



Как видно из рис. 3 (кривые а' и б'), температурная зависимость частоты для резонаторов с разными конфигурациями пьезокварцев различна. ТКЧ для резонатора с вогнутыми линзовыми пьезокварцами имеет более высокую температурную зависимость вследствие изменения угла среза при обработке кварцевой пластины.

При заполнении резонансной камеры контролируемой средой (дизельным топливом, картерным маслом, выхлопными газами) изменяется добротность и резонансная частота. Информационно-измерительный комплекс строится на дифференциальной схеме. В одном канале задействован резонатор с эталонной среде, а в другом канале резонатор заполнен контролируемой средой.

Литература

1. Ультразвуковой газоанализатор / Я.Н. Пугачев, А.С. Белоногов // Инновации в системах обеспечения движения поездов: Материалы I Международной научно-практической конференции (19-20 мая 2016). – Самара: СамГУПС, 2016 г. – С.42-46.
2. Домаркас В. И., Кажис Р. Б. Контрольно-измерительные пьезоэлектрические преобразователи. Вильнюс: Минтис, 1974.

Р.И. Салимов, М.Г. Нуриев

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОМЕХ В ЛИНИЯХ СВЯЗИ АВТОМОБИЛЯ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

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

Одним из важных аспектов надежного функционирования электронных систем автомобиля является обеспечение высокого уровня помехоустойчивости. На этапе разработке данных электронных систем необходимо провести прогнозирование возможных помех и помехоустойчивости элементов при воздействии разнообразных электромагнитных источников. Высоковольтные линии электропередачи (ВЛЭП) являются распространенным типом мощных промышленных помех [1], и автомобили часто попадают под ее электромагнитные поля.

Целью данной работы является моделирование и анализ электромагнитных помех в линиях связи автомобилей при воздействии электрических и магнитных полей ВЛЭП.

Наиболее распространенным видом ВЛЭП являются воздушные линии, выполненные голыми проводами, подвешенными на изоляторах и смонтированными на опорах. Изучая электромагнитные помехи от ВЛЭП необходимо различать два их типа: 1) электромагнитные воздействия возникающие за счет напряжений и токов рабочей частоты. В данном случае большое влияние на



режимы работы ВЛЭП оказывают перенапряжения, которые являются причиной повышения амплитуды наибольшего рабочего напряжения электрической сети и генерирования электромагнитных помех большой мощности. При таких режимах ВЛЭП источниками электромагнитных помех, как правило, становятся токи и напряжения основной частоты высоковольтной линии. Наиболее распространенным аварийным режимом ВЛЭП является ее короткое замыкание (КЗ) на землю, которое сопровождается резким увеличением токов линии; 2) высокочастотные излучаемые помехи от ВЛЭП, возникающие за счет некоторых физических эффектов (основной спектр от 0,15 МГц до 4 МГц) – коронных разрядов на проводах, изоляторах или арматуре ЛЭП, которые создают импульсы тока, поступающие в провода линии. Эти импульсы распространяются по проводам в обоих направлениях от места их образования. В полосе частот от 0,15 МГц до нескольких мегагерц помехи являются, в основном, результатом распространения импульсов тока вдоль ВЛЭП. В непосредственной близости от ЛЭП преобладает поле основной частоты, а на некотором удалении от нее преобладает поле излучения [1].

Наиболее опасным, в смысле электромагнитного воздействия ВЛЭП на рабочих частотах, является ее однофазное КЗ, которое возможно в системе с глухозаземленной нейтралью, т.е. в системах с напряжением 110 кВ и выше. Изменение напряженности магнитного поля во времени t , возникающие при КЗ ЛЭП, пропорционально току КЗ и аналитически определяется как:

$$H(t) = \frac{I_{КЗ} [\exp(-t/T_C) - \cos \omega t]}{2\pi r_{ЛЭП}},$$

где $I_{КЗ}$ - ток короткого замыкания ВЛЭП, А; T_C - постоянная времени сети, принимающая значения от 0,05 до 0,1 с; $f = 50$ Гц; $r_{ЛЭП}$ – расстояние от ВЛЭП до точки наблюдения, м.

Также есть данные, которые рекомендуются для испытаний электронных средств на электромагнитное воздействие ВЛЭП. Например, в табл. 1 приведены максимальные значения напряженностей электрического и магнитного полей на уровне 2 м от поверхности Земли, рекомендуемые для воздействия на объекты, которые должны подвергаться испытаниям.

Таблица 1

Значения напряженностей электрического и магнитного полей ВЛЭП, рекомендуемые для испытаний объектов

Рабочее напряжение ЛЭП, кВ	Рекомендуемые для испытаний значения напряженностей поля			
	электрического, кВ/м		магнитного, А/м	
	Рабочий режим	Режим КЗ	Рабочий режим	Режим КЗ
330	21	18	35	1500
500	30	30	40	1800
750	42	48	55	2000



Так как ВЛЭП оборудованы быстродействующей защитой, время срабатывания которой составляет около 0,07 ... 0,1 с, то это время и должно быть принято за время воздействия магнитного поля помехи на электронные системы автомобиля при КЗ ВЛЭП. Вектор напряженности магнитного поля лежит в плоскости, перпендикулярной оси провода, и направлен по касательной к окружности, концентрической его поверхности. Из-за довольно низкой частоты магнитное поле будет почти беспрепятственно проникать в экранированные области автомобиля.

Далее, распространяющиеся от ВЛЭП электромагнитные поля рабочей частоты и радиочастоты, воздействуют на контура (сигнальное межсоединения и часть возвратного проводника) в электронных системах автомобиля и наводят в них электромагнитные помехи. Для анализа воздействия электрической составляющей поля ВЛЭП необходимо рассматривать контура как приемную антенну (например, дипольная антенна). При этом установившееся значение наведенного напряжения $U_E(t)$ на нагрузке определяется следующим образом:

$$U_E(t) = \frac{E_{\max} l_K R_H}{2\sqrt{R_H^2 + [\omega \cdot L_K - 1/(\omega C)]^2}} \sin(\omega \cdot t + \psi - \varphi),$$

где E_{\max} – максимальное значение напряженности электрического поля, В/м; l_K – длина контура, м; R_H – сопротивление нагрузки, Ом; ω – частота воздействия, Гц; L_K – индуктивность контура, Гн; C – емкость контура, Ф; ψ – начальная фаза; φ – угол определяемый из равенства:

$$\varphi = \arctg\{[\omega L - 1/(\omega C)]/(R_H + R_{II})\}, \quad \pi/2 \geq \varphi \geq -\pi/2,$$

где R_{II} – сопротивление излучения контура (35 Ом для дипольной антенны), Ом. При этом для определения первичных параметров контура (L , C) используются известные аналитические формулы из [2].

Для анализа воздействия магнитной составляющей поля ВЛЭП, контура в электронных системах автомобиля рассматриваются как рамочные антенны и выражение для оценки помех можно представить в виде:

$$U_H(t) = \frac{H_{\max} \cdot \mu_0 \cdot S_K \cdot \omega \cdot R_{OB}}{z} [\cos(\omega t - \varphi) - \cos \varphi], \quad S_K = l \cdot h_K,$$

$$R_{OB} = R_{II} R_H / (R_{II} + R_H), \quad z = \sqrt{R_{OB}^2 (1 - \omega^2 LC) + (\omega L)^2},$$

$$\varphi = \arctg\{[\omega L / (R_{OB} (1 - \omega^2 / \omega_p^2))]\}, \quad \omega_p = \sqrt{1/(L \cdot C)},$$

где H_{\max} – максимальное значение магнитной напряженности поля помехи, В/м; h_K – ширина контура, м; μ_0 – магнитная постоянная ($4\pi \cdot 10^{-7}$).

Рассмотрим результаты моделирования электромагнитных помех в контурах электронных систем автомобиля обусловленные режимом КЗ ВЛЭП (рис. 1). Исходные данные: расстояние от провода ВЛЭП до исследуемого контура – $r = 50$ м; рабочая частота ВЛЭП – $f = 50$ Гц; параметры контура: $l = 150$ мм, h_K



= 20 мм; сопротивление нагрузки – R_H - 50 Ом; параметры тока КЗ: $I_{КЗ} = 50$ кА, $T_c = 0,5$. В данном случае напряженность электрического поля ВЛЭП рассчитывается по достаточно сложной методике и поэтому используем известные результаты из [3].

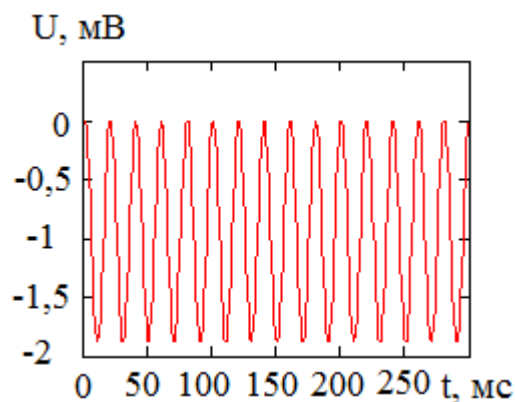


Рис. 1. Электромагнитная помеха в исследуемом контуре

Как видно из результатов моделирования, электромагнитные поля, возникающие в рабочем режиме и режиме короткого замыкания ВЛЭП, хотя и имеют большие значения напряженности, но не создают существенных электромагнитных помех в контурах электронных систем автомобиля. Это объясняется очень низкой частотой электромагнитного поля и быстрым убыванием поля в зависимости от расстояния. Данная задача также эффективно и более точно решается с помощью физического моделирования [4, 5].

При необходимости повышения помехоустойчивости электронных систем автомобиля возможно применение следующих новых решений, представленных в [6, 7]. При этом также актуальны исследования помехоустойчивости электронных систем автомобиля при электростатическом разряде [8] и электромагнитном импульсе молнии [9, 10].

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. Хабигер Э. Электромагнитная совместимость. Основы её обеспечения в технике / Пер. с нем. И. П. Кужекина; Под ред. Б. К. Максимова. – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 295 с.
3. Гизатуллин З.М. Анализ воздействия высоковольтных линий электропередачи на функционирование цифровых элементов печатных плат // Технологии электромагнитной совместимости. – 2006. – № 3. – С. 3.
4. Гизатуллин З.М., Гизатуллин Р.М., Нуриев М.Г. Математические модели для физического моделирования задач электромагнитной совместимости // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2015. – №1-2. – С. 115-122.
5. Гизатуллин З.М., Нуриев М.Г., Гизатуллин Р.М. Физическое моделиро-



вание электромагнитных помех при электромагнитном воздействии на макро-объекты // Журнал радиоэлектроники: электронный журнал. – 2015. – №6. – С. 1.

6. Гизатуллин З.М. Повышение эффективности экранирования корпуса электронных средств // Технологии электромагнитной совместимости. – 2010. – №3. – С. 37-43.

7. 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.

8. Гизатуллин З.М., Гизатуллин Р.М. Экспериментальные исследования помехоустойчивости персонального компьютера при импульсном разряде статического электричества // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2011. – №3. – С. 78-83.

9. Гизатуллин З.М. Анализ электромагнитной обстановки внутри зданий при воздействии разряда молнии // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2008. - №1-2. – С. 38-47.

10. Гизатуллин З.М., Фазулянов Ф.М., Шувалов Л.Н., Гизатуллин Р.М. Целостность информации в USB флэш-накопителе при воздействии импульсного магнитного поля // Журнал Радиоэлектроники. 2015. – №8. – с. 8.

О.Н. Сапрыкин, Е.Р. Майоров, Л.А. Уварова

ВЫДЕЛЕНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ РАЙОНОВ НА УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ ГОРОДА ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ МИКРОСКОПИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ

(Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева)

В настоящее время процесс урбанизации во всех странах идет нарастающими темпами, что ведет к быстрому росту городов, увеличению количества жителей в них, ухудшению транспортной обстановки. Неэффективные транспортные системы городов остаются одной из главных проблем для жителей. По последним данным, из-за плохого состояния улично-дорожных сетей городов, люди в среднем тратят в пробках около трех месяцев своей жизни. Поэтому транспортной инфраструктуре требуется постоянная реконструкция для улучшения и поддержания социально-экономического состояния города [1].

Транспортная инфраструктура города является примером сложной системы, нахождение оптимального функционирования которой без применения средств автоматизации невозможно. Для решения данной задачи используют комплексы программно-аппаратных средств, включающих средства мониторинга транспортной ситуации, инструменты анализа данных и системы поддержки принятия решений. Одним из компонентов последней является система