



УДК 621.371
doi: 10.21685/2587-7704-2024-9-2-10



Open
Access

RESEARCH
ARTICLE

Анализ методов защиты кабельных линий связи в условиях воздействия внешних электромагнитных полей

Артём Дмитриевич Бусаров

Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40

Святослав Павлович Андреев

Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40

Павел Геннадьевич Андреев

Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40
apg_58@mail.ru

Аннотация. Представлен анализ методов защиты кабельных линий связи от наведенных помех, образованных полем помех при передаче информации по высокочастотным протоколам. Данная работа позволяет получить информацию для выбора методов защиты информации, передаваемой по кабельным линиям связи в условиях воздействия внешних электромагнитных полей.

Ключевые слова: электромагнитные помехи, экранирование, защита от помех, индуктивные помехи, емкостные помехи, электромагнитное излучение, гальванические помехи

Для цитирования: Бусаров А. Д., Андреев С. П., Андреев П. Г. Анализ методов защиты кабельных линий связи в условиях воздействия внешних электромагнитных полей // Инжиниринг и технологии. 2024. Т. 9 (2). С. 1–6. doi: 10.21685/2587-7704-2024-9-2-10

Analysis of methods of protection of cable communication lines under the influence of external electromagnetic fields

Artyom D. Busarov

Penza State University, 40 Krasnaya Street, Penza, Russia

Svyatoslav P. Andreev

Penza State University, 40 Krasnaya Street, Penza, Russia

Pavel G. Andreev

Penza State University, 40 Krasnaya Street, Penza, Russia
apg_58@mail.ru

Abstract. The article is devoted to the analysis of methods for protecting cable communication lines from induced interference generated by the interference field when transmitting information over high-frequency protocols. This work allows us to obtain information for the selection of methods for protecting information transmitted over cable communication lines under the influence of external electromagnetic fields.

Keywords: electromagnetic interference, shielding, anti-interference, inductive interference, capacitive interference, electromagnetic radiation, galvanic interference

For citation: Busarov A.D., Andreev S.P., Andreev P.G. Analysis of methods of protection of cable communication lines under the influence of external electromagnetic fields. *Inzhiniring i tekhnologii = Engineering and Technology*. 2024;9(2):1–6. (In Russ.). doi: 10.21685/2587-7704-2024-9-2-10

Введение

В современных системах передачи данных все более остро встает вопрос защиты кабельных линий связи от воздействия электромагнитных помех (ЭМП), связано это явление с постоянным укрупнением систем передачи, увеличивающейся мощностью передатчиков, а также с увеличением частоты



работы радиоэлектронных средств и областей их применения [1–3]. Существующие пакеты прикладных программ позволяют частично выполнить оценку уровня электромагнитного излучения как внутри блочной конструкции РЭС, так и вне ее [4–9]. В ряде практических случаев, современные методы экранирования позволяют обеспечить электромагнитную совместимость РЭС [10–13]. Однако защита кабельных линий связи в условиях воздействия внешних электромагнитных полей является актуальной задачей.

Среди источников помех можно выделить основные группы:

- естественного происхождения;
- искусственного происхождения.

Источниками помех естественного происхождения в основном служат грозовые разряды и магнитные бури земли.

Источники помех искусственного происхождения в свою очередь делятся:

- на организованные, образующиеся в результате работы мощных радиопередающих средств, таких как радиостанции, радары и мобильные телефоны;
- непреднамеренные (индустриальные), образующиеся вблизи высоковольтных линий электропередачи, высоковольтных установок и контактных сетей железнодорожного транспорта.

На рис. 1 представлен пример воздействия близкого удара молнии на цепи передачи информации.

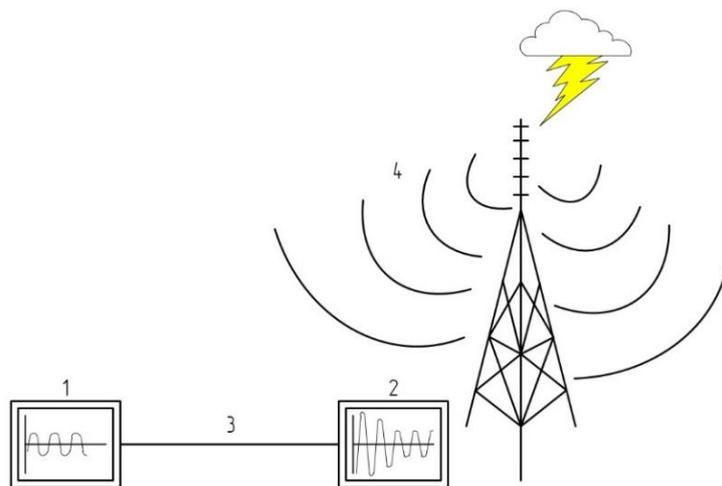


Рис. 1. Воздействие удара молнии на цепи передачи:
1 – передатчик сигнала; 2 – приемник сигнала;
3 – кабельная линия связи; 4 – помеха в результате удара молнии

На рис. 2 представлен пример воздействия непреднамеренной искусственной помехи в виде мощного радиосигнала на передающую линию связи в системе промышленных весов.

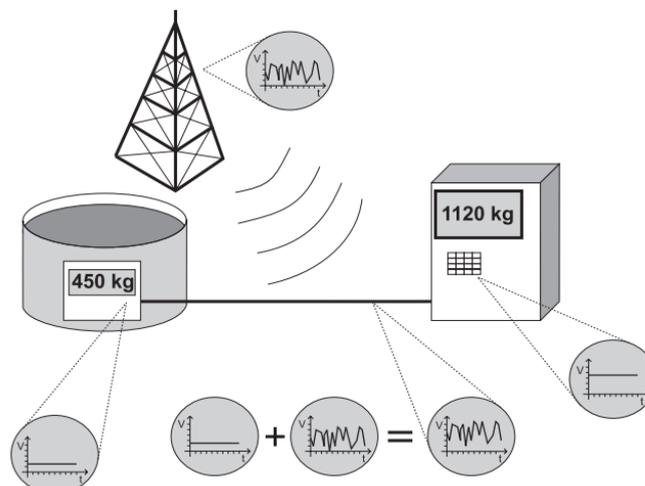


Рис. 2. Воздействие помехи на систему промышленных весов



В зависимости от пути распространения выделяют два вида помех:

- противофазные (симметричные), возникающие между проводами двухпроводных линий. Противофазные помехи накладываются на полезные сигналы в сетях передачи информации и могут вызывать неправильное функционирование приемника сигнала. Оказывают значительное влияние при низких частотах;

- синфазные (продольные, асимметричные), возникающие между каждой кабельной линией и землей. Возникновение синфазных помех обуславливается разностью потенциалов в цепях заземления устройств или магнитными полями. Значимое влияние оказывается при высоких частотах.

Существует также четыре вида воздействия помех на кабельную инфраструктуру:

- гальваническое воздействие, осуществляющееся через общие полные сопротивления. Как правило, это сопротивление проводников электроэнергии, систем защитных и заземляющих проводов;

- индуктивное воздействие, осуществляющееся через переменные магнитные поля находящиеся под напряжением проводников. Изменение тока вызывает изменение магнитного поля, что влечет наведение напряжения в соседних проводниках;

- емкостное воздействие, возникающее вследствие воздействия паразитных емкостей между проводами и токопроводящими предметами, относящимися к разным контурам;

- электромагнитное излучение, возникающее вследствие излучения токовым контуром и распространяющееся в окружающем пространстве [1].

Для защиты кабельных линий от возникающих полей помех, в целях недопущения искажения передаваемых сигналов, для различных условий эксплуатации применяются специальные методы и средства, перечисленные ниже.

Снижение гальванического воздействия в сигнальных контурах достигается путем выполнения ряда мероприятий:

- выполнение соединений между двумя или более контурами с возможно низким полным сопротивлением, особенно низкой индуктивностью. Для этого требуется по возможности меньшая длина общих линий, большое сечение проводников (особенно для проводников системы опорного потенциала, общей для многих контуров), малые расстояния между проводами цепей питания (расположение прямого и обратного проводов рядом друг с другом), выполнение системы опорного потенциала в жгутах, разьемах, соединений с корпусом, землей в виде плоских шин. В этих случаях возможно обеспечение больших емкостей, выполняющих роль защитных конденсаторов. Эффективным является выполнение соединений шин системы опорного потенциала в виде многих параллельных кабелей, благодаря чему одновременно компенсируются как емкостные, так и индуктивные влияния; гальваническая развязка, т.е. устранение совместных проводящих соединений между различными контурами, или же гальваническое разделение контуров таким образом, чтобы ток наиболее мощного контура или ток фильтра не протекал по слаботочному контуру. Это осуществляется отказом от общих обратных проводников в цепях передачи сигналов от использования проводов заземления, корпусов приборов, машин и технологических устройств в качестве проводов сигнальных цепей. Систему опорного потенциала, если это требуется, необходимо присоединять лишь к точкам заземления или к корпусу прибора. Целесообразно раздельно питать мощные электрические и аналоговые, дискретные функциональные элементы в целях устранения влияния внутреннего сопротивления питающей сети;

- разделение потенциалов, т.е. устранение любых гальванических контактов между контурами при функционально связанных сигнальных и силовых цепях в системах, в которых не предусматривается обмен информацией.

Снижение индуктивного влияния на линии передачи сигнала достигается путем обеспечения следующих мер:

- скручивание проводников. При применении этого метода в паре скрученных проводников индуцируются частичные напряжения помехи с чередованием знаков, при этом на выходе будет присутствовать лишь небольшой уровень наведенной помехи. Однако общее напряжение помехи в данном случае не может быть нулевым в связи с тем, что поверхности петель в данном случае не равны и воздействие поля помехи различно (различное расстояние от источника помехи). Увеличение эффективности метода достигается путем уменьшения поверхности одной петли, что реализуется уменьшением шага одного витка. Схемы, представленные на рис. 3, 4 наглядно показывают механизм уменьшения наводимой помехи при использовании данного метода защиты;

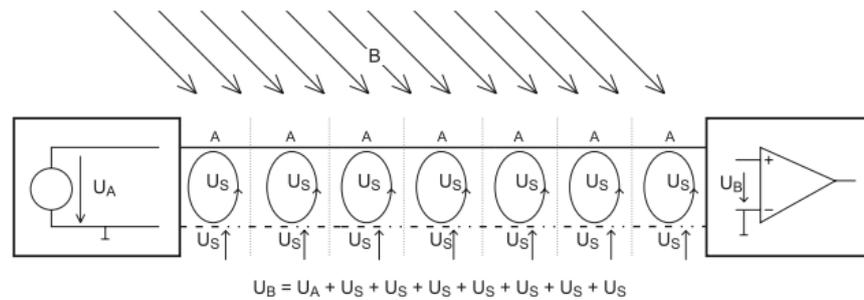


Рис. 3. Магнитное поле (B); поверхность петли (A); частичное напряжение помехи (U_S)

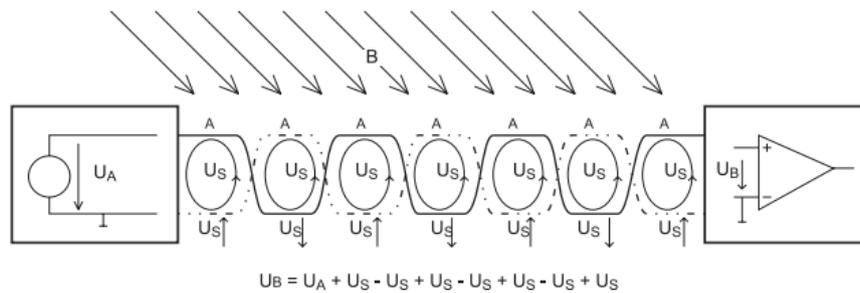


Рис. 4. Магнитное поле (B); поверхность петли (A); частичное напряжение помехи (U_S)

– экранирование линий передачи данных. Уменьшение воздействия магнитного поля на линию передачи данных при воздействии индуктивной помехи достигается путем уменьшения площади активного воздействия. Заземление экрана из ферромагнитных материалов допускается только с двух концов, этим обеспечивается образование короткозамкнутой петли для магнитного поля помехи. Предотвращение больших токов, протекающих в экране, экран следует подключать через конденсатор, при этом длина подключения экрана к заземляющему проводнику должна быть максимально возможно короткой, для снижения сопротивления току стекания.

Снижение емкостного влияния на кабельные линии передачи данных обеспечивает применение следующих методов:

- скручивание проводников. Механизм снижения емкостной помехи на кабельные линии в данном случае аналогичен описанному способу для индуктивных помех;
- применение экранированных проводников. При воздействии на проводник емкостной помехи, в отличие от защиты от индуктивных помех, экран из проводящего материала заземляется только с одной стороны, так как заземленный экран образует противоположный полюс паразитного конденсатора. В этом случае экранированный проводник находится в клетке Фарадея и ток помехи стекает через экран, снижая воздействие на сам проводник;
- применение кабеля с малой диэлектрической проницаемостью изоляции.

Защита от воздействия излучения достигается главным образом за счет применения экранирования проводников. Влияние экранирования эффективно за счет закорачивания одной составляющей электромагнитной волны и, как следствие, снижение другой составляющей. При применении экрана из проводящего материала закорачивается электрическая составляющая поля, а с помощью экрана из материалов с высокой магнитной проницаемостью – магнитная составляющая. Как средство защиты от воздействия высокого уровня излучения также применяются металлические кабельные коробки или пластиковые кабельные коробки с металлическим напылением, в этом случае часть излучения отражается от поверхности.

Исходя из перечисленного, можно сделать вывод о необходимости тщательного анализа электромагнитной обстановки на местах прокладки кабельных линий связи. Для снижения трудозатрат, а также финансовых ресурсов анализ электромагнитной обстановки необходимо выполнять на стадии проектирования. Правильный выбор средств защиты от воздействия наведенных помех позволяет решить ряд задач:

- исключение ошибок в работе системы в целом, что обеспечивает безаварийность эксплуатации и избежание возникновения чрезвычайных случаев, создающих угрозу жизни и здоровью людей;
- корректность передачи информации между элементами системы обеспечивает минимизацию сбоев оборудования, что особенно актуально в системах с непрерывной круглосуточной работой;



– снижение финансовых затрат достигается посредством правильного выбора средств защиты от воздействия помех на этапе проектирования, а также исключением простоя или ремонта оборудования, вызванного воздействием помехи. Зачастую методы защиты, выбранные без предварительного анализа электромагнитной обстановки, оказываются избыточными или не соответствуют механизму воздействия помех на объекте монтажа, что влечет за собой крупные финансовые затраты.

Заключение

Таким образом, защита кабельных линий связи в условиях воздействия внешних электромагнитных полей, является актуальной задачей. Приведенные методы снижения степени влияния внешних электромагнитных полей на РЭС в ряде случаев позволяют сделать правильный выбор средств защиты от воздействия наведенных помех.

Список литературы

1. Андреев П. Г. Моделирование переотражателей радиолучевых систем обнаружения : дис. ... канд. техн. наук. Пенза, 2005.
2. Гришко А. К., Тумакова И. А., Андреев П. Г., Мокшанцева А. В., Пакайкин А. А. Классификация естественных радиопомех и основные методы борьбы с ними // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». 2019. Т. 2. С. 283–287.
3. Андреев П. Г., Якимова А. Н. Математическая модель распространения электромагнитных волн в помещении // Радиопромышленность. 2013. № 2. С. 74–82.
4. Шпедт Е. Р., Андреев П. Г., Гришко А. К., Наумова И. Ю. Возможности «cst studio suite» при проектировании высокочастотных устройств // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». 2020. Т. 2. С. 158–160.
5. Андреев П. Г., Волков В. А., Фирсова Д. И., Китаев М. Б. Возможности ANSYS HFSS при проектировании печатных плат и узлов радиоэлектронных средств // Современные информационные технологии. 2015. № 22. С. 25–28.
6. Андреев П. Г., Талибов Н. А., Осипов П. М. Возможности "cst studio suite" при проектировании высокочастотных устройств // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». 2007. Т. 1. С. 146–148.
7. Кузина А. В., Андреев П. Г., Наумова И. Ю., Ергалиев Д. С. Исследование причин электромагнитного излучения с поверхности печатной платы // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». 2022. Т. 2. С. 48–49.
8. Андреев П. Г., Нагаев Т. Р., Комзалова М. А. Воздействие электромагнитных импульсов на радиоэлектронную аппаратуру // Современные информационные технологии. 2018. № 28 (28). С. 48–51.
9. Гришко А. К., Андреев П. Г., Тумакова И. А., Мокшанцева А. В., Моисеев А. В., Пакайкин А. А. Применение имитационного моделирования при оценке устойчивости радиосвязи // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». 2020. Т. 1. С. 114–115.
10. Калашникова О. П., Андреев П. Г., Гришко А. К., Федоткин А. А., Кабдуалиев Ж. Обеспечение экранирования, экраны и методы их расчетов // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». 2022. Т. 2. С. 148–150.
11. Андреев П. Г., Наумова И. Ю., Ширшов М. В. Экранирование как конструктивный способ обеспечения ЭМС // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». 2010. Т. 2. С. 148.
12. Grishko A. K., Kochegarov I. I., Lysenko A. V., Andreev P. G., Goryachev N. V., Danilova E. A. Determination of electromagnetic field strength taking into account the influence of reflections // Moscow Workshop on Electronic and Networking Technologies, MWENT 2020 – Proceedings. M., 2020. С. 9067494.
13. Якимов А. Н., Андреев П. Г., Князева В. В. Моделирование распространения электромагнитных волн в помещении с учетом влияния местных предметов // Журнал радиоэлектроники. 2015. № 2. С. 8.

References

1. Andreev P. G. Simulation of reflectors of radio-beam detection systems: PhD dissertation. Penza, 2005. (In Russ.)
2. Grishko A.K., Tumakova I.A., Andreev P.G., Mokshanceva A.V., Pakajkin A.A. Classification of natural radio interference and basic methods of dealing with them. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma «Nadezhnost' i kachestvo» = Proceedings of the International Symposium "Reliability and Quality"*. 2019;2:283–287. (In Russ.)
3. Andreev P.G., Jakimova A.N. A mathematical model of electromagnetic wave propagation in a room. *Radiopromyshlennost' = Radio industry*. 2013;(2):74–82. (In Russ.)
4. Shpedt E.R., Andreev P.G., Grishko A.K., Naumova I.Ju. The capabilities of the "cst studio suite" in the design of high-frequency devices. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma «Nadezhnost' i kachestvo» = Proceedings of the International Symposium "Reliability and Quality"*. 2020;2:158–160. (In Russ.)



5. Andreev P.G., Volkov V.A., Firsova D.I., Kitaev M.B. ANSYS HFSS capabilities in the design of printed circuit boards and electronic components. *Sovremennye informacionnye tehnologii = Modern information technologies*. 2015;(22):25–28. (In Russ.)
6. Andreev P.G., Talibov N.A., Osipov P.M. The capabilities of the "cst studio suite" in the design of high-frequency devices. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma «Nadezhnost' i kachestvo = Proceedings of the International Symposium "Reliability and Quality"*. 2007;1:146–148. (In Russ.)
7. Kuzina A.V., Andreev P.G., Naumova I.Ju., Ergaliev D.S. Investigation of the causes of electromagnetic radiation from the surface of a printed circuit board. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma «Nadezhnost' i kachestvo» = Proceedings of the International Symposium "Reliability and Quality"*. 2022;2:48–49. (In Russ.)
8. Andreev P.G., Nagaev T.R., Komzalova M.A. The effect of electromagnetic pulses on electronic equipment. *Sovremennye informacionnye tehnologii = Modern information technologies*. 2018;(28):48–51. (In Russ.)
9. Grishko A.K., Andreev P.G., Tumakova I.A., Mokshanceva A.V., Moiseev A.V., Pakajkin A.A. The use of simulation modeling in assessing the stability of radio communications. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma «Nadezhnost' i kachestvo» = Proceedings of the International Symposium "Reliability and Quality"*. 2020;1:114–115. (In Russ.)
10. Kalashnikova O.P., Andreev P.G., Grishko A.K., Fedotkin A.A., Kabdualiev Zh. Provision of shielding, screens and methods of their calculations. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma «Nadezhnost' i kachestvo» = Proceedings of the International Symposium "Reliability and Quality"*. 2022;2:148–150. (In Russ.)
11. Andreev P.G., Naumova I.Ju., Shirshov M.V. Shielding as a constructive way to ensure EMC. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma «Nadezhnost' i kachestvo» = Proceedings of the International Symposium "Reliability and Quality"*. 2010;2:148. (In Russ.)
12. Grishko A.K., Kochegarov I.I., Lysenko A.V., Andreev P.G., Goryachev N.V., Danilova E.A. Determination of electromagnetic field strength taking into account the influence of reflections. *Moscow Workshop on Electronic and Networking Technologies, MWENT 2020 – Proceedings*. Moscow, 2020:9067494.
13. Jakimov A.N., Andreev P.G., Knjazeva V.V. Modeling the propagation of electromagnetic waves in a room, taking into account the influence of local objects. *Zhurnal radioelektroniki = Journal of Radio Electronics*. 2015;(2):8. (In Russ.)

Поступила в редакцию / Received 13.03.2024

Принята к публикации / Accepted 13.04.2024