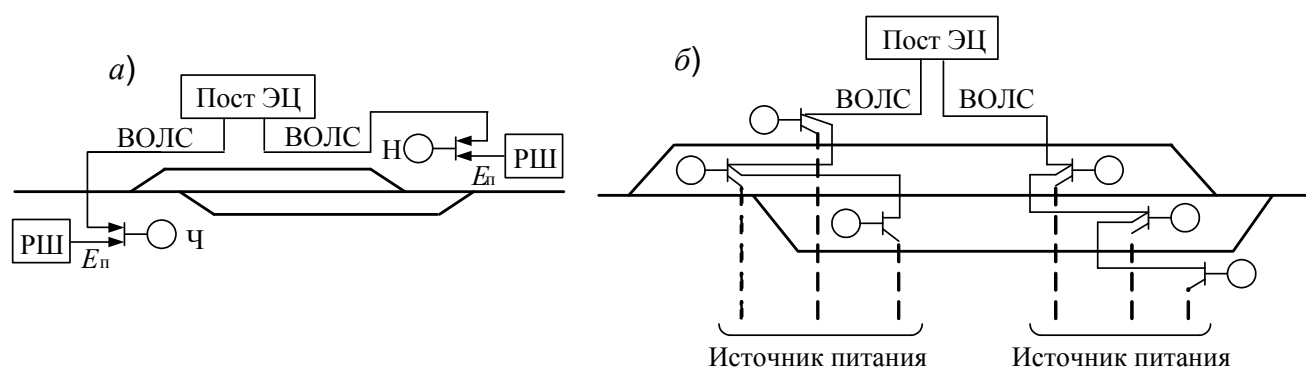


Рисунок 10 – Структурные схемы управления светфорами по ВОЛС

Очевидно, что здесь проблем с электропитанием безопасного устройства не возникает, поскольку в релейном шкафу входных светофоров всегда имеется источник постоянного напряжения, которое используется как напряжение $E_{п}$.

Структурная схема, приведенная на рисунке 10, б, может применяться для выходных светофоров станции.

В приведенной схеме для питания безопасного устройства требуются дополнительные источники питания, располагаемые в горловинах станции.

Рассмотренные выше варианты устройств с использованием ВОЛС с безопасным устройством преобразования информации и проведенный анализ ее работы показывает практическую возможность сокращения металлосодержащих кабелей в общей системе кабельных сетей станций.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенных исследований:

1. В результате проведенного научного анализа светодиодных светофоров и схем управления ими определены недостатки, влияющие на долговечность, работоспособность, а также на безопасность и бесперебойность движения поездов в целом.

2. Предложены направления улучшения характеристик светодиодных светофоров, которые заключаются в использовании схем резервирования светодиодов СДМ. Полученные результаты показали преимущества данных устройств перед известными схемами светодиодных светофоров.

3. На основании научного анализа функционирования удаленного светофора, управляемого переменным напряжением, с учетом влияния на его работу электромагнитных помех в кабельных линиях определено, что максимально допустимые длины сигнальных кабелей, при которых исключается засветка ненадлежащего показания светофора, составляют не более 1,0 км. Предложенные способы исключения подобного эффекта позволяют увеличить максимально допустимую длину сигнальных кабелей до нескольких десятков километров.

4. В результате научного анализа существующих схем контроля функционирования светофоров с управлением переменным напряжением в режиме излучения выявлено, что при больших длинах сигнальных кабелей данные схемы не обеспечивают требований по безопасности и бесперебойности перевозок. Определены критические параметры кабелей и предложены методы, которые дают возможность обеспечить работоспособность схем контроля при любых длинах сигнальных кабелей.

5. Для решения вопроса определения работоспособности СДМ при отсутствии ее излучения (контроль холодного состояния) были предложены принципиально новые методы, заключающиеся в использовании таких физических свойств p - n перехода светодиодов, как его емкость и температурный потенциал.

6. При рассмотрении проблемы применения ВОЛС для передачи сигнала управления удаленными объектами СЦБ, предложено несколько вариантов организации структуры управления станционными светофорами, и выявлены их преимущества и недостатки. Эти решения позволяют отказаться от использования металлодержакщих кабелей.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации, входящие в «Перечень изданий, рекомендованных ВАК для публикации научных результатов диссертаций»:

1. Оськина, М.А. Анализ схем управления светодиодными светофорами [Текст] / Б.С. Сергеев, М.А. Оськина // Транспорт Урала. – 2009. – № 1(20). – С. 21–24. (0,5 п.л. / 0,25 п.л.)

2. Оськина, М.А. Направления совершенствования светодиодных светофоров [Текст] / М.А. Оськина, Б.С. Сергеев, В.А. Сисин // Транспорт Урала. – 2013. – № 3(38). – С. 66–68. (0,4 п.л. / 0,13 п.л.)

3. Оськина, М.А. Принципы управления удаленными светофорами [Текст] / М.А. Оськина // Транспорт Урала. – 2015. – № 2(45). – С. 52–55. (0,5 п.л. / 0,5 п.л.)

4. Оськина, М.А. Анализ работы светофоров с удаленным управлением [Текст] / М.А. Оськина, Б.С. Сергеев // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2015. – № 2. – С. 14–17. (0,5 п.л. / 0,25 п.л.)

Патенты на изобретение:

1. Пат. 2399957 Российская Федерация, МПК G08G 1/095. Светодиодный светофор с контролем холодного состояния / Р.Ш. Валиев, Ш.К. Валиев, М.А. Оськина, Б.С. Сергеев; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО УрГУПС. – №2009123707/11; заявл. 22.06.09; опубл. 20.09.10, Бюл. № 26. – 6 с.

2. Пат. 2528523 Российская Федерация, МПК B61L 23/00. Резервированный светодиодный светофор / М.А. Оськина, Б.С. Сергеев; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО УрГУПС. – №2013128827/11; заявл. 24.06.13; опубл. 20.09.14, Бюл. №26. – 4 с.

3. Пат. 2544428 Российская Федерация, МПК B61L 5/18. Устройство управления светофором (Варианты) / М.А. Оськина, Б.С. Сергеев; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО УрГУПС. – №2013141855/11; заявл. 12.09.13; опубл. 20.03.15, Бюл. № 8. – 8 с.

4. Пат. 2550743 Российская Федерация, МПК H05B 37/02. Светодиодный излучатель / М.А. Оськина, Б.С. Сергеев; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО УрГУПС. – №2013158833/07; заявл. 16.12.13; опубл. 10.05.15, Бюл. № 13 – 3 с.

5. Пат. 2556045 Российская Федерация, МПК B61L 5/18. Светофор / М.А. Оськина, В.К. Донцов, Б.С. Сергеев.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО УрГУПС.–№2014118185/11; заявл. 05.05.14; опубл. 10.07.15, Бюл. № 19. – 4 с.

Оськина Мария Александровна

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗВИТИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ
ВОЗМОЖНОСТЕЙ СВЕТОДИОДНЫХ СВЕТОФОРОВ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

Специальность 05.22.08 – Управление процессами перевозок
(технические науки)

Подписано в печать 09.02.2017
Формат 60 x 84 1/16 Усл. печ. л. 1,2 п.л.
Заказ 65 Тираж 120 экз.

УрГУПС
620034, Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66