УДК 621.396: 677.859

А.А. Болюбаш[1], А.А. Подорожняк[2], Д.Е. Петрукович[3]

[1] *Харьковский университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, Харьков*
[2] *Национальный технический университет «ХПИ», Харьков*
[3] *Харьковский национальный автодорожный университет, Харьков*

МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЙ НА ЭЛЕКТРОМАГНИТНУЮ СОВМЕСТИМОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ СЕТЕЙ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ

В статье показана актуальность решения задачи обеспечения одновременного и совместного функционирования различного радиотехнического, электронного и электротехнического оборудования – решение задачи электромагнитной совместимости технических средств. Показано, что проведение испытаний технических средств на электромагнитную совместимость позволяет повысить степень их устойчивости к помехам. Предложена методика проведения испытаний на электромагнитную совместимость.

***Ключевые слова**: электромагнитная совместимость, технические средства*.

Введение

Постановка проблемы. Широкое использование различных электротехнических и радиоэлектронных средств приводит к возрастанию уровней электромагнитных полей, созданных ими в окружающем пространстве. Эти поля являются помехами для других подобных устройств, ухудшая условия их функционирования и снижая эффективность применения. Новое направление техники, призванное обеспечить одновременную и совместную работу различного радиотехнического, электронного и электротехнического оборудования, получило название электромагнитной совместимости (ЭМС) технических средств (ТС). Обеспечение ЭМС ТС относится к одной из наиболее актуальных проблем современной техники, так как процесс развития электротехники, электроэнергетики, радиоэлектроники и средств телекоммуникаций усиливает зависимость результатов применения новых средств от условий их одновременного и совместного функционирования. Так, одним из главных проблемных вопросов, что возникает в процессе исследования свойств сетей мобильной связи, является обеспечение ЭМС между ТС базовой станции и операторами при активации процедуры хендовера.

Хендовер (Handover) – процедура передачи активного соединения между сотами сети мобильной связи. В частности между мобильной станцией и базовой станцией может возникнуть препятствие в виде скопления электромагнитного поля вследствие ухудшения метеоусловий или внесения помех высоковольтными линиями электропередачи. Таким образом, исследование условий обеспечения ЭМС ТС сетей мобильной связи при активации процедуры хендовера является актуальной проблемой.

Анализ литературы по проблемам электромагнитной совместимости технических средств и аппаратуры сетей мобильной связи показал, что обеспечение ЭМС достигается следующим образом [1 – 6]:

– обеспечением необходимого уровня помехоустойчивости ТС, что позволяет применять средства в некоторой абстрактной "усредненной" электромагнитной обстановке, типичной для рассматриваемого класса объектов. Соответственно возникает необходимость в нормировании как видов, так и амплитуды помех, способных воздействовать на ТС. Дополнительно нормируются процедуры проверки соответствия ТС требованиям устойчивости к помехам. Понятно, что для применения на реальных объектах должна выбираться только аппаратура, удовлетворяющая требованиям помехоустойчивости действующих стандартов;

– определяется электромагнитная обстановка (ЭМО) на данном конкретном объекте (ТС). В реальности, ЭМО на объекте может сильно отличаться от "усредненной" ЭМО, принимаемой в стандартах ЭМС. Иначе и не может быть, поскольку на ЭМО влияет множество факторов – от особенностей проекта данного конкретного ТС до грозовой активности в регионе, грунтовых условий Необходима стандартизация методик оценки ЭМО на существующих объектах (преимущественно экспериментальными методами).

Отдельно следует отметить стандартизацию в части ограничения эмиссии помех оборудованием. В настоящее время существуют нормы в части ограничения эмиссии помех, создаваемых

электронными устройствами (в первую очередь в интересах предотвращения загрязнения радиочастотного спектра). Естественно, возникает идея ограничить аналогичным образом эмиссию помех силовым оборудованием – скажем, выключателями и разъединителями. Проблема, однако, заключается в том, что уровень помех ТС определяется не столько особенностями тех или иных электроаппаратов, сколько их взаимодействием в рамках единой сети.

Целью статьи является разработка методики испытаний на электромагнитную совместимость технических средств сетей мобильной связи.

Основная часть

Выделим основные электромагнитные помехи, на устойчивость к которым должны испытываться ТС сетей мобильной связи:

– микросекундные импульсные помехи большой энергии, возникающие при молниевых разрядах;

– кондуктивные помехи в полосе частот от 0 до 150 кГц, представляющие собой общие несимметричные напряжения, возникающие, например, как следствие протекания тока короткого замыкания через заземляющее устройство;

– колебательные затухающие помехи, возникающие при коммутационных операциях высоковольтными электроаппаратами;

– магнитное поле промышленной частоты, возникающее как при штатной работе объектов (постоянно действующее поле), так и при коротком замыкании (кратковременное поле);

– импульсное магнитное поле, возникающее при молниевых разрядах;

– наносекундные импульсные помехи, возникающие при коммутационных операциях как низковольтным оборудованием, так и быстродействующими высоковольтными аппаратами;

– радиочастотное электромагнитное поле, возникающее как при штатной работе средств радиосвязи, так и при работе другой аппаратуры;

– кондуктивные помехи, наведенные радиочастотными электромагнитными полями;

– динамические изменения напряжения электропитания;

– пульсации напряжения электропитания постоянного тока;

– электростатические разряды.

Кроме того, есть требования ЭМС к источникам питания постоянным и переменным током для устройств телемеханики и требования, определяющие нормы качества электроэнергии в системах электроснабжения общего назначения. Хотя они не устанавливают требований к аппаратуре, эти стандарты должны учитываться при оценке ЭМО на объектах.

В указанных требованиях определяются вид помехи, ее характеристики, уровни в зависимости от класса жесткости испытаний на помехоустойчивость аппаратуры. Далее описываются методы проведения испытаний и даются критерии, по которым интерпретируются результаты этих испытаний.

Рассмотрим предложенную методику испытаний ТС на ЭМС сетей мобильной связи, которая основывается на обеспечении необходимого уровня помехоустойчивости технических средств.

Представим части сети в виде двух последовательно соединенных элементов a_1 и a_2. Функция преобразования испытательного сигнала на этом участке равна $y = k_1 k_2 x$, где x и y – значения испытательного сигнала на входе и выходе, k_1 и k_2 – коэффициенты преобразования сигнала в элементах a_1 и a_2. Относительное изменение испытательного сигнала на этом участке из-за нестабильности работы элементов a_1 и a_2 составит

$$\xi_\Sigma = \frac{\Delta y}{y} = \frac{1}{y}\left[\frac{\delta y}{\delta k_1}\Delta k_1 + \frac{\delta y}{\delta k_2}\Delta k_2\right] = \xi_1 + \xi_2, \quad (1)$$

где $\xi_1 = \Delta k_i / k_i$, i = 1,2 – относительная нестабильность элемента a_i.

По определению интенсивности дрейфа является условным математическим ожиданием скорости дрейфа $\xi_\Sigma = \xi_1 + \xi_2$ при условии, что $\xi_\Sigma = \xi$ Так как математическое ожидание суммы случайных величин всегда равно сумме их математических ожиданий, то на основании (1)

$$\mu_\Sigma(t,\xi) = \mu_{\Sigma,1}(t,\xi) + \mu_{\Sigma,2}(t,\xi), \quad (2)$$

где $\mu_\Sigma(t,\xi)$ – условное математическое ожидание скорости дрейфа ξ_i при условии, что $\xi_\Sigma = \xi$.

Условие $\xi_\Sigma = \xi$ выполняется при всех $\xi_1 = \xi - \eta$, $\xi_2 = \eta$, $\eta \in (-\infty, \infty)$.

Поэтому с (2)

$$\mu_{\Sigma,1}(t,\xi) = \int_{-\infty}^{\infty} \mu_1(t, \xi-\eta, \xi)\varphi_{t,2}(\eta/\xi)\partial\eta, \quad (3)$$

где $\mu_1(t, \xi-\eta, \eta)$ – условное математическое ожидание скорости дрейфа ξ_1 при условии, $\xi_\Sigma = \xi$ и $\xi_1 = \xi - \eta$.

Аналогично

$$\mu_{\Sigma,2}(t,\xi) = \int_{-\infty}^{\infty} \mu_2(t, \xi-\eta, \xi)\varphi_{t,1}(\eta/\xi)\partial\eta.$$

При параболической интенсивности дрейфа характеристик имеем

$$\mu_i(t,\xi-\eta) = m_i'(t) + r_{1.i}(t)\left[\xi-\eta-m_i(t)\right] + r_{2.i}(t)\times$$
$$\times\left\{\left[\xi-\eta-m_i(t)\right]^2 - \gamma_i(t)\delta_i(t)\left[\xi-\eta-m_i(t)\right] - \delta_i^2(t)\right\},$$

Поэтому

$$\mu_{\Sigma,1}(t,\xi) = \{\ m_i'(t) + r_{1.1}(t)\left[\xi-m_i(t)\right] + r_{2.1}(t)\times$$
$$\times\left\{\left[\xi-m_i(t)\right]^2 - \gamma_1(t)\delta_1(t)\left[\xi-m_i(t)\right] - \delta_i^2(t)\right\};$$
$$\int_{-\infty}^{\infty}\varphi_{t.2}(\eta/\xi)\partial\eta -$$
$$-\left\{r_{1.1}(t) + r_{2.1}(t)\left[2(\xi-m_1(t)) - \gamma_1(t)\delta_1(t)\right]\right\}\times$$
$$\times\int_{-\infty}^{\infty}\eta\varphi_{t.2}(\eta/\xi)\partial\eta + r_{2.1}(t)\int_{-\infty}^{\infty}\eta^2\varphi_{t.2}(\eta/\xi)\partial\eta\ .$$

Вычислим интегралы, содержащиеся в этом выражении. Очевидно, что

$$A_1(t,\xi) = \int_{-\infty}^{\infty}\varphi_{t.2}(\eta/\xi)\partial\eta = 1,$$

$$A_2(t,\xi) = \int_{-\infty}^{\infty}\eta\varphi_{t.2}(\eta/\xi)\partial\eta\ ,$$

является условным математическим ожиданием ξ_2 в момент t при условии, что $\xi_\Sigma = \xi$, т.е. среднеквадратической регрессией ξ_2 на ξ. Считая эту регрессию линейной, получим

$$A_2(t,\xi) = m_2(t) + p_{2.\Sigma}(t)\frac{\delta_2(t)}{\delta_\Sigma(t)}\left[\xi-m_1(t)-m_2(t)\right],$$

где $\delta_\Sigma(t)$ – среднеквадратическое отклонение ξ_Σ в момент t; $\rho_{2.\Sigma}$ – коэффициент корреляции ξ_2 и ξ_Σ в момент t.

Учтем, что коэффициент корреляции ξ_2 и ξ_Σ равен

$$K(\xi_2.\xi_\Sigma) = M\left[\xi_2(\xi_1+\xi_2)\right] = M\left[\xi_2^2\right] + M\left[\xi_1,\xi_2\right] = \delta_2^2(t),$$

так как ξ_1 и ξ_2 взаимно независимы ($\xi_i = \xi_i - m_i(t)$, M – знак математического ожидания). Поэтому

$$\rho_{2,\Sigma}(t) = \frac{K(\xi_2,\xi_\Sigma)}{\delta_2(t)\delta_\Sigma(t)} = \frac{\delta_2(t)}{\delta_\Sigma(t)}$$

и $$A_2(t,\xi) = m_2(t) + \frac{\delta_2^2(t)}{\delta_\Sigma^2(t)}\left[\xi-m_1(t)-m_2(t)\right].$$

Далее, второй начальный момент условного распределения

$$A_3(t,\xi) = \int_{-\infty}^{\infty}\eta^2\varphi_{t,2}(\eta/\xi)d\eta = D_2(t/\xi) + A_2^2(t,\xi),$$

где, условная дисперсия

$$D_2(t/\xi) = \delta_2^2(t)\left[1-\rho_{2,\Sigma}^2(t)\right] = \frac{\delta_1^2(t)\delta_2^2(t)}{\delta_\Sigma^2(t)}, \qquad (4)$$

так как для независимых ξ_1 и ξ_2

$$\delta_\Sigma^2(t) = \delta_1(t) + \delta_2(t).$$

Поэтому с (4) имеем

$$A_3(t,\xi) = \frac{\delta_1^2(t)\delta_2^2(t)}{\delta_\Sigma^2(t)} + m_2^2(t) + 2m_2(t)\frac{\delta_2^2(t)}{\delta_\Sigma^2(t)}\times$$
$$\times\left[\xi-m_1(t)-m_2(t)\right] + \frac{\delta_2^4(t)}{\delta_\Sigma^2(t)}\left[\xi-m_1(t)-m_2(t)\right]^2. \qquad (5)$$

Подставив (4) и (5) в (3), после преобразований получим

$$\mu_{\Sigma,1}(t,\xi) = +m_1^I(t) + r_{1,1}(t)\frac{\delta_1^2(t)}{\delta_\Sigma^2(t)}\times$$
$$\times\left[\xi-m_1(t)-m_2(t)\right] +$$
$$+ r_{2,1}(t)\frac{\delta_1^4(t)}{\delta_\Sigma^4(t)}\left[\xi-m_1(t)-m_2(t)\right]^2 - \qquad (6)$$
$$-\gamma(t)\delta_1(t)\left(\xi-m_1(t)-m_2(t)-\frac{\delta_1^4(t)}{\delta_\Sigma^4(t)}\right),$$

а $\mu_{\Sigma,2}(t,\xi)$ определяется аналогичным образом согласно (1)–(5).

Таким образом, предложенная методика оценки электромагнитной совместимости сети мобильной связи (1) – (6), основанная на обеспечении необходимого уровня помехоустойчивости технических средств, показывает, что совместимость средств зависит от правильности работы их отдельных элементов, и все возможные негативные последствия воспринимаются сетью в виде помех.

Выводы

Для обеспечения бесперебойной и безаварийной работы электротехники, электроэнергетики, радиоэлектроники и средств телекоммуникаций (особенно сетей мобильной связи при активации процедуры хендовера) необходимо своевременно проводить испытания этих средств на электромагнитную совместимость.

Исследование предложенного варианта испытания на электромагнитную совместимость технических систем показало, что интенсивность дрейфа параметров системы подчиняется тем же закономерностям, что и интенсивности дрейфа ее составных элементов. Параметры интенсивность дрейфа системы выражаются через параметры интенсивности дрейфа ее элементов в соответствии с правилами суммирования моментов распределений.

Список литературы

1. Седельников Ю.Е. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств: Уч. пос. / Ю.Е. Седельников. – Казань: ЗАО «Новое знание», 2006. – 304 с.

2. Цицикян Г.Н. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике: Учебное пособие / Г.Н. Цицикян. – Санкт-Петербург: Изд. СЗТУ, 2006. – 59 с.

3. Маслов О.Н. Электромагнитная безопасность радиоэлектронных средств / О.Н. Маслов. – М.: Связь и бизнес, 2000. – 84 с.

4. Князев А.Д. Элементы теории и практики обеспечения электромагнитной совместимости радиоприемных средств / А.Д. Князев. – М.: Радио и связь, 1984. – 336 с.

5. Карташевский В.Г. Сети подвижной связи / В.Г. Карташевский, С.Н. Семенов, Т.В. Фирстова. – М.:Эко-Трендз, 2001. – 300 с.

6. Веселовский К. Системы подвижной радиосвязи / К. Веселовский. Пер. с польск. И.Д. Рудинского; под ред. А.И. Ледовского. – М.: Горячая линия –Телеком, 2006. –536 с.

Надійшла до редколегії 15.08.2013

Рецензент: д-р техн. наук, ст. научн. сотр. Г.А. Кучук, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ НА ЕЛЕКТРОМАГНІТНУ СУМІСНІСТЬ ЕЛЕМЕНТІВ МЕРЕЖ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ

О.О. Болюбаш, А.О. Подорожняк, Д.Є. Петрукович

У статті показана актуальність рішення задачі забезпечення одночасного та сумісного функціонування різного радіотехнічного, електронного й електротехнічного обладнання – рішення задачі електромагнітної сумісності технічних засобів. Показано, що проведення випробувань технічних засобів на електромагнітну сумісність дозволяє підвищити ступінь їх стійкості до перешкод. Запропонована методика проведення випробувань на електромагнітну сумісність.

Ключові слова: *електромагнітна сумісність, технічні засоби.*

TESTING METHOD ON ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY OF ELEMENTS OF MOBILE COMMUNICATION NETWORKS

A.A. Bolyubash, A.A. Podoroznyak, D.E. Petrukovich

Actuality of decision of task of providing of the simultaneous and joint functioning of different radio engineering, electronic and electrical engineering equipment - decision of task of electromagnetic compatibility of hardwares is rotined in the article. It is rotined that testing hardwares on electromagnetic compatibility allows to promote the degree of their stability to the hindrances. A testing method is offered on electromagnetic compatibility.

Keywords: *electromagnetic compatibility, hardwares.*