

ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ INFORMATION TECHNOLOGIES AND TELECOMMUNICATION

УДК 621.316.824

DOI: 10.18413/2518-1092-2018-3-1-36-42

Смирнов А.В.¹
Волощенко И.С.¹
Кузнецов А.В.¹
Басов О.О.²

**ИМИТАЦИОННОЕ И НАТУРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
УСТРОЙСТВА ВНЕСЕНИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ
В ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ КАБЕЛЬ СВЯЗИ**

¹) Федеральное государственное казённое военное образовательное учреждение высшего образования «Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации», ул. Приборостроительная, д. 35, г. Орёл, 302034, Россия

²) Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики», Кронверкский пр., д. 49, г. Санкт-Петербург, 197101, Россия

e-mail: sav_smirnof@mail.ru, morgan23011997@mail.ru, kvaa77@mail.ru, oobasov@mail.ru

Аннотация

В работе рассмотрены основные причины возникновения неисправностей в электрических кабелях связи. С целью исследования их влияния на качество передачи сигналов в среде Multisim проведено имитационное моделирование процесса возникновения неисправностей в электрическом кабеле связи. Для автоматизации данного процесса предложен вариант принципиальной схемы устройства внесения неисправностей в указанный кабель связи. Проведено натурное моделирование, которое показало его адекватность реальным процессам, происходящим в проводных направляющих средах. Определены пути исследования влияния неисправностей в кабеле связи на качество передачи информации в системах передачи.

Ключевые слова: линия связи; электрический кабель; неисправность; повреждение изоляции; короткое замыкание; асимметрия сопротивления.

UDC 621.316.824

Smirnov A.V.¹
Voloshchenko I.S.¹
Kuznetsov A.V.¹
Basov O.O.²

**THE IMITATING AND NATURAL MODELING
OF THE DEVICE INTENDED FOR CAUSING FAULT
IN THE ELECTRICAL COMMUNICATION CABLE**

¹) Federal state military educational institution of higher professional education "Academy of the Federal security service of the Russian Federation", 35 Priborostroitelnaya St., Orel, 302034, Russia

²) Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, 49 Kronverkskiy prospekt, St. Petersburg, 197101, Russia

e-mail: sav_smirnof@mail.ru, morgan23011997@mail.ru, kvaa77@mail.ru, oobasov@mail.ru

Abstract

The paper examines the main reasons for fault in the electrical communication cable. The imitating modeling of the springing up of fault in the electrical communication cable was carried out in order to study its influence on the quality of signal transmission in Multisim. The circuit diagram of the device causing fault in the electrical communication cable and purposed for automation of the considered process is proposed in the present research. The natural modeling of the whole process was performed and its result corresponds with the real processes taking place in

the wire guide medium. The work determines further ways of investigation the influence of fault in cable on the quality of information broadcast in transmission systems.

Keywords: communication line; electrical cable; fault; insulation damage; short circuit; asymmetry; resistance.

ВВЕДЕНИЕ

Сеть связи представляет собой комплекс сооружений, содержащих различные направляющие системы, среди которых важное место до сих пор занимают электрические кабели связи. К основным факторам, существенно влияющим на надежность таких кабелей, относятся осушение, электрическое старение и высыхание изоляции. Связано это, прежде всего, с естественным разложением (кристаллизацией) пропиточного слоя. Как правило, при аварии электрическому кабелю наносятся и вторичные повреждения: обжиг дугой, деформация за счет созданного внутреннего давления, поглощение влаги в поврежденном месте и т.д. Безусловно влиянию многих из указанных факторов не подвержены оптические кабели связи, что лишний раз доказывает перспективность их применения в качестве направляющих сред.

Однако применение в сетях связи электрических кабелей обуславливает необходимость установления причин возникновения неисправностей в них, исследование их влияния на основные параметры передачи, а также на качество информации, циркулирующей в соответствующих системах передачи.

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВОЗНИКНОВЕНИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ КАБЕЛЕ СВЯЗИ

Помимо заводского брака, который со временем может привести к повреждению электрического кабеля связи, существуют и другие причины появления неисправностей:

- механические повреждения при прокладке или других строительных работах;
- вспучивание в виде спирали (иногда с образованием трещин) в результате воздействия в течение длительного времени периодических циклов нагрева и охлаждения, а также при значительных сетевых перегрузках;
- разрушение внешней оболочки под воздействием внешних механических факторов;
- естественная химическая коррозия из-за воздействия различных реагентов, содержащихся в почве;
- разрушение внешнего защитного слоя благодаря блуждающим токам от электрифицированного транспорта.

Главным конструктивным элементом электрического кабеля связи является внешняя оболочка, т. к. высокие диэлектрические характеристики кабеля обеспечиваются при отсутствии активного воздействия на него влаги и воздуха. Механическое повреждение наружной оболочки легко определяется по внешнему виду: как, правило, в этом случае деформирована как стальная броня (при ее наличии), так и оплетка. Свинцовая оболочка часто подвергается межкристаллическому разрушению, что визуально выражается в появлении на первом этапе сетки из мелких трещин. В дальнейшем это приводит к увеличению их размеров с последующим разрушением отдельных фрагментов. При наличии в составе продуктов коррозии двуокиси свинца, можно утверждать о ее электрическом происхождении за счет блуждающих токов. Такой окисел имеет характерный коричневый тон. В то же время в результате химической коррозии образуются продукты белого цвета, которые иногда имеют бледно-желтый или бледно-розовый оттенок.

Большинство из повреждений электрического кабеля связи связаны с его изоляцией: электрической и/или экрана. Специалисты связи различают три типа повреждений электрической изоляции: короткое замыкание, нарушение изоляции между двумя жилами разных пар и нарушение изоляции по отношению к заземлению.

Короткое замыкание (или просто «короткое») несколько отличается от аналогичного понятия в радиотехнике, в системах связи под ним следует понимать нарушение изоляции между двумя жилами одной пары. Уменьшение изоляции между жилами до сотни мегом уже представляет собой короткое замыкание, а «короткое» в 1-2 мегаома делает абонентскую линию уже полностью нерабочей.

Нарушение изоляции между двумя жилами разных пар, как правило, возникает при попадании воды в соединительную муфту или внутрь кабеля. Для абонентов системы передачи это повреждение вызывает эффект «круглого стола» или «конференции» – слышны переговоры посторонних людей, которые, в свою очередь слышат вас.

В руководящих документах установлена норма в 5 Мом/км как обязательная изоляция защитной оболочки кабеля. Выполнение этой нормы свидетельствует о герметичности оболочки электрического кабеля связи. В его реальных образцах изоляция экрана составляет от 40 до 30000 Мом.

В настоящее время существует разнообразное множество методов поиска рассмотренных повреждений, однако, наряду с этим, исследованию влияния данных неисправностей на основные параметры передачи электрических кабелей связи уделяется очень мало внимания.

Для проведения такого исследования в среде Multisim была разработана схема возникновения основных неисправностей двухпарного кабеля связи (рис. 1). В качестве прототипа для него рассматривался электрический кабель П-296, основные технические и эксплуатационные характеристики которого представлены в таблице 1.

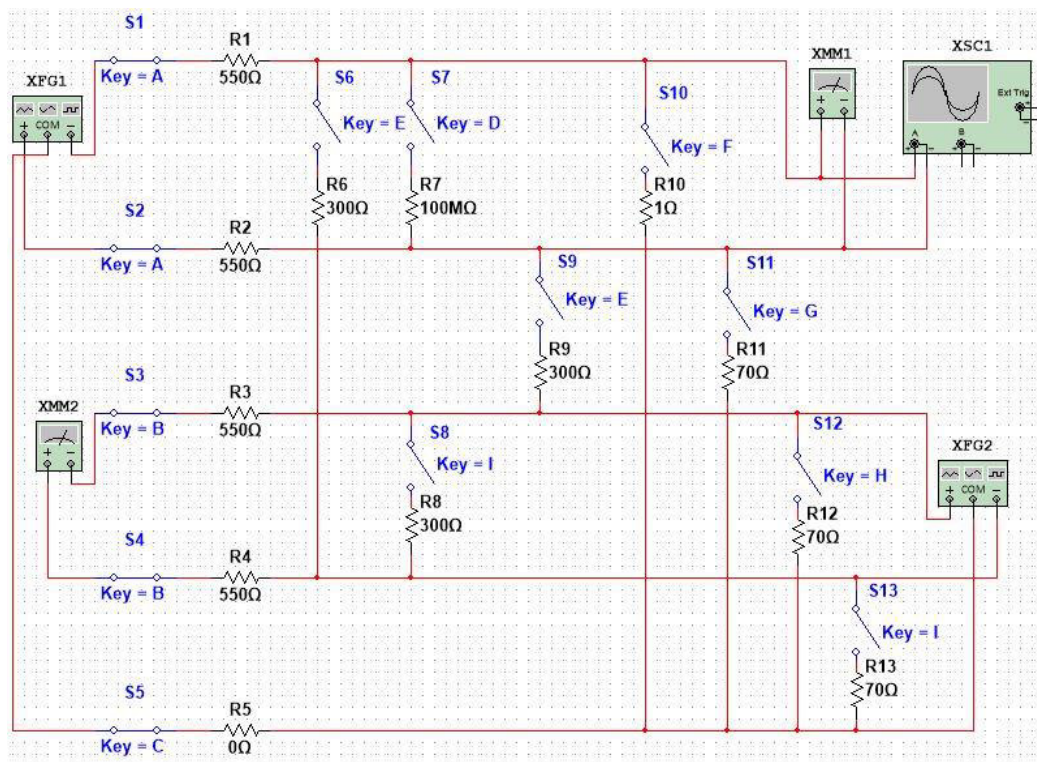


Рис. 1. Имитационное моделирование процесса возникновения неисправностей в электрическом кабеле связи в среде Multisim

Fig. 1. Simulation of the process of faults in the electrical communication cable in the Multisim

Таблица 1

**Основные технические и эксплуатационные характеристики
электрического кабеля связи П-296**

Table 1

**Main technical and operational characteristics
of the communication cable P-296**

Характеристика	Показатель
Сопротивление цепи постоянному току	55,5 Ом/км
Омическая асимметрия	0,28 Ом/км
Сопротивление экрана постоянному току	7 Ом/км
Сопротивление изоляции	5000 МОм/км
Рабочая емкость на частоте 0,8 кГц	44,6 нФ/км
Переходное затухание на ближнем конце на длине 500 м и частоте 110 кГц	68 дБ/сд
Защищенность на дальнем конце на длине 500 м и частоте 110 кГц	77 дБ/сд,
Испытательное напряжение между жилами, между жилами и оболочкой	1500 В
Выходное сопротивление кабеля	135 Ом
Строительная длина	500 м
Конструкция жил	7×0,35 мм
Количество жил	4 шт.
Материал изоляции жил	полиэтилен
Скрутка жил	звездная
Материал экрана	медная проволока
Материал защитного шланга	поливинилхлорид
Диаметр кабеля	14 мм
Масса кабеля	240 кг/км

В рассматриваемой схеме (рис. 1) резисторами R1-R4 с сопротивлениями 550 Ом имитируется электрический кабель длиной 10 км. При этом сопротивление экрана R5 составляет 70 Ом. Указанными резисторами может быть установлена любая требуемая длина кабельной линии связи, а при их неодинаковых значениях сопротивлений – симитирована омическая асимметрия – разница в сопротивлении двух жил пары постоянному току. Ключами S1-S5 имитируется обрыв каждой из жил кабеля и его экрана. Ключами S6-S9 с последовательно включенными резисторами R6-R9 имитируется нарушение изоляции между жилами, реализована возможность изменения номинала указанных сопротивлений от 0 до 100 МОм. Ключами S10-S13 с последовательно включенными резисторами R10-R13 имитируется нарушение изоляции по отношению к заземлению, реализована возможность изменения номинала указанных сопротивлений от 0 до 100 МОм.

Результаты имитационного моделирования убедительно свидетельствуют об адекватности используемого подхода. Так на рисунке 2, а демонстрируется возникновение короткого замыкания между первой и второй жилой электрического кабеля, а на рисунке 2, б – понижение изоляции между двумя жилами до 100 МОм. В ходе эксперимента было установлено, что уменьшение сопротивления изоляции до 1 Мом приводит к аналогичному результату.

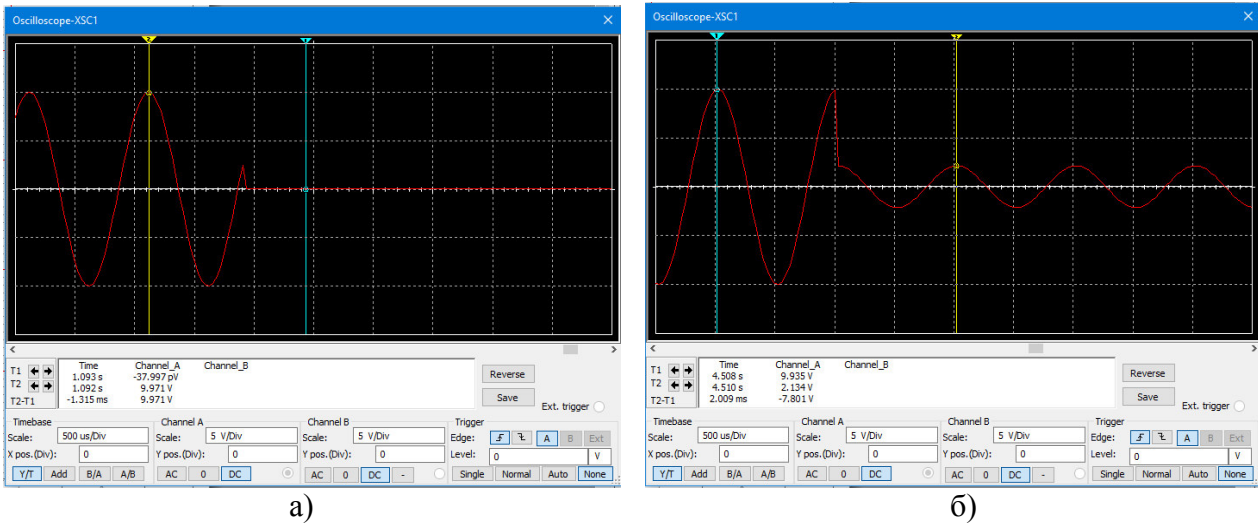


Рис. 2. Результаты имитационного моделирования процесса возникновения неисправностей
Fig. 2. Results of simulation simulation of the process of faults occurrence

НАТУРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВА ВНЕСЕНИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ КАБЕЛЬ СВЯЗИ

На основе полученных данных для исследования влияния неисправностей в кабеле связи на качество передачи информации в системах передачи было предложено соответствующее устройство, исполнительная часть которого представлена на рисунке 3. В качестве управляющего модуля использована плата Arduino UNO с подключенными к ней блоками реле P1-P13 и шаговыми двигателями для изменения положения движка переменных резисторов R1-R13.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе натурального эксперимента было установлено следующее:

1. Для имитации значительных длин кабеля (свыше одного километра) необходимо учитывать переходные процессы между отдельными жилами кабеля и экраном. В этой связи в схеме (рис. 3) принято использовать переменные резисторы R1-R4 номиналом 100 Ом, позволяющие имитировать асимметрию сопротивлений жил на длине до 1 км.

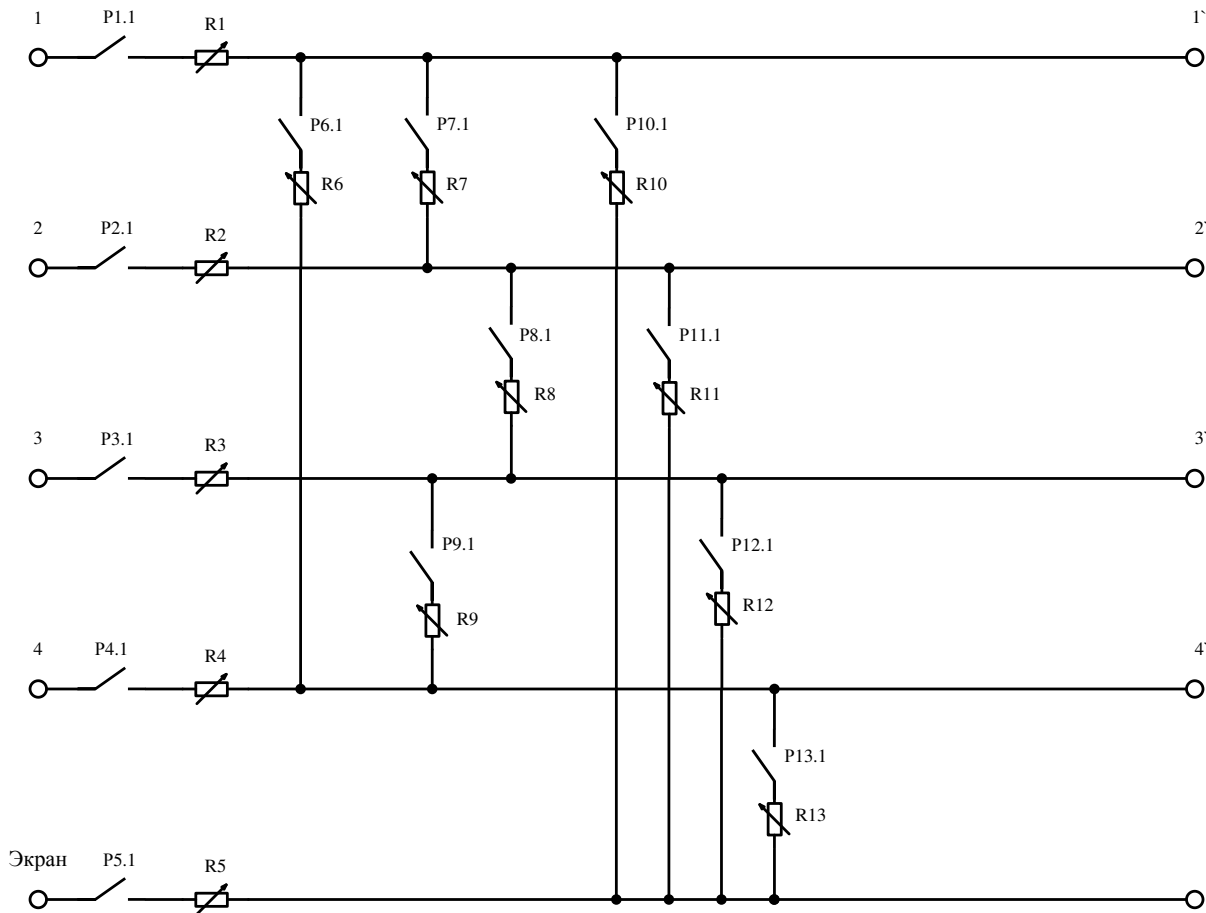


Рис. 3. Принципиальная схема исполнительной части устройства внесения неисправностей в электрический кабель связи

Fig. 3. Schematic diagram of the executive part of the device for making faults in the electrical communication cable

2. С учетом незначительного влияния сопротивления изоляции свыше 1 МОм на качество распространения сигнала по электрическому кабелю связи и отсутствия переменных резисторов с номиналом свыше указанной величины принято решение о использовании в схеме резисторов R6-R13 номиналом 1 МОм.

3. В качестве сопротивления экрана постоянному току R5 принято решение использовать переменный резистор номиналом 10 Ом, значение которого изменяется в соответствии с изменением значений сопротивлений R1-R4, имитирующих различную длину электрического кабеля связи (в пределах одного километра).

Для исследования влияния неисправностей в кабеле связи на качество передачи информации в дальнейшем предполагается использовать разработанный прототип устройства в совокупности с реальным кабелем П-296 при организации систем передачи различного типа.

Список литературы

1. Алиев А.А. Кабельные изделия: справочник. – 3-е издание. – М.: ИП РадиоСофт, 2014. 224 с.
2. Андреев В.А., Портнов Э.Л., Направляющие системы электросвязи: учебник для вузов. В 2-х томах. Том 1 – Теория передачи и влияния. – 7-е изд., перераб. и доп. – М.: Горячая линия – Телеком. 2011. 424 с.
3. Бакалов В.П., Дмитриков В.Ф., Крук Б.И. Основы теории цепей. – М.: Радио и связь, 2000. 587 с.
4. Ионов А.Д., Попов Б.В. Линии связи. – М.: Радио и связь, 1990. 82 с.

5. Ожигов В. А. Кабели связи. – Орел, ВИПС, 1997.
6. Ожигов В. А., Рыжий В. М. Расчет параметров линий связи, часть I. Симметричные кабели связи. – Орел: ВИПС, 1998.
7. Ксенофонтов А.А., Портнов Э.Л. Направляющие системы электросвязи: задачник. – 2-е изд., стереотип. – М.: Горячая линия – Телеком, 2009. 267 с.
8. Парфенов Ю.А., Мирошников Д.Г. Цифровые сети доступа. – М.: Натекс-Экотрендз, 2005. 288 с.
9. Хернитер М.Е., Multisim 7: Современная система компьютерного моделирования и анализа схем электронных устройств. - ДМК Пресс. – М.: Издательский дом ДМК"пресс, 2006. – 488 с.: ил.
10. Рекомендация МСЭ-Т L.19. Многопарные медные сетевые кабели, обеспечивающие одновременную работу нескольких служб, таких как POTS, ISDN и xDSL.

Reference

1. Aliev A.A. Cable products: reference book. – 3rd edition. – Moscow: IP RadioSoft, 2014. 224 p.
2. Andreev V.A., Portnov Je.L. Guides of the telecommunication system: a textbook for high schools. V 2-h tomah. Tom 1 – Theory of transmission and influence. – 7-e izd., pererab. i dop.– М.: Gorjachaja linija – Telekom, 2011. 424 p.
3. Bakalov V.P., Dmitrikov V.F., Kruk B.I., 2000. Fundamentals of the theory of chains. – М.: Radio i svjaz'. 587 p.
4. Ionov A.D., Popov B.V. Communication lines. – М.: Radio i svjaz', 1990. 82 p.
5. Ozhigov V.A. Communication cables. – Орел, VIPS, 1997.
6. Ozhigov V.A., Ryzhyi V.M. Calculation of parameters of communication lines, part I. Symmetrical communication cables. – Орел, VIPS, 1998.
7. Ksenofontov A.A., Portnov Je.L. Guides of the telecommunication system: task book. – 2-e izd., stereotip. – М.: Gorjachaja linija – Telekom, 2009. 267 p.
8. Parfenov Ju.A., Miroshnikov D.G. Digital access networks. – М.: Nateks-Jekotrendz, 2005. – 288 p.
9. Herniter E., Multisim 7: Modern system of computer simulation and circuit analysis of electronic devices. – ДМК Press. – М.: Publishing house of the ДМК "press, 2006. – 488 p.
10. Recommendation ITU. L.19. Multi-pair copper network cable supporting shared multiple services such as POTS, ISDN and xDSL.

Смирнов Андрей Вячеславович, студент Академии Федеральной службы охраны Российской Федерации
Волощенко Игорь Сергеевич, студент Академии Федеральной службы охраны Российской Федерации
Кузнецов Андрей Викторович, кандидат технических наук, сотрудник Академии Федеральной службы охраны Российской Федерации
Басов Олег Олегович, доктор технических наук, профессор кафедры речевых информационных систем

Smirnov Andrey Vyacheslavovich, student Academy of the Federal security service of the Russian Federation
Voloshchenko Igor Sergeevich, student Academy of the Federal security service of the Russian Federation
Kuznetsov Andrey Viktorovich, candidate of technical sciences, Academy of the Federal security service of the Russian Federation
Basov Oleg Olegovich, doctor of technical sciences, Professor of Department of Speech Information Systems