

УДК 656.25

**О. А. Наседкин, канд. техн. наук,
Е. В. Ледяев**

Кафедра «Автоматика и телемеханика на железных дорогах»,
Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

ИМИТАТОР ХАРАКТЕРИСТИК КАБЕЛЬНОЙ ЛИНИИ СВЯЗИ СИГНАЛИЗАЦИИ, ЦЕНТРАЛИЗАЦИИ И БЛОКИРОВКИ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ СВЕТООПТИЧЕСКИХ СВЕТОДИОДНЫХ СИСТЕМ

Описываются результаты испытаний современных устройств железнодорожной автоматики и телемеханики на примере светооптических светодиодных систем для железнодорожной светофорной сигнализации. Анализируются особенности применения светооптических светодиодных систем взамен светофорных ламп накаливания. Рассматривается эквивалентная схема кабельной линии связи сигнализации, централизации и блокировки для испытаний на работоспособность и функциональную безопасность светооптических светодиодных систем в составе аппаратуры электрической централизации и перегонных систем с централизованным размещением оборудования. Приводятся результаты измерений актуальных на сети железных дорог Российской Федерации параметров кабельной линии сигнализации, централизации и блокировки.

светодиодные светооптические системы; кабельная линия связи; электрическая емкость; параметры кабеля; эквивалентная схема замещения; макет кабельной линии связи; функциональная безопасность; имитатор; кабель парной скрутки

Введение

Необходимость применения вспомогательных средств для оценки результатов разработки современных устройств и систем железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ) на различных стадиях обусловлена спецификой элементной базы, на которой они строятся.

При проведении испытаний технических средств на основе современной элементной базы на корректность и безопасность функционирования необходимо:

- определить минимально требуемый объем проверок с учетом специфики решаемых ими задач;
- обеспечить среду функционирования испытываемых устройств;
- обеспечить возможность управления параметрами среды функционирования и тестовыми воздействиями;

– проанализировать поведение технических средств в процессе функционирования при возникновении отказов.

Очевидно, что эффективно эти задачи могут быть решены только путем разработки специализированных средств испытаний, позволяющих максимально приблизить этот процесс к реальным условиям эксплуатации.

Все это в полной мере можно отнести к применению светодиодной техники взамен традиционных источников света, широко применяемых на сети железных дорог, – ламп накаливания.

Одной из основных проблем, которая сдерживает применение светодиодных систем во всех возможных эксплуатационных вариантах (в составе стационарных и перегонных светофоров), связана с низкой пороговой энергией светодиодов [1]. Следствием этого является невозможность обеспечения безопасности в необходимых режимах функционирования светофоров путем простой замены источника света.

С учетом того, что, согласно правилам технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации, светофоры названы в качестве постоянных сигнальных приборов на железнодорожном транспорте и предназначены для обеспечения безопасности движения поездов, поскольку регламентируют допустимую скорость движения поезда по ограждаемому светофором участку и маршрут движения [2–4], вопрос обеспечения их безопасного функционирования при применении новых технологий является первостепенной задачей.

Исходя из основного назначения светофоров, связанных с их светооптическими характеристиками и схемами управления, в национальном стандарте [5] сформулирован ряд требований. В общем виде эти требования выглядят следующим образом:

- конструкция и расположение светофора должны исключать неправильное восприятие сигнального показания машинистом и не раздражать его;
- необходимо контролировать фактическое состояние источника света огня светофора;
- необходимо исключать включение ложного сигнального показания при неисправностях схемы управления и внешних влияниях.

Сложность реализации этих требований при применении светооптических светодиодных систем во многом определяется условиями их эксплуатации, а именно применением кабельных линий, длина которых может достигать 9 км. Остановимся на этом более подробно.

С середины XX в. для подачи сигнального показания в железнодорожных светофорах применяются линзовые комплекты (рис. 1), обеспечивающие необходимое распределение светового потока источника света, в роли которого выступает лампа накаливания. В начале нынешнего века большое распространение получило полупроводниковое освещение светодиодами, где световая отдача, лм/Вт (показатель экономичности энергопотребления),

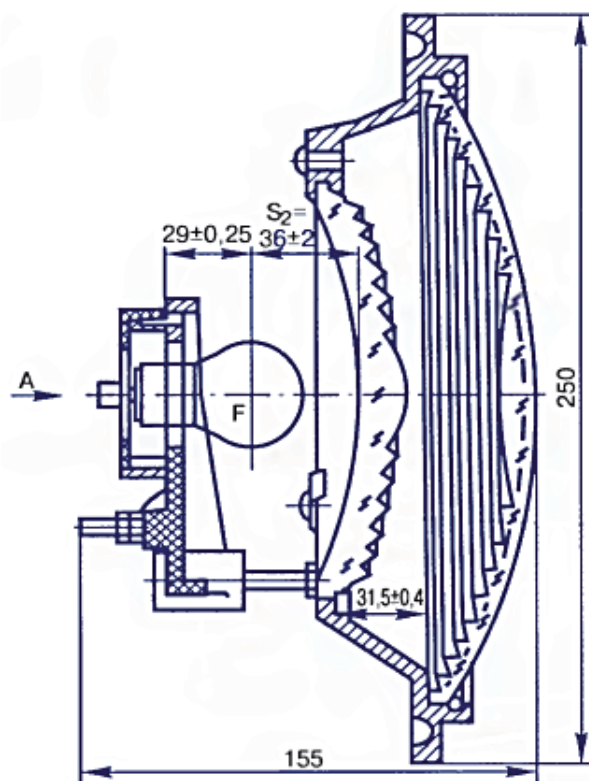


Рис. 1. Чертеж линзового комплекта

во много раз эффективнее, чем в лампах накаливания. В связи с высокой энергоэффективностью и долговечностью наметилась тенденция перехода железнодорожной сигнализации на светодиодные источники света.

В 2015 г. разработка светооптических светодиодных систем (ССС) получила свое нормативное подтверждение [5].

1 Устройство кабельной линии

Напольные устройства (светофоры, стрелочные электроприводы, рельсовые цепи и т. д.) соединяются между собой и с аппаратурой управления кабелями, которые вместе с кабельной арматурой образуют кабельную сеть. Таким образом, кабельная сеть состоит из кабеля, кабельных муфт, стоек и ящиков с соответствующим монтажом. Для подключения ССС к аппаратуре управления используются кабели сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ) с номинальным напряжением до 380 В переменного тока частотой 50 Гц. Требования к кабелям сигнализации и блокировки по рабочей емкости между жилами приведены в [6, п. 5.2.2] для кабельной продукции заводов-изготовителей.

Если вблизи провода находится другой провод, то в результате взаимодействия зарядов и токов в этих сближенных проводниках распределение

полей меняется [7]. Это изменение полей по сравнению с полями одиночного проводника называется эффектом близости. В двухпроводных цепях переменное магнитное поле провода вызывает в массе соседнего провода перераспределение плотности тока по его сечению. Поскольку кабель СЦБ состоит из нескольких жил, которые скручиваются в пару, а затем в группы (рис. 2), данный эффект является определяющим при влиянии жил друг на друга.

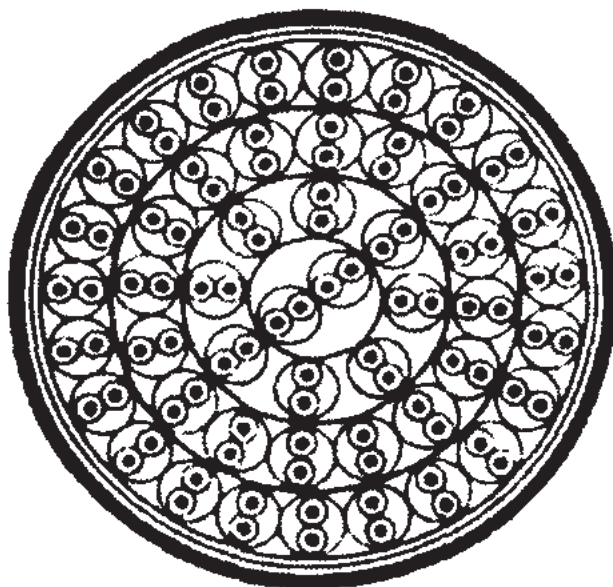


Рис. 2. Сердечники с парной скруткой жил

В кабельных линиях практически всегда объединяют различные цепи автоматики и телемеханики. Влияния между соседними цепями кабельной линии называют взаимными. В цепях могут индуцироваться опасные и мешающие напряжения и токи. Если опасные влияния могут привести к повреждению аппаратуры и поражению обслуживающего персонала, то мешающие нарушают нормальную работу оборудования.

Для характеристики цепей как влияющих их разделяют на симметричные и несимметричные. К симметричным относят однофазные двухпроводные цепи, а к несимметричным – все цепи, использующие землю в качестве одного из рабочих проводов. Полностью симметричных цепей, как показывает практика, не существует. Взаимные влияния между цепями обусловлены поперечной асимметрией, т. е. несимметричным взаимным расположением проводов (жил) влияющих цепей и цепей, подверженных влиянию геометрических размеров проводов, расстояниями между ними, а также продольной асимметрией (электрические параметры различны из-за наличия сварок, спаек, допусков по диаметру, различного расположения относительно земли). Несимметричное расположение проводов цепей друг относительно друга является основным фактором, определяющим появление электрических и маг-

нитных связей между цепями. При этом электрическая связь определяется коэффициентом электрической связи:

$$Y_{1,2} = g_{1,2} + j\omega C_{1,2},$$

где $g_{1,2}$ – проводимость изоляции между проводами цепей 1 и 2 на 1 км сближения (активная составляющая электрической связи); $C_{1,2}$ – емкость между проводами цепей 1 и 2 на 1 км сближения (емкостная связь); $j\omega C_{1,2}$ – реактивная составляющая емкости; 1 – провода влияющей цепи; 2 – провода подверженной влиянию цепи.

Поскольку в области низких частот (ниже 10 кГц), на которых работает большинство устройств автоматики и телемеханики, преобладают электрические связи (активные составляющие которых малы), то в расчетах влияний между кабельными цепями в этом спектре частот достаточно учесть только емкостную связь [7, 8]. Ёмкостная связь между цепями вызвана изменением диэлектрической проницаемости изоляции жил по длине линии, ее толщины, взаимного расположения жил и др.

На этапе развития и попыток использования светодиодов в качестве источников света для железнодорожных светофоров выявилась проблема несанкционированной подсветки при удалении источника света от источника электропитания [1]. В связи с этим в стандарт [5] было включено требование о том, что ССС не должна излучать свет (в том числе при неисправностях элементов схемы) вследствие наведенных ЭДС переменного тока через емкость между жилами кабеля при удалении системы от источника электропитания.

2 Натурные испытания кабельной линии

В процессе эксплуатации систем ЖАТ очевидным фактом является ухудшение характеристик кабельной линии связи (КЛС) [9] и появление мешающего влияния на объекты управления (огня светофора), в результате которого возможно несанкционированное подсвечивание ССС. С целью получения реальных параметров кабельной сети были проведены измерения на 20 объектах Горьковской и Северо-Кавказской железных дорог кабелей парной скрутки, уложенных в 2004 и 2013 гг. соответственно.

В процессе испытаний по методу измерения электрической емкости [10] проводились измерения токопроводящих жил, принадлежащих как к одной скрученной паре, так и к смежным парам.

Результаты измерений параметров кабельной линии СЦБ представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1. Результаты измерения параметров кабельной линии СЦБ
(Горьковская ж. д.)

№ п/п	Объект контроля	Длина кабельной линии, м	Ёмкость в паре, мкФ	Ёмкость между парами, мкФ
1	Перегон Второво – Тереховицы: светофор № 4	5000	0,295	0,220
2	Ст. Н. Новгород – Московский: светофор «Н»	3159	0,121	0,095
3	Ст. Н. Новгород – Московский: светофор «7Ч»	3394	0,130	0,103
4	Пост ЭЦ ст. Гороховец, линия модуль-концентрации Молодники	11 000	0,406	0,355
5	Пост ЭЦ ст. Суроватиха – пост ЭЦ ст. Сечуга, жилы 1К–1ОК	6371	0,244	0,179
6	Ст. Суроватиха: светофор «ЧД»	6423	0,246	0,179
7	Ст. Суроватиха: светофор «Ч»	6398	0,245	0,178
8	Ст. Сечуга: светофор «Ч»	5117	0,196	0,160
9	Пост ЭЦ ст. Суроватиха – пост ЭЦ ст. Сечуга, жилы 2К–2ОК	6423	0,246	0,179

Таблица 2. Результаты измерения параметров кабельной линии СЦБ
(Северо-Кавказская ж. д.)

№ п/п	Объект контроля	Длина кабельной линии, м	Ёмкость в паре, мкФ	Ёмкость между парами, мкФ
1	Перегон Анапа – Гастогаевский: светофор № 8	4056	0,227	0,179
2	Перегон Анапа – Гастогаевский: сигнальная точка № 3	4428	0,223	0,175
3	Перегон Анапа – Гастогаевский: сигнальная точка № 4	4280	0,130	0,103
4	Перегон Песчанокопская – Белоглинская: светофор № 9	10 000	0,592	0,438
5	Перегон Песчанокопская – Белоглинская: светофор № 6	7000	0,445	0,316
6	Перегон Песчанокопская – Сандатовский: светофор № 4	5000	0,286	0,212
7	Перегон Пролетарская – Ельмут: светофор № 9	8200	0,452	0,325
8	Перегон Пролетарская – Ельмут: светофор № 12	7900	0,555	0,401
9	Перегон Пролетарская – Ельмут: светофор № 7	8400	0,509	0,360
10	Перегон Пролетарская – Ельмут: светофор № 10	10 300	0,868	0,670

Удельные значения емкости на 1 км длины кабеля получены по формуле:

$$C = C_n \cdot \frac{1000}{L},$$

где C_n – измеренная емкость; L – длина измеряемого кабеля.

Выявлялась наибольшая величина емкости, при которой возникают мешающие влияния. При пересчете на 1 км кабельной линии связи максимальными значениями жил, принадлежащих одной скрученной паре, и жил, принадлежащих разным скрученным парам, стали значения 0,085 мкФ/км и 0,065 мкФ/км соответственно. Интерес представляет второе значение, так как в нормативно-технической документации оно не нормируется.

При разработке изделий, в процессе эксплуатации которых возможны последствия катастрофического характера, например, разрушение моста или отказ светофора, применяют коэффициент запаса K . Например, коэффициент запаса прочности стальных конструкций мостов может достигать 5–7, для целей испытаний на безопасность ССС K принимается равным 2. Выбор данного коэффициента связан не только с емкостной связью, но и с тем, что разделяющий жилы диэлектрик не имеет бесконечно высокого сопротивления, в связи с чем в кабеле возникают токи утечки, а с учетом старения кабеля этот параметр снижается.

В настоящее время периодичность контроля кабельных линий определяется сборником карт технологических процессов в устройствах СЦБ [11] и ограничивается проверкой после ремонта или замены кабеля СЦБ. Учитывая важность этих измерений, непосредственно влияющих на безопасность, в новых системах, например АБТЦ-03, в реальном масштабе времени осуществляется непрерывный схемный контроль исправности кабеля.

3 Разработка макета кабельной линии связи

В соответствии с особенностями испытаний устройств ЖАТ [12], а также для обеспечения проверки требования по отсутствию несанкционированной подсветки ССС и выполнения п. 14.11.2 стандарта [5] возникла необходимость разработки имитатора КЛС (далее в тексте – макет КЛС). За основу макета КЛС была взята эквивалентная схема электрической и магнитной связей между цепями [8], с учетом реальных ограничений.

Макет КЛС (рис. 3) предназначен для проведения испытаний на работоспособность и функциональную безопасность ССС, которые могут находиться на значительном расстоянии (более 100 м) от системы управления

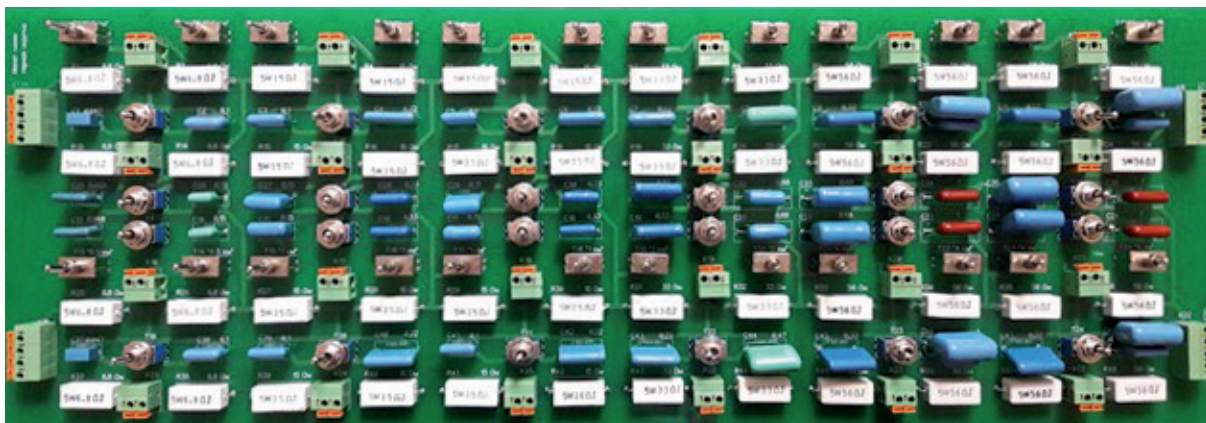


Рис. 3. Изображение макета КЛС

(питания). Кроме того, макет КЛС позволяет проводить испытания в лабораторных условиях (габариты макета 525×183 мм) силами одного человека в достаточно короткие сроки. Немаловажным фактором является мобильность макета и универсальность, сочетающаяся с возможностью имитации рабочих и предельных характеристик кабельной линии связи на различном удалении.

Кабельная линия связи является цепью с распределенными параметрами, представляющими собой бесконечное число бесконечно малых по величине пассивных элементов. Понятно, что спроектировать макет с бесконечным числом элементов невозможно, поэтому была поставлена задача максимально (с технической и экономической точки зрения) приблизиться к имитации распределенной линии. Для этого было принято решение использовать дискретность распределенной линии в виде нормированных значений сопротивлений и емкостей, при этом емкость подключена таким образом, что разряд накопленной энергии ограничивают эквивалентные активные сопротивления линии, они же являются и ограничивающими элементами в случае, если в приемнике сигнала присутствуют реактивные элементы, что, в свою очередь, ограничивает амплитуду электромагнитных колебаний LC-контура.

В соответствии с указанными целями и ограничениями авторами статьи была предложена эквивалентная схема макета КЛС, представленная на рис. 4. Такая структура позволяет испытателю с шагом 0,5 км формировать эквивалент кабельной линии от 0 до 12,5 км с рабочими и предельными (имитируя старение кабеля) параметрами. При этом рабочие характеристики выбираются с помощью тумблера T , в результате чего к линии подключаются емкости C_p . В случае необходимости испытаний на безопасность функционирования, при имитации предельных характеристик кабельной линии, к ней подключаются емкости C_6 . При построении схем СЦБ учитывают сообщения жил кабеля как вероятный отказ, для этого макет КЛС содержит контактные площадки

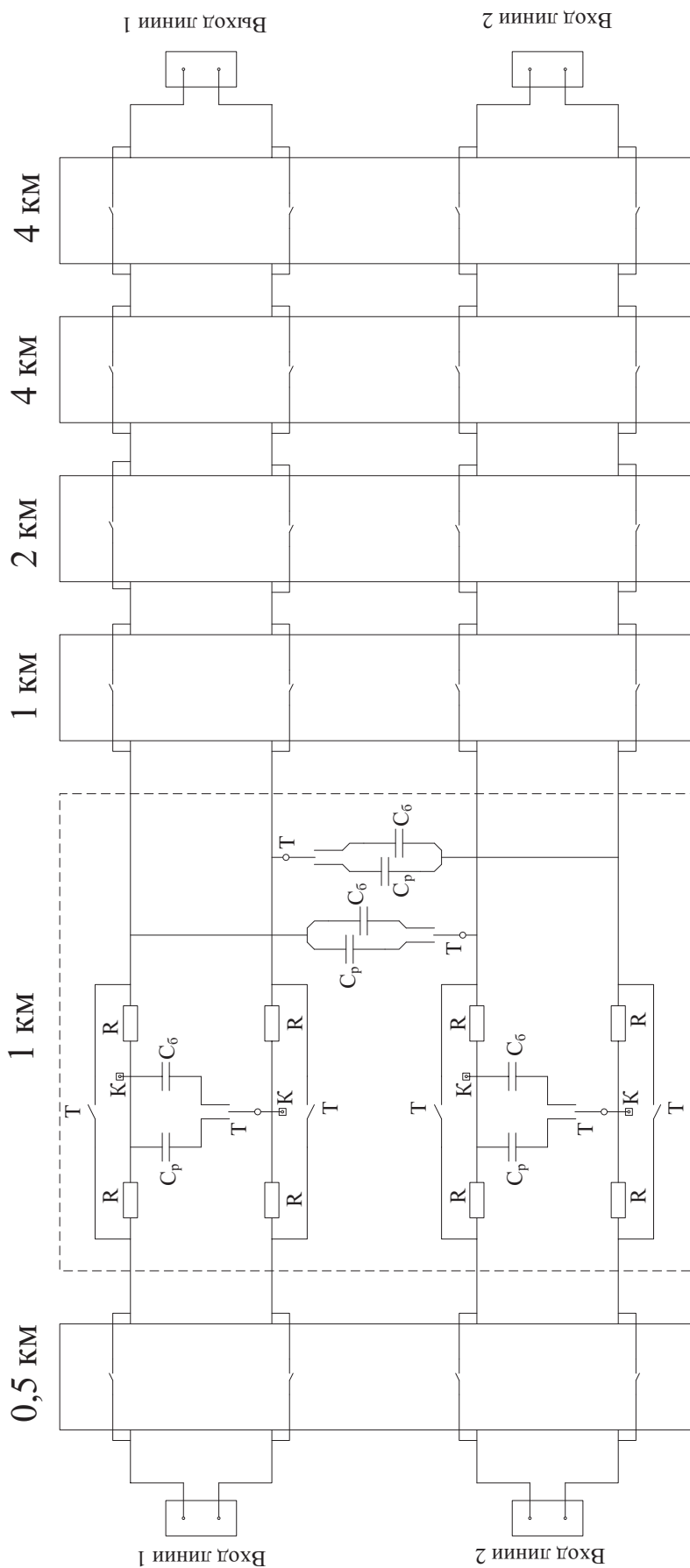


Рис. 4. Эквивалентная схема макета КЛС

K для имитации коротких замыканий жил. Расчетные значения C_p и C_6 для 1 км длины кабельной линии связи приведены в табл. 3.

Таблица 3. Расчетные значения C_p и C_6 , мкФ/км

Жилы в одной паре		Жилы в смежных парах	
C_p	C_6	C_p	C_6
0,1	0,2	0,065	0,15

Важным условием для имитации цепи с распределенными параметрами является как можно больший набор дискретных длин. Например, при имитации КЛС длиной 4 км следует использовать элементы макета с параметрами 1 км + 1 км + 2 км. Так достигается эквивалентность распределенной цепи по сравнению с тем, если бы были выбраны параметры цепи участка только 4 км.

В случае необходимости модель макета КЛС может быть использована как вспомогательное испытательное оборудование при проведении испытаний, объектом которых могут стать любые устройства автоматики и телемеханики, подключаемые к выходу макета КЛС. Ограничение по электрической мощности объектов испытаний определяется номенклатурой электронных компонентов схемы макета КЛС.

Адекватность предложенного макета КЛС подтверждена натурными и стендовыми испытаниями, математическими расчетами и компьютерным моделированием электрических схем.

Заключение

На основании предложенной эквивалентной схемы КЛС СЦБ и результатов натурных испытаний актуального состояния кабельной линии на сети железных дорог был спроектирован и изготовлен макет КЛС. Макет позволяет испытательной лаборатории ЖАТ Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I проводить стендовые испытания светооптических светодиодных систем на работоспособность и функциональную безопасность, в том числе при неисправностях самой кабельной линии СЦБ. Макет КЛС существенно оптимизирует трудовые, материальные и временные затраты на проведение испытаний. Отсутствие макета КЛС не позволяло в полном объеме проводить испытания из-за невозможности прерывания безостановочного процесса перевозок. Макет КЛС рекомендован для проведения испытаний других устройств и систем автоматики и телемеханики, расположенных на значительном (более 100 м) удалении от поста централизации.

Библиографический список

1. Betriebliche und technische Aspekte der Anwendung von LED in der Signaltechnik / E. W. Ledyayev, O. A. Nasedkin, O. W. Seliwerstov // Signal und Draht. – 2013. – № 105 (10). – Pp. 24–27.
2. Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации : утв. приказом Минтранса РФ 21.12.2010 № 286. – [М., 2011].
3. Никитин А. Б. Основы проектирования электрической централизации промежуточных станций / А. Б. Никитин, В. А. Кононов, А. А. Лыков. – М. : ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2013. – 348 с.
4. Сапожников Вал. В. Эксплуатационные основы автоматики и телемеханики / Вал. В. Сапожников, И. М. Кокурин, А. Б. Никитин, В. А. Кононов, А. А. Лыков. – М. : Маршрут, 2006. – 247 с.
5. ГОСТ Р 56057–2014. Системы светооптические светодиодные для железнодорожной светофорной сигнализации. Общие технические требования и методы испытаний. – М. : Стандартинформ, 2015.
6. ГОСТ Р 56292–2014. Кабели для сигнализации и блокировки. Общие технические условия. – М. : Стандартинформ, 2015.
7. Виноградов В. В. Линии железнодорожной автоматики, телемеханики и связи : учебник для вузов ж.-д. транспорта / В. В. Виноградов, С. Е. Кустышев, В. А. Прокофьев. – М. : Маршрут, 2002. – 416 с.
8. Андреев В. А. Направляющие системы электросвязи : учебник для вузов : в 2 т. Т. 1. Теория передачи и влияния / В. А. Андреев, Э. Л. Портнов, Л. Н. Кочановский ; под ред. В. А. Андреева. – 7-е изд., перераб. и доп. – М. : Горячая линия – Телеком, 2011. – 424 с.
9. Надежность систем железнодорожной автоматики, телемеханики и связи : учеб. пособие для вузов ж. д. транспорта ; под ред. Вл. В. Сапожникова. – М. : Маршрут, 2003. – 263 с.
10. ГОСТ 27893–88. Кабели связи. Методы испытаний. – М. : Стандартинформ, 2010.
11. Устройства СЦБ. Технология обслуживания : сборник карт технологических процессов в устройствах СЦБ : утв. 23.09.2013. – [М., 2013].
12. Наседкин О. А. Особенности испытания МПУ ЖАТ / О. А. Наседкин, Е. В. Ледяев // Автоматика, связь, информатика. – 2012. – № 7. – С. 30–32.

Oleg A. Nasedkin,

Evgenii V. Lediaev

*«Automation and remote control on railways» department
Emperor Alexander I St. Petersburg state transport university*

**A simulator of signalling, centralization
and blocking cable line characteristics for light-optical
light-emitting-diode systems' testing**

A qualified approach to testing of modern devices of railway automatics and telemechanics was described by the example of light-optical light-emitting-diode systems for railway color light signaling. The specificities of light-optical light-emitting-diode systems' application instead of incandescent signaling bulbs usage were analyzed. A diagram of an equivalent signalling cable line was considered, which was developed for durability and functional safety of light-optical light-emitting-diode systems' testing, being a part of electric interlocking devices and way-side systems with centralized equipment placement. The results of measurement of signalling cable line parameters, current for the network of the Russian railways, were presented.

light-emitting-diode light-optical systems; cable line; electric capacitance; cable parameters; equivalent network; cable communication line experimental model; functional safety; simulator; paired cable

References

1. Ledyayev E. W., Nasedkin O.A., Seliwerstov O. W. (2013). Betriebliche und technische Aspekte der Anwendung von LED in der Signaltechnik, Signal und Draht, issue 105. – Pp. 24–27.
2. Rules of technical operation of the railways of the Russian Federation (approved by order of the Ministry of transport of the Russian Federation of December 21, 2010 N 286).
3. Nikitin A. B., Kononov V.A., Lykov A.A. (2013). Basics of designing interlocking of intermediate stations [Osnovy proektirovaniya ehlektricheskoy centralizacii promezhutochnyh stancij]. Moscow, FSBEI «Study and methodical railway transport education center» [FGBOU «Uchebno-metodicheskij centr po obrazovaniyu na zheleznodorozhnom transporte»]. – 348 p.
4. Sapozhnikov Val. V., Kokurin I. M., Nikitin A. B., Kononov V.A., Lykov A.A. (2006). Operational fundamentals of automation and remote control [Ehkspluatacionnye osnovy avtomatiki i telemekhaniki]. Moscow, Route [Marshrut]. – 247p.
5. GOST R 56057–2014. Light-optical light-emitting diode systems for railway traffic signaling. General technical requirements and test methods [GOST R 56057–2014. Sistemy svetoopticheskie svetodiodnye dlya zheleznodorozhnoj svetofornoj signal-

- izacii. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya i metody ispytaniy]. Moscow, Standartinform [Standartinform], 2015.
6. GOST R 56292–2014. Cables for signaling and locking. General specifications [GOST R 56292–2014. Kabeli dlya signalizacii i blokirovki. Obshchie tekhnicheskie usloviya]. Moscow, Standartinform [Standartinform].
 7. Vinogradov V.V, Kustyshev S. E., Prokof'ev V.A. (2002). Electric lines of railway automation, remote control and communication, textbook [Linii zheleznodorozhnoj avtomatiki, telemekhaniki i svyazi, uchebnik dlya vuzov zheleznodorozhnogo transporta]. – Moscow, Route [Izdatel'stvo «Marshrut»]. – 416 p.
 8. Andreev V.A., Portnov Eh. L., Kochanovskij L. N. (2011). Telecommunication system guides. Textbook in 2 vol. Vol. 1 – Theory of transmission and influence [Napravlyayushchie sistemy ehlektrosvyazi. Uchebnik dlya vuzov. V 2-h tomah. Tom 1 – Teoriya peredachi i vliyaniya]. Ed. V.A. Andreev [Pod red. V.A. Andreeva]. 7-e edition. Moscow, Hot line-Telecom [7-e izd., pererab. i dop. Moscow, Goryachaya liniya-Telekom]. – 424 p.
 9. Reliability of railway automation, remote control and communication, textbook [Nadyozhnost' sistem zheleznodorozhnoj avtomatiki, telemekhaniki i svyazi, uchebnoe posobie dlya vuzov zheleznodorozhnogo transporta]. Ed. Vl. V. Sapozhnikov [Pod red. Vl. V. Sapozhnikova]. Moscow, Route [Marshrut]. – 263 p.
 10. GOST 27893–88. Communication cables. Test methods [GOST 27893–88. Kabeli svyazi. Metody ispytaniy]. Moscow, Standartinform [Standartinform].
 11. The collection of cards of technological processes in the devices of the signalling system «Signalling devices. Technology of service», approved on September 23, 2013.
 12. Nasedkin O. A., Ledyayev E. V. (2012). Features of testing of microprocessor devices of railway automatics and telemechanics [Osobennosti ispytaniya MPU ZHAT], Automation, communication, information science [Avtomatika, svyaz', informatika], issue 7. – Pp. 30–32.

*Статья представлена к публикации членом редколлегии А. Б. Никитиным
Поступила в редакцию 20.01.2017, принята к публикации 23.03.2017*

НАСЕДКИН Олег Андреевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I.
e-mail: nasedkin@crtc.spb.ru

ЛЕДЯЕВ Евгений Васильевич – инженер испытательного центра железнодорожной автоматики и телемеханики Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I.
e-mail: ledyaev@crtc.spb.ru

© Наседкин О. А., Ледяев Е. В., 2017