



3. Артиков А., Остапенков А. М., Курбанов Дж. М., Саломов Х.Т. Электрофические методы воздействия на пищевые продукты. Ташкент, "Фан", 1992
4. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии: Учебник для вузов. 14 стер. Изд. М.: Альянс. 2008, 751 с., ил. Библ. С. 715-718. Рус. ISBN 978-5-903034-33-8

М.Г. Нуриев, Р.М. Гизатуллин, А.О. Архипов, Р.Р. Закиров

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

(Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева – КАИ)

Высоковольтные линии электропередачи (ВЛЭП) являются распространенным типом мощных промышленных помех [1, 2, 3], и часто электронные средства (объекты энергетики, бортовые автомобильные, бортовые малых летательных аппаратов и др.) попадают под ее электромагнитные поля [4, 5].

Целью данной работы является моделирование электромагнитных полей ВЛЭП для анализа применения локального контурного экранирования для их снижения.

Наиболее распространенным видом ВЛЭП являются воздушные линии, выполненные голыми проводами, подвешенными на изоляторах и смонтированными на опорах. В условиях квазистатической природы электромагнитных полей к частоте электрической сети, магнитное поле вокруг ВЛЭП генерируется только текущим током в линии. В целом радиус проводников ВЛЭП очень маленький по сравнению с его длиной и, следовательно, она может быть рассмотрена как нить тока. С использованием законов Био-Савара и Кулона, магнитные и электрические поля вокруг линии конечной длины вычисляются выражениями [6, 7]:

$$E_{\rho} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 R} \cdot (\cos\theta_1 + \cos\theta_2), \quad E_z = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 R} \cdot (\sin\theta_1 + \sin\theta_2), \quad H_{\phi} = \frac{I}{4\pi R} \cdot (\cos\theta_1 + \cos\theta_2),$$

где Q – плотность заряда в линии; I – линейный ток. Все геометрические параметры представлены на рис. 1.

Одним из направлений для снижения влияния магнитного поля ВЛЭП на электронные средства может стать применение локального контурного экранирования в необходимых областях. Снизить магнитное поле ВЛЭП возможно при помощи противодействующего магнитного поля, создаваемого токами, которые текут в экранирующих проводах параллельных линиям передачи ВЛЭП. Экранирующие провода соединены в концах, чтобы образовать замкнутую петлю [6], как показано на рис. 2:

$$\vec{B}_R = \vec{B} + \vec{B}_R,$$



где \vec{B}_B - магнитная индукция возникающая из-за петли; \vec{B} , \vec{B}_R - соответственно, магнитная индукция без петли (без снижения) и с петлей (после снижения).

Исходя из описания данного подхода можно предложить несколько методов для реализации рекомендации снижения магнитного поля от ВЛЭП: пассивное контурное экранирование; активное контурное экранирование.

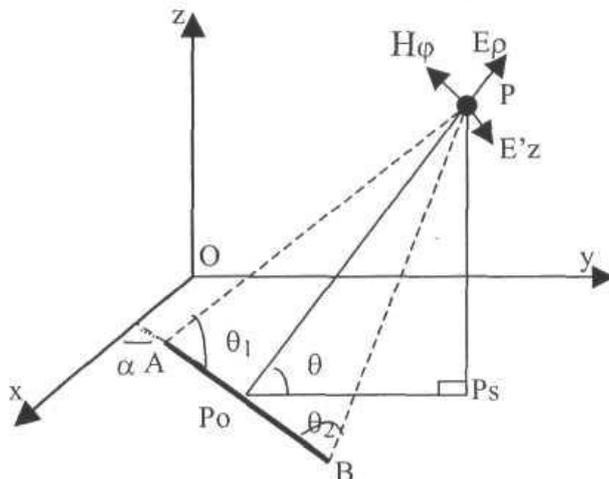


Рис. 1. Описание задачи анализа электромагнитного поля ВЛЭП

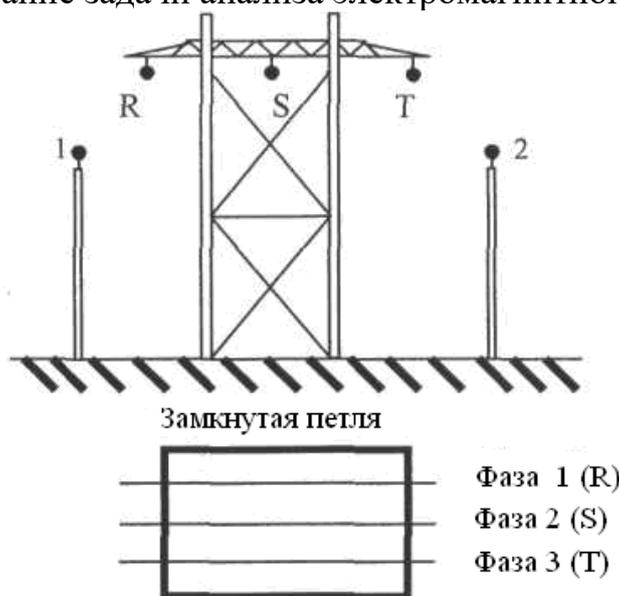


Рис. 2. Снижения магнитного поля ВЛЭП применением локального контурного экранирования (разрез вдоль линий; вид сверху)

В результате пассивного экранирования магнитные поля ВЛЭП, которые проходят через экранирующую петлю вызовут ток, который будет стремиться противодействовать полю и уменьшить его. Чтобы увеличивать сокращения магнитного поля, достигнутого наведенными токами, необходимо изменить амплитуду и фазовый угол наведенных токов. Это может быть сделано уравновешиванием индуктивного сопротивления в экранированных проводах. Одним из возможных методов является соединение последовательных емкостей в схемы экранированных проводов.

Дальнейшим развитием этого метода является соединение внешнего источника тока последовательно с экранирующей петлей. Чтобы достичь макси-



мального сокращения магнитного поля ВЛЭП фазовые токи в линиях передачи измеряются и вырабатывается управляющий сигнал для внешнего источника тока. Внешний источник тока вырабатывает обратный по направлению ток для максимальной компенсации магнитного поля основного тока ВЛЭП. При этом размеры, конфигурация и расположение экранирующей петли относительно ЛЭП выбирается экспериментальным образом. Таким образом, применение данных методов позволяет существенно снизить излучаемые магнитные поля от ВЛЭП (рис. 3) [9].

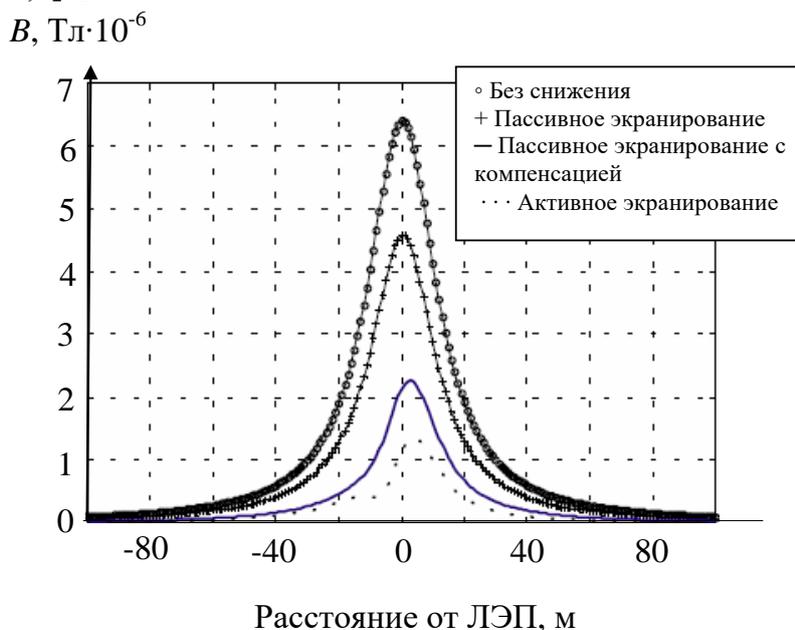


Рис. 3. Снижение магнитного поля ВЛЭП применением контурного экранирования

Таким образом, в работе рассмотрена задача моделирования электромагнитных полей ВЛЭП с целью выработки эффективного решения по их снижению применением локального контурного экранирования. Пассивное и активное контурное экранирование используют простые замкнутые петли и это решение уменьшает эффект изменения магнитного поля на низких частотах. Уменьшение магнитного поля может быть улучшено оптимизацией геометрических параметров и расположения петли (высота, длина и др.). Данный подход также можно предложить для применения снижения электромагнитных полей контактной сети и других источников [10, 11]. Для снижения электромагнитных помех в самих электронных средствах при воздействии внешних электромагнитных источниках можно предложить существующие и новые методы [12, 13, 14, 15, 16, 17].

Литература

1. Кравченко В.И., Болотов Е.А., Летунова Н.И. Радиоэлектронные средства и мощные электромагнитные помехи / Под ред. В.И. Кравченко. – М.: Радио и связь, 1987. – 256 с.
2. Гизатуллин З.М. Анализ воздействия высоковольтных линий электропередачи на функционирование цифровых элементов печатных плат // Технологии электромагнитной совместимости. – 2006. – №3. – С. 3-9.



3. Нуриев М.Г., Гизатуллин З.М., Гизатуллин Р.М. Физическое моделирование электромагнитных помех в беспилотном летательном аппарате при воздействии высоковольтной линии электропередачи // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. – 2017. – №2. – С. 119-124.
4. Гут Р.В., Кирпичников А.П., Ляшева С.А., Шлеймович М.П. Методы ранговой фильтрации в системах видеонаблюдения//Вестник технологического университета. 2017. Т. 20. № 17. С. 71-73.
5. Обухов А.В., Ляшева С.А., Шлеймович М.П. Методы автоматического распознавания автомобильных номеров// Вестник Чувашского университета. 2016. №3. С.201-208.
6. Hayashi N., Isaka K., Kume H. Power frequency magnetic field in 187/66Kv electric power substation // Proceeding of international conference on EMC. - Japan, 1989- P. 505 –510.
7. Гизатуллин З.М., Нуриев М.Г., Шкиндеров М.С., Назметдинов Ф.Р. Простая методика исследования электромагнитного излучения от электронных средств // Журнал радиоэлектроники. – 2016. – №9. – С. 7.
8. Olsen R.G., Chartier V.L. The performance of the reduced magnetic field power lines theory and measurements on an operating line // IEEE Transaction on Power Delivery. – 1993. - No3. - P. 1134 – 1137.
9. Nekhoul B., Ykhlef N. Shielding Characterization of the Electromagnetic Environment of an Electric Power Network // Proceeding of international conference on EMC. – Istanbul, 2003. – P. 345 – 348.
10. Гизатуллин З.М. Технология прогнозирования и повышения электромагнитной совместимости цифровых электронных средств при внешних высокочастотных импульсных электромагнитных воздействиях // Технологии электромагнитной совместимости. – 2010. – №3. – С. 22-29.
11. Гизатуллин З.М. Исследование эффективности экранирования корпуса персонального компьютера при преднамеренных электромагнитных воздействиях // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2008. – №1. – С. 28-31.
12. Гизатуллин З.М. Повышение эффективности экранирования корпуса электронных средств // Технологии электромагнитной совместимости. – 2010. – №3. – С. 37-43.
13. Гизатуллин З.М. Снижение электромагнитных помех в межсоединениях многослойных печатных плат // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2012. – №2 – С. 199-205.
14. Гизатуллин З.М., Гизатуллин Р.М., Назметдинов Ф.Р., Набиев И.И. Повышение помехоустойчивости электронных средств при электромагнитных воздействиях по сети электропитания // Журнал радиоэлектроники. – 2015. – №6. – С. 2.
15. Гизатуллин З.М., Гизатуллин Р.М., Нуриев М.Г., Назметдинов Ф.Р. Снижение электромагнитных помех и защита информации в вычислительной технике с помощью экранирующих стекол // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2017. – №3. – С. 36-45.



16. Газизов А.Т., Заболоцкий А.М., Газизов Т.Р. Разложение сверхкороткого импульса в структурах с лицевой связью // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2017. – №3. – С. 70-75.

17. Белоусов А.О., Заболоцкий А.М., Газизов Т.Р. Экспериментальное подтверждение модельной фильтрации в многопроводной микрополосковой линии // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. 2016. – №3. – С. 51-54.

М.Г. Нуриев, Р.М. Гизатуллин, А.О. Архипов, Р.Р. Закиров

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОМЕХ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ РАДИОПЕРЕДАЮЩИХ УСТРОЙСТВ

(Казанский национальный исследовательский технический
университет имени А.Н. Туполева – КАИ)

Электронные средства (ЭС) эксплуатируются в условиях воздействия на них электромагнитных излучений. Источниками этих излучений являются естественные источники и часто функциональные устройства в виде портативных приемопередатчиков, применяемые эксплуатационным персоналом и службами безопасности, стационарные радио и телевизионные передатчики, а также радиопередатчики подвижных объектов [1, 2, 3].

Целью данной работы является моделирование электромагнитных помех в линиях связи электронных средств при воздействии радиопередающих устройств.

В настоящее время для учета воздействия радиопередающих устройств на ЭС разработан ГОСТ Р 51317-4.3 «Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к радиочастотному электромагнитному полю. Требования и методы испытаний». Соответствие разрабатываемых ЭС данному ГОСТу предполагает, что ЭС будут нормально функционировать, т.е. удовлетворять требованиям электромагнитной совместимости в условиях воздействия радиопередающих устройств [4].

Основные характеристики электромагнитного поля определяются его источником, окружающей средой и расстоянием от источника до точки наблюдения. В соответствии с этим окружающее источник пространство, где существует электромагнитное поле, делится на ближнюю и дальнюю зоны излучения [1, 2]. В общем случае граница между ближней и дальней зонами определяется расстоянием $r \gg \lambda / 2\pi$, где λ - максимальная длина волны излучаемого электромагнитного поля. По условиям испытаний по ГОСТ Р 51317.4.3-99 данное соотношение удовлетворяется, т.е. испытываемое ЭС находится в области дальней зоны, где как электрическая, так и магнитная составляющие поля затухают пропорционально $1/r$.

При распространении электромагнитная волна воздействует на контур в печатной плате (в частности, двухсторонней или многослойной (МПП)) и при-