

Технологии ЭМС

В номере:

- Декомпозиция проводников при численном анализе эмиссии излучаемых радиопомех
- Повышение эффективности молниеотводов
- Универсальное комбинированное устройство защиты систем электроснабжения 6(10) кВ от мощных электромагнитных воздействий
- Специализированный измеритель напряженности электрического поля для измерения эффективности экранирования реальных конструкций
- Исследование стойкости печатных узлов к воздействию электростатического разряда
- Повышение качества электрической энергии и обеспечение электромагнитной совместимости электрооборудования в сетях нефтедобывающих предприятий с помощью параллельного активного фильтра
- Автоматизация расчета эффективности экранирования
- К вопросу аттестации затухания измерительной площадки
- Сертификация электронных средств. Базовые системы международной стандартизации



Уважаемые читатели!

Актуальность проблемы ЭМС непрерывно возрастает. Можно отметить появление новых областей исследований и инженерных приложений. Среди них следует отметить такие сферы, как целостность сигнала, функциональная безопасность, зависящая от электромагнитной совместимости, архитектурное экранирование. Наш журнал стремится быть в русле развития перспективных научных и технических разработок, новых направлений. Одним из эффективных методов информационного обмена являются конференции и симпозиумы, на которых происходят встречи специалистов, организуются выставки, проводятся обсуждения актуальных вопросов в области ЭМС. Международные конференции и симпозиумы по ЭМС регулярно проводятся на международном уровне. По данным, которыми располагает редакция, в

2013 году планируется Международная выставка и семинара по ЭМС «EMV 2013» (Германия, Штутгарт, 5–7 марта 2013), Азиатско-Тихоокеанский Международный симпозиум и выставка по ЭМС «АРЕМС 2013» (Австралия, Мельбурн, 20–23 мая 2013), Международный симпозиум по ЭМС IEEE (США, Колорадо, Денвер, 5–9 августа 2013, Европейский симпозиум по ЭМС «EMC Europe 2013» (Бельгия, Брюгге, 2–6 сентября).

На Международной выставке и конференции по ЭМС EMV 2013 планируется рассмотреть следующие вопросы: контрольное оборудование, системные компоненты, защита от молний и гроз, электромагнитные компоненты, фильтры, исследования и инновации в области ЭМС, измерительное оборудование и другие.

На симпозиуме АРЕМС 2013 кроме традиционных вопросов ЭМС, связанных с испытаниями и измерениями, проектированием, защитой от молний, стандартизацией и другими, будут рассматриваться задачи моделирования и эффективных вычислений, беспроводной передачи энергии, ЭМС в современных коммуникациях, ЭМС на транспорте и авиации.

Программа Международного симпозиума по ЭМС IEEE предусматривает 11 технических секций, среди которых можно выделить секцию «Нанотехнологии и перспективные материалы», а также подсекции, посвященные «умным» электрическим сетям (Smart Grid), транспортным системам и развивающимся беспроводным технологиям.

Программа Европейского симпозиума по ЭМС достаточно традиционна для подобных европейских мероприятий. Она, кроме вопросов, которые широко представлены на других конференциях и симпозиумах, затрагивает вопросы образования в области ЭМС, функциональную безопасность, влияние электромагнитных факторов на биологические объекты.

Как видно, научно-техническая общественность всего мира уделяет самое серьезное внимание развитию проблемы ЭМС и решению актуальных задач. Это не удивительно, поскольку область ЭМС наиболее близка к рынку, затрагивает огромное число производителей электроники, от решения вопросов ЭМС зависит успех в конкурентной борьбе производителей самых разнообразных технических средств.

Остается сожалеть, что для отечественной промышленности вопросы ЭМС не являются первоочередными и, в большинстве случаев, ими занимаются только тогда, когда возникли проблемы при сертификации продукции. Часто отсутствует понимание, что ЭМС следует заниматься с первых шагов разработки концепции аппаратуры, системы, любого технического средства. Время и средства, затраченные на проработку вопросов ЭМС, с лихвой окупятся за счет качества изделия и сроков прохождения сертификационных испытаний.

По имеющимся в редакции сведениям в этом году, к большому сожалению, не состоится Международный симпозиум по ЭМС, который многие годы проходил в ЛЭТИ (С.-Петербург). Ранее перестала проводиться Всероссийская конференция по ЭМС, которую многие годы организовывал ВИТУ (С.-Петербург). Эти мероприятия позволяли научно-инженерной общественности ежегодно встречаться и обсуждать наиболее актуальные вопросы. Сейчас такой возможности не стало.

Остается надеяться, что профессиональные встречи возродятся, и проблема ЭМС получит в стране дальнейшее развитие.

*Главный редактор, д.т.н., профессор Кечиев Л.Н.,
профессор МИЭМ НИУ ВШЭ*

Технологии электромагнитной совместимости *Technologies of electromagnetic compatibility* 2013. № 1(44).

ISSN 1729-2670

УЧРЕДИТЕЛЬ ЖУРНАЛА:

ООО «Издательский Дом «ТЕХНОЛОГИИ».

Зарегистрирован в Министерстве Российской Федерации по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций. Регистрационное свидетельство ПИ № 77-9669 от 24 августа 2001 года

Оформить подписку можно по объединенному каталогу «Пресса России»: 10362 — полугодовой индекс; в издательстве (предпочтительно) (8-985-134-4367).

**Главный редактор журнала,
председатель редакционного совета**
КЕЧЕВ ЛЕОНИД НИКОЛАЕВИЧ, д.т.н., проф.
Зам. главного редактора журнала
КАРМАШЕВ ВИКТОР СЕРГЕЕВИЧ
АЛЕШИН АНДРЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ, к.т.н.
Редакционный совет:
АКБАШЕВ БЕСЛАН БОРИСОВИЧ, д.т.н.
БАЛЮК НИКОЛАЙ ВАСИЛЬЕВИЧ, д.т.н., проф.
ВОРШЕВСКИЙ АЛЕКСАНДР АЛЕКСЕЕВИЧ, д.т.н., проф.
КИРИЛЛОВ ВЛАДИМИР ЮРЬЕВИЧ, д.т.н., проф.
КОСТРОМИНОВ АЛЕКСАНДР МИХАЙЛОВИЧ,
д.т.н., проф.
КРИВОВ АНАТОЛИЙ СЕРГЕЕВИЧ, д.т.н., проф.
МЫРОВА ЛЮДМИЛА ОШЕРОВНА, д.т.н., проф.
НЕ ФЕДОВ ВИКТОР ИВАНОВИЧ, д.т.н., проф.
НИКИТИНА ВАЛЕНТИНА НИКОЛАЕВНА, д.мед.н., проф.
НИКИФОРОВ ВЛАДИМИР ВАСИЛЬЕВИЧ, к.т.н.
ОЛЬШЕВСКИЙ АЛЕКСАНДР НИКОЛАЕВИЧ, к.т.н.
ПОЖИДАЕВ ЕВГЕНИЙ ДМИТРИЕВИЧ, д.т.н., проф.
ПУГАЧЕВ СЕРГЕЙ ВАСИЛЬЕВИЧ
САРЫЛОВ ВЛАДИМИР НИКОЛАЕВИЧ
САХАРОВ КОНСТАНТИН ЮРЬЕВИЧ, д.т.н., с.н.с.
СТЕПАНОВ ПАВЕЛ ВЛАДИМИРОВИЧ, д.т.н., проф.
СУХОРОКОВ СЕРГЕЙ АРСЕНЬЕВИЧ, к.т.н., доцент
ТУХАС ВЯЧЕСЛАВ АНАТОЛЬЕВИЧ, д.т.н., проф.
ФОМИНИЧ ЭДУАРД НИКОЛАЕВИЧ, д.т.н., проф.
ЧЕРМОШЕНЦЕВ СЕРГЕЙ ФЕДОРОВИЧ, д.т.н., проф.

ИЗДАТЕЛЬ ЖУРНАЛА:
ООО «Издательский Дом «ТЕХНОЛОГИИ».

РЕДАКЦИЯ ЖУРНАЛА:
НОЧУ «Новая Инженерная Школа»

**Издается при содействии кафедры РЭТ
МИЭМ-ННУ ВШЭ.**

Главный редактор СТАСЬ Константин Николаевич
Исполнительный директор
Петришина Марина Олеговна

Адрес: 105005, Москва, Наб. академика Туполева, 15,
стр. 29, оф. 117.

ООО «Издательский Дом «ТЕХНОЛОГИИ»

Редакция: тел./факс 8 (495) 916-89-64,
e-mail: kln1940@gmail.com.

Статьи рецензируются. Статьи опубликованы в авторской редакции. Мнение членов редакционного совета может не совпадать с точкой зрения авторов публикаций. Перепечатка материалов допускается только с письменного разрешения редакции. Рукописи не возвращаются.

Журнал включен в перечень ведущих журналов и изданий Высшей аттестационной комиссии (ВАК).

Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИНИТИ. Сведения о журнале ежегодно публикуются в международной справочной системе по периодическим и продолжающимся изданиям «Ulrich's Periodicals Directory».

Содержание

Лемешко Н.В., Захарова С.С. Декомпозиция проводников при численном анализе эмиссии излучаемых радиопомех	3
Рябов Ю.Г., Ермаков К.В., Тюренков С.Н. Повышение эффективности молниеотводов	11
Фоминич Э.Н., Филиппов В.Г., Исаков А.В., Парахин Ю.Н. Универсальное комбинированное устройство защиты систем электропитания 6(10) кВ от мощных электромагнитных воздействий	18
Журавлев И.Н., Кечиев Л.Н., Крючков Н.М., Савин Ю.В., Демский Д.В. Специализированный измеритель напряженности электрического поля для измерения эффективности экранирования реальных конструкций	23
Кузнецов В.В., Кечиев Л.Н. Исследование стойкости печатных узлов к воздействию электростатического разряда	29
Абрамович Б.Н., Сычев Ю.А., Устинов Д.А. Повышение качества электрической энергии и обеспечение электромагнитной совместимости электрооборудования в сетях нефтедобывающих предприятий с помощью параллельного активного фильтра	39
Демский Д.В., Марченко М.В., Фомина И.А. Автоматизация расчета эффективности экранирования	44
Шабанов Р.И., Романчев В.С., Захаров А.А., Захаров А.В., Яковлев К.М. К вопросу аттестации затухания измерительной площадки	55
Сертификация электронных средств Котельников Д.С. Базовые системы международной стандартизации	66
<i>Новая Инженерная Школа</i>	



Уважаемые читатели!

Актуальность проблемы ЭМС непрерывно возрастает. Можно отметить появление новых областей исследований и инженерных приложений. Среди них следует отметить такие сферы, как целостность сигнала, функциональная безопасность, зависящая от электромагнитной совместимости, архитектурное экранирование. Наш журнал стремится быть в русле развития перспективных научных и технических разработок, новых направлений. Одним из эффективных методов информационного обмена являются конференции и симпозиумы, на которых происходят встречи специалистов, организуются выставки, проводятся обсуждения актуальных вопросов в области ЭМС. Международные конференции и симпозиумы по ЭМС регулярно проводятся на международном уровне. По данным, которыми располагает редакция, в

2013 году планируется Международная выставка и семинара по ЭМС «EMV 2013» (Германия, Штутгарт, 5–7 марта 2013), Азиатско-Тихоокеанский Международный симпозиум и выставка по ЭМС «АРЕМС 2013» (Австралия, Мельбурн, 20–23 мая 2013), Международный симпозиум по ЭМС IEEE (США, Колорадо, Денвер, 5–9 августа 2013, Европейский симпозиум по ЭМС «EMC Europe 2013» (Бельгия, Брюгге, 2–6 сентября).

На Международная выставке и конференции по ЭМС EMV 2013 планируется рассмотреть следующие вопросы: контрольное оборудование, системные компоненты, защита от молний и гроз, электромагнитные компоненты, фильтры, исследования и инновации в области ЭМС, измерительное оборудование и другие.

На симпозиуме АРЕМС 2013 кроме традиционных вопросов ЭМС, связанных с испытаниями и измерениями, проектированием, защитой от молний, стандартизацией и другими, будут рассматриваться задачи моделирования и эффективных вычислений, беспроводной передачи энергии, ЭМС в современных коммуникациях, ЭМС на транспорте и авиации.

Программа Международного симпозиума по ЭМС IEEE предусматривает 11 технических секций, среди которых можно выделить секцию «Нанотехнологии и перспективные материалы», а также подсекции, посвященные «умным» электрическим сетям (Smart Grid), транспортным системам и развивающимся беспроводным технологиям.

Программа Европейского симпозиума по ЭМС достаточно традиционна для подобных европейских мероприятий. Она, кроме вопросов, которые широко представлены на других конференциях и симпозиумах, затрагивает вопросы образования в области ЭМС, функциональную безопасность, влияние электромагнитных факторов на биологические объекты.

Как видно, научно-техническая общественность всего мира уделяет самое серьезно внимание развитию проблемы ЭМС и решению актуальных задач. Это не удивительно, поскольку область ЭМС наиболее близка к рынку, затрагивает огромное число производителей электроники, от решения вопросов ЭМС зависит успех в конкурентной борьбе производителей самых разнообразных технических средств.

Остается сожалеть, что для отечественной промышленности вопросы ЭМС не являются первоочередными и, в большинстве случаев, ими занимаются только тогда, когда возникли проблемы при сертификации продукции. Часто отсутствует понимание, что ЭМС следует заниматься с первых шагов разработки концепции аппаратуры, системы, любого технического средства. Время и средства, затраченные на проработку вопросов ЭМС, с лихвой окупятся за счет качества изделия и сроков прохождения сертификационных испытаний.

По имеющимся в редакции сведениям в этом году, к большому сожалению, не состоится Международный симпозиум по ЭМС, который многие годы проходил в ЛЭТИ (С.-Петербург). Ранее перестала проводиться Всероссийская конференция по ЭМС, которую многие годы организовывал ВИТУ (С.-Петербург). Эти мероприятия позволяли научно-инженерной общественности ежегодно встречаться и обсуждать наиболее актуальные вопросы. Сейчас такой возможности не стало.

Остается надеяться, что профессиональные встречи возродятся, и проблема ЭМС получит в стране дальнейшее развитие.

*Главный редактор, д.т.н., профессор Кечиев Л.Н.,
профессор МИЭМ НИУ ВШЭ*

Технологии электромагнитной совместимости
Technologies of electromagnetic compatibility
 2013. № 1(44).

ISSN 1729-2670

УЧРЕДИТЕЛЬ ЖУРНАЛА:

ООО «Издательский Дом «ТЕХНОЛОГИИ».

Зарегистрирован в Министерстве Российской Федерации по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций. Регистрационное свидетельство ПИ № 77-9669 от 24 августа 2001 года

Оформить подписку можно по объединенному каталогу «Пресса России»: 10362 — полугодий индекс, в издательстве (предпочтительно) (8-985-134-4367).

Главный редактор журнала, председатель редакционного совета
 КЕЧИН ЛЕОНИД НИКОЛАЕВИЧ, д.т.н., проф.
 Зам. главного редактора журнала
 КАРМАШЕВ ВИКТОР СЕРГЕЕВИЧ
 АЛЕШИН АНДРЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ, к.т.н.

Редакционный совет:

АЗБАШЕВ БЕСЛАН БОРИСОВИЧ, д.т.н.
 БАЛЮК НИКОЛАЙ ВАСИЛЬЕВИЧ, д.т.н., проф.
 ВОИШЕВСКИЙ АЛЕКСАНДР АЛЕКСЕЕВИЧ, д.т.н., проф.
 КИРИЛЛОВ ВЛАДИМИР ЮРЬЕВИЧ, д.т.н., проф.
 КОСТРОМИНОВ АЛЕКСАНДР МИХАЙЛОВИЧ, д.т.н., проф.
 КРИВОВ АНАТОЛИЙ СЕРГЕЕВИЧ, д.т.н., проф.
 МЫРОВА ЛЮДМИЛА ОШЕРОВНА, д.т.н., проф.
 НЕ ФЕДОВ ВИКТОР ИВАНОВИЧ, д.т.н., проф.
 НИКИТИНА ВАЛЕНТИНА НИКОЛАЕВНА, д.мех.н., проф.
 НИКИФОРОВ ВЛАДИМИР ВАСИЛЬЕВИЧ, к.т.н.
 ОЛЬШЕВСКИЙ АЛЕКСАНДР НИКОЛАЕВИЧ, к.т.н.
 ПОЖИДАЕВ ЕВГЕНИЙ ДМИТРИЕВИЧ, д.т.н., проф.
 ПУГАЧЕВ СЕРГЕЙ ВАСИЛЬЕВИЧ
 САРЬЛОВ ВЛАДИМИР НИКОЛАЕВИЧ
 САХАРОВ КОНСТАНТИН ЮРЬЕВИЧ, д.т.н., с.м.с.
 СТЕПАНОВ ПАВЕЛ ВЛАДИМИРОВИЧ, д.т.н., проф.
 СУХОРОУКОВ СЕРГЕЙ АРСЕНЬЕВИЧ, к.т.н., доцент
 ТУХАС ВЯЧЕСЛАВ АНАТОЛЬЕВИЧ, д.т.н., проф.
 ФОМИНИЧ ЭДУАРД НИКОЛАЕВИЧ, д.т.н., проф.
 ЧЕРМОШЕНЦЕВ СЕРГЕЙ ФЕДОРОВИЧ, д.т.н., проф.

ИЗДАТЕЛЬ ЖУРНАЛА:

ООО «Издательский Дом «ТЕХНОЛОГИИ».

РЕДАКЦИЯ ЖУРНАЛА:

НОЧУ «Новая Инженерная Школа»

Издается при содействии кафедры РЭТ
 МНЭМ-НИУ ВШЭ.

Главный редактор СТАСЬ Константин Николаевич

Исполнительный директор

Петришина Марина Олеговна

Адрес: 105005, Москва, Наб. академика Туполева, 15,
 стр. 29, оф. 117.

ООО «Издательский Дом «ТЕХНОЛОГИИ»

Редакция: тел./факс 8 (495) 916-89-64,

e-mail: kln1940@gmail.com

Статьи рецензируются. Статьи опубликованы в авторской редакции. Мнение членов редакционного совета может не совпадать с точкой зрения авторов публикаций. Перепечатка материалов допускается только с письменного разрешения редакции. Рукописи не возвращаются.

Журнал включен в перечень ведущих журналов и изданий Высшей аттестационной комиссии (ВАК).

Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИНИТИ. Сведения о журнале ежегодно публикуются в международной справочной системе по периодическим и продолжающимся изданиям «Ulrich's Periodicals Directory».

Содержание

<i>Леменико Н.В., Захарова С.С.</i> Декомпозиция проводников при численном анализе эмиссии излучаемых радиопомех	3
<i>Рябов Ю.Г., Ермаков К.В., Тюренков С.Н.</i> Повышение эффективности молниеотводов	11
<i>Фоминич Э.Н., Филиппов В.Г., Исаков А.В., Парухин Ю.Н.</i> Универсальное комбинированное устройство защиты систем электроснабжения 6(10) кВ от мощных электромагнитных воздействий	18
<i>Журавлев И.Н., Кечин Л.Н., Крючков Н.М., Савин Ю.В., Демский Д.В.</i> Специализированный измеритель напряженности электрического поля для измерения эффективности экранирования реальных конструкций	23
<i>Кузнецов В.В., Кечин Л.Н.</i> Исследование стойкости печатных узлов к воздействию электростатического разряда	29
<i>Абрамович Б.Н., Сычев Ю.А., Устинов Д.А.</i> Повышение качества электрической энергии и обеспечение электромагнитной совместимости электрооборудования в сетях нефтедобывающих предприятий с помощью параллельного активного фильтра	39
<i>Демский Д.В., Марченко М.В., Фомина И.А.</i> Автоматизация расчета эффективности экранирования	44
<i>Шабанов Р.П., Романчев В.С., Захаров А.А., Захаров А.В., Яковлев К.М.</i> К вопросу аттестации затухания измерительной площадки ...	55
<i>Сертификация электронных средств</i> <i>Котельников Д.С.</i> Базовые системы международной стандартизации	66

Новая Инженерная Школа

УДК 621.317.7:621.391

И.Н. Журавлев, Л.Н. Кечиев, Н.М. Крючков, Ю.В. Савин, Д.В. Демский

Специализированный измеритель напряженности электрического поля для измерения эффективности экранирования

Дается описание принципа работы и схемотехнических особенностей малогабаритного автономного измерителя напряженности электрического поля. Измеритель предназначен для измерения поля длительное время в замкнутом объеме. Он не требует подвода энергии, а, следовательно, может работать в полностью герметичном отсеке. Запись ведется на флэш-память с последующим считыванием после завершения цикла измерений.

электрическое поле, эффективность экранирования, измерение, автономный режим, микроконтроллер, флэш-память

Введение

Неуклонный рост быстродействия электронных средств приводит к повышению их чувствительности к воздействию внешних электромагнитных полей. Так же за последние десятилетия существенно расширился рабочий диапазон частот, возросли уровни мощности электромагнитных воздействий, увеличилось число источников помех самой разнообразной природы. Интеграция рынка и расширение действия стандартов ЭМС заставляют производителей все больше уделять внимания методам и средствам обеспечения ЭМС. Экранирование является одним из основных методов защиты электронной аппаратуры от внешних дестабилизирующих электромагнитных воздействий или устранения повышенных уровней помехозащиты от аппаратуры. По этим причинам экранирование является одним из важнейших факторов обеспечения ЭМС [1–3].

Известно, что эффективность электромагнитного экранирования к сигналам разных частот определяется не только выбором материала (его проводимости и толщины), но и конструкцией экрана: наличием щелей, отверстий и других неоднородностей. Теоретическая оценка эффективности экрана носит весьма условный характер, поскольку трудно получить объективную модель экрана с учетом реальной конструкции. При проектировании и изготовлении различных экранов и экранирующих корпусов необходимо количественно оценивать эффективность экранирования реальной конструкции. Существующие методики и средства измерения не позволяют достоверно измерить эффективность экранирования реальных конструкций, т.к. производится с помощью моделирования и/или математического расчета по известным формулам.

Измерение эффективности экранирования

Наиболее достоверно и просто оценить эффективность электромагнитного экранирования можно с помощью измерений напряженности поля вне экрана и внутри экрана и дальнейшему вычислению количественной оценки эффективности экранирования.

Эффективность электрического и электромагнитного экранирования вычисляется по формуле:

$$S = 20 \lg \left(\frac{E}{E_{sh}} \right), \text{дБ} \quad (1)$$

где E – напряженность электрического поля в некоторой точке пространства до установки экрана (В/м); E_{sh} – напряженность электрического поля в той же точке пространства после установки экрана (В/м).

Эффективность экранирования магнитной составляющей поля вычисляется по аналогичной формуле:

$$S = 20 \lg \left(\frac{H}{H_{sh}} \right), \text{ дБ} \quad (2)$$

где H – напряженность магнитного поля в некоторой точке пространства до установки экрана (А/м);
 H_{sh} – напряженность магнитного поля в той же точке пространства после установки экрана (А/м).



Для наиболее достоверной оценки эффективности экранирования реальных конструкций необходимо специализированное устройство, измеряющее электромагнитное поле внутри экранированных блоков. Поэтому на кафедре РТУиС МИЭМ¹ был разработан и изготовлен макет автономного малогабаритного измерителя электромагнитного поля, который устанавливается внутри испытуемого экранированного блока (рис. 1) [5, 6].

Рис. 1. Измеритель с антенной (антенна изображена не полностью)

Первый опытный образец измерителя питается от литиевого элемента CR2032, но учитывая низкое потребление можно использовать более миниатюрные элементы.

На рис. 2 изображена схема проведения измерения напряженности поля внутри экранированного блока с помощью такого устройства.



Рис. 2. Схема проведения измерения поля внутри экранированного блока

Основные узлы прибора (см. рис. 3) выпускаются в интегральном исполнении и малогабаритных корпусах, что позволило реализовать такое устройство в миниатюрном исполнении. Размеры образца составляют $95 \times 25 \times 10$ мм, но после проработки схемотехники и конструкции в последующих исполнениях объем изделия можно уменьшить не менее, чем на 30–40 %.

Устройство производит цикл измерений с сохранением значений в собственную энергонезависимую память. Каждому измерению присваивается свой порядковый номер. По окончании цикла измерений устройство извлекается из испытуемого объекта и подключается к персональному компьютеру (ПК) для считывания результатов измерений. На основе полученных данных по (1) вычисляется значение эффективности экранирования.

Для получения зависимости эффективности экранирования от частоты необходимо в процессе испытания менять частоту воздействия с определенным шагом через фиксированные интервалы времени. Зная период сохранения значений в память и период перестройки частоты, можно установить какой частоте воздействия какие номера измерений соответствуют. Далее для каждой частоты вычисляется эффективность экранирования и по полученным значениям строится зависимость эффективности экранирования от частоты.

Современная элементная база позволила реализовать такое устройство с высокой чувствительностью и приемлемыми габаритами.

¹ С 1 июля 2012 года кафедра РЭТ МИЭМ НИУ ВШЭ.

Преимуществом данного способа измерения является то, что измерительное устройство находится внутри испытуемого блока, таким образом, отпадает необходимость кабельной линии от измерительной антенны к измеряемому блоку, которая может создать дополнительную нештатную апертуру в испытуемом блоке.

По возможности испытания рекомендуется проводить в безэховой или полубезэховой камере, обеспечивающей область однородного поля.

Описание измерителя

На рис. 3 изображена структурная схема измерителя (на схеме не отражены цепи и элементы, отвечающие за питания узлов измерителя).



Рис. 3. Структурная схема измерителя напряженности поля

Сигнал, наведенный в антенне, поступает на вход детектирующего логарифмического усилителя. Благодаря использованию детектирующего логарифмического усилителя измеритель имеет широкий динамический диапазон [4]. Это особенно важно для данного применения, поскольку заранее сложно оценить влияние реальной конструкции на эффективность экранирования и соответственно уровень остаточного поля внутри экранированного блока.

Измерения производятся в децибелах, что удобно для вычисления численного значения эффективности экранирования, которую принято выражать в децибелах.

Входной каскад выполнен на логарифмическом детектирующем усилителе AD8307. Микросхема работает в полосе частот от 10 Гц до 500 МГц и имеет динамический диапазон около 90 дБ. Пределы изменения амплитуды входного напряжения – от 56 мкВ (–72 дБм на нагрузке 50 Ом) до 1,41 В (+16 дБм). При этом отклонение протестированного выходного напряжения от логарифмической зависимости не превышает ± 1 дБ. Основу микросхемы составляет шестикаскадный логарифмический усилитель, имеющий усиление 14,3 дБ на каскад в полосе частот до 900 МГц и отдельные для каждого каскада детекторные секции. Дополнительные три детекторных секции обеспечивают обработку сигналов больших амплитуд. Время установления выходного сигнала – 400 нс. Фирма производитель гарантирует характеристики только до частоты 500 МГц.

Усилитель на AD8307 закрыт металлическим экраном со съемной крышкой. По периметру экрана проходит барьер из металлизированных отверстий, которые на нижней стороне платы соединяются с полигоном земли. С нижней стороны платы расположен коаксиальный высокочастотный разъем типа SMA для подключения антенны. Таким образом, достигается тщательное экранирование. Так же корпус измерителя обклеивается экранирующей фольгой для исключения влияния цифровой части на измеряемое поле внутри блока.

Передаточная характеристика используемого детектирующего логарифмического усилителя AD8307 изображена на рис. 4.

Прологарифмированный сигнал поступает в аналого-цифровой преобразователь (АЦП) микроконтроллера. Процессор периодически по сигналу таймера считывает текущие данные с выхода АЦП и с помощью устройства ввода/вывода записывает их во внешнюю энергонезависимую память.

Для считывания данных устройство подключается к порту USB ПК. При этом процессор микроконтроллера считывает данные из энергонезависимой памяти с помощью устройства ввода/вывода и передает их с помощью универсального асинхронного приемо-передатчика (блок UART микроконтроллера) по интерфейсу RS232 во внешний преобразователь интерфейсов RS232/USB. В качестве конвертера RS232/USB используется доступная специализированная микросхема FT232RL.

В связи с тем, что во многих современных компьютерах отсутствует выход COM-порта (на современных ноутбуках практически на всех), то решено осуществлять обмен с ПК с помощью интерфейса USB. Далеко не все микроконтроллеры сейчас имеют периферию для работы непосредственно с USB, а программная реализация этого протокола достаточно сложна и отнимает немало процессорного времени. С другой стороны, подавляющее большинство микроконтроллеров имеет модуль универсального асинхронного приемопередатчика, который может работать в режиме, совместимом с протоколом RS-232, т.е. такой микроконтроллер при условии согласования уровней сигналов можно подключать непосредственно к COM-порту компьютера. Данная проблема решается с помощью микросхем серии FT232. Особый интерес вызывает модель FT232RL. Эта микросхема представляет собой практически готовое решение, подключаемое к ПК по USB и имеющее на выходе сигналы UART. Эти сигналы понятны для любого микроконтроллера. Для подключения вполне достаточно двух их них – TX и RX.

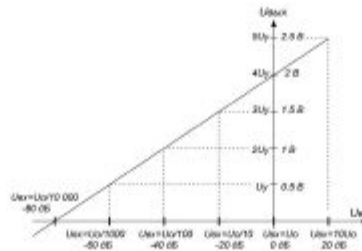


Рис. 4. Идеализированная передаточная характеристика детектирующего логарифмического усилителя AD8307

Операционная система ПК воспринимает такое устройство как виртуальный COM-порт (*VCP: Virtual COM Port*) и позволяет работать с ним с помощью обычных терминальных средств. Для работы с ПК необходим так же драйвер, который доступен для скачивания на сайте производителя.

Схема включения FT232RL очень проста и содержит в себе самый минимум элементов. Единственной сложностью в ее использовании является размеры самой микросхемы – она имеет шаг ножек 0,65 мм и их ширину 0,3 мм. По заявлениям производителя микросхема FT232RL выдерживает сильный перегрев и хорошо защищена от статики, что позволяет произвести распаку обычным маломощным паяльником с тонко заточенным жалом.

Выбор и обоснование антенны измерителя

Поскольку измеритель предназначен для установки в блоки электронной аппаратуры, то принципиально важным требованием является его малый размер. Так как прибор предназначен для измерения эффективности электрического и электромагнитного экранирования, где важны отношения соответствующих напряженностей полей без экрана и после установки экрана, то это позволяет отказаться от антенны, размеры которой сопоставимы с длиной волны измеряемого сигнала, и использовать антенну с размерами много меньше длины волны измеряемого сигнала. По этой причине на этапе отладки в качестве антенны электрического типа решено использовать металлический штырь с длиной 200 мм. Помимо малых габаритов бесспорным преимуществом такого решения является его технологичность и механическая надежность. Антенна изготовлена из медного эмальированного проводника ПЭВ-2 диаметром 2,2 мм и углового разъема SMA под кабель RG-58 фирмы Amphenol. Для избегания короткого замыкания на высоких частотах проводник антенны изолирован от корпуса разъема с помощью фторопластовой ленты. Термоусадочная трубка придает антенне механическую прочность и служит дополнительной электрической изоляцией.

Процедура калибровки измерителя

Процедура калибровки измерителя (с подключенной антенной) заключается в снятии зависимости калибровочного коэффициента от частоты при фиксированной напряженности электрического поля в необходимом частотном диапазоне. Эта характеристика зависит от параметров антенны и при использовании по каким-либо причинам другой антенны снимается повторно.

Калибровочный коэффициент измерителя – это коэффициент K_E в равенстве

$$E = K_E \cdot U_{\text{изм}} \quad (3)$$

где E – напряженность внешнего измеряемого электрического поля, дБВ/м; $U_{\text{изм}}$ – измеренное значение, дБВ.

Значение $U_{\text{изм}}$ определяется из значения считанного измерения по формуле:

$$U_{\text{изм}} = \frac{9,77X - 200}{25}, \quad (4)$$

где X – значение, считанное из памяти измерителя. Значение X измеряется в шагах дискретизации сигнала по уровню АЦП микроконтроллера. Используется восьмизрядный АЦП, следовательно, число уровней дискретизации равно $2^8=256$. Опорное напряжение АЦП равно 2,5 В; отсюда шаг дискретизации равен $2,5/256=0,009765$ В $\approx 9,77$ мВ. Умножая считанное значение X на коэффициент 9,77, переводим его в милливольты. При увеличении сигнала на 1 дБВ значение выходного напряжения увеличивается на 25 мВ. При отсутствии сигнала на входе на выходе присутствует смещение 200 мВ поэтому предварительно вычитаем это значение и делением на 25 получаем значение входного напряжения, выраженное в дБВ.

Для снятия зависимости $K_E(f)$ необходимо получить зависимость $U_{\text{изм}}(f)$ измеренного напряжения на входе микросхемы AD8307 с подключенной антенной от частоты при фиксированной напряженности электрического поля. Имея характеристику $U_{\text{изм}}(f)$ и, зная значение фиксированной напряженности поля E , при котором снималась эта характеристика, можно легко вычислить зависимость $K_E(f)$.

Для получения значения измеряемой напряженности поля необходимо умножить рассчитанное значение $U_{\text{изм}}$ на калибровочный коэффициент на этой частоте.

Имея характеристику $K_E(f)$ и с помощью формул 3 и 4 в системе MathCAD возможен автоматизированный пересчет таблиц со считанными из памяти измерителя значениями X в значения напряженности поля E , на основе которых по формуле 5 вычисляется эффективность электродинамического экранирования:

$$S = E - E_{\text{эк}}, \text{ дБ} \quad (5)$$

где E – напряженность электрического поля в некоторой точке пространства до установки экрана, дБВ/м; $E_{\text{эк}}$ – напряженность электрического поля в той же точке пространства после установки экрана, дБВ/м.

Считывание и обработка результатов

Считывание данных производится с помощью эмулятора терминала. Эмулятор терминала – программное обеспечение, которое позволяет использовать компьютер в качестве пользовательского терминала на линии или в сети передачи данных. Эмулятор терминала (далее терминал) имеет стандартный интерфейс в виде окна внутри графического рабочего стола. Окно содержит строку меню и поле ввода-вывода данных, с помощью которого можно принимать и отправлять данные через последовательный COM-порт. Обработка результатов измерений состоит из 3 этапов:

- сохранение считанных данных из окна терминала в текстовый файл;
- считывание данных из текстового файла с помощью MathCAD;
- обработка результатов и построение графиков в программе MathCAD.

При отладке и использовании измерителя использовался программный продукт Tera Term. Программа является свободно распространяемой и не требует установки.

Планируется разработка специализированного программного обеспечения с собственным графическим интерфейсом и функцией построения графиков для более удобной и быстрой работы с измерителем, а также модернизация схемы измерителя для расширения частотного диапазона, лучшего согласования с антенной и др.

Заключение

Описанная выше методика и специализированный измеритель напряженности поля позволяют измерять напряженность поля внутри блоков и шкафов электронной аппаратуры, на основе чего несложно посчитать эффективность экранирования данной конструкции. Так же стоит отметить ряд существенных преимуществ. Принципиальным преимуществом измерителя является широкий динамический диапазон (благодаря применению логарифмического детектирующего усилителя). Это особенно важно для описанного выше применения, поскольку заранее сложно оценить влияние реальной

конструкции на эффективность экранирования и, соответственно, уровень остаточного поля внутри экранированного блока. Кроме того, измерения напряженности поля производится в децибелах, что удобно для определения значения эффективности экранирования, которая может изменяться в широком диапазоне.

Не требуются вывода проводной линии от измерительной антенны к показывающему устройству, что потребовало бы дополнительных отверстий в испытуемом блоке или не плотного прилегания кожухов, но в таком случае на высоких частотах резко ухудшатся экранирующие свойства корпуса, пропадает объективность измерений.

С помощью данной методики и описанного измерителя можно измерять эффективность экранирования как электрической, так и магнитной составляющей. Для измерения эффективности экранирования магнитной составляющей необходимо использовать антенну магнитного типа (в виде замкнутого контура или на основе ферритового стержня) и оказывать испытательное воздействие магнитным полем, располагать испытуемый блок в ближней зоне излучающей антенны магнитного типа. На измеритель получен патент на полезную модель [5].

Список литературы

1. Кечиев Л.Н., Акбашев Б.Б., Степанов П.В. Экранирование технических средств и экранирующие системы. – М.: ООО «Группа ИДТ», 2010. – 470 с.
2. Уильямс Т. ЭМС для разработчиков продукции. – М.: Издательский дом "Технологии", 2003. – 540 с.
3. Отт Г. Методы подавления шумов и помех в электронных системах. – М.: Издательство "Мир", 1979. – 310 с.
4. Михалев П. Микросхемы современных логарифмических усилителей для радиочастотных приложений. – Компоненты и технологии. – 2008. – Выпуск 10. – С. 23–26.
5. Патент на полезную модель №118442 зарегистрирован в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 20.07.2012. Авторы: Журавлев И.Н., Кечиев Л.Н., Крючков Н.М., Савин Ю.В., Лафитов М.А.
6. Журавлев И.Н. Разработка специализированного измерителя напряженности электромагнитного поля и исследование с помощью него влияния апертур на эффективность экранирования реальных конструкций. Дисс. на соискание ст. магистра техники и технологии. М.: МИЭМ, 2012. – 68 с.

Исследование осуществлено в рамках программы фундаментальных исследований НИУ ВШЭ в 2013 году.

The study was implemented in the framework of the Basic Research Program at the National Research University Higher School of Economics in 2013

Статья поступила 14.11.2013.

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ).

Zhuravlyov I.N., Kechiev L.N., Krychkov N.M., Savin J.U.V., Demsky D.V.

Specialised measuring instrument of intensity Electric field for measurement

Shielding efficiency of real designs

The description of a principle of work and chart features of a small-sized independent measuring instrument of intensity of electric field is given. The measuring instrument is intended for measurement weeding long time in the closed volume. He does not demand an energy supply and consequently, can work in completely tight compartment. Record is conducted for flash-memory with the subsequent reading after end of a cycle of measurements.

Electric field, shielding efficiency, measurement, independent mode, the microcontroller

National Research University Higher School of Economics (NRU HSE)