

УДК 621.316.97

С.Н. Власик

Харьковский университет Воздушных Сил, Харьков

## МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ НА ЭЛЕКТРОМАГНИТНУЮ СОВМЕСТИМОСТЬ

*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. Обосновано влияние точности измерений параметров технических средств при испытаниях на электромагнитную совместимость. Предложена методика оценки точности измерений параметров, которая может быть использована при создании компьютеризированных измерительных систем, ориентированных на решение задач электромагнитной совместимости.*

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

### 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.

При этом большое значение имеет необходимая точность измерений параметров ТС при проведении их испытаний на ЭМС. Это обусловлено тем, что от точности измерения параметров ТС при проведении испытаний на ЭМС зависят показатели эффективности испытания – информативность, оперативность и экономичность. Повышение достоверности контроля параметров ТС за счет использования более точных средств измерительной техники (СИТ) неизбежно приводит к снижению быстродействия и удорожанию систем контроля. Поэтому при создании систем испытания на ЭМС ТС стремятся обеспечить заданную достоверность контроля параметров применением СИТ минимальной точности, допускаемой при этом.

**Анализ литературы.** Анализ литературы по проблемам электромагнитной совместимости технических средств и аппаратуры показал, что обеспечение ЭМС достигается следующим образом [1 – 4]:

– обеспечивается определенный уровень помехоустойчивости ТС, позволяющий применять их 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).

Проблема заключается в том, что уровень помех ТС определяется не столько особенностями тех или иных электроаппаратов, сколько их взаимодействием в рамках единой сети. А эти особенности возможно определить только путем проведения соответствующих измерений.

**Цель статьи** состоит в определении и сравнительной оценке требуемой точности измерения параметров при использовании различных алгоритмов контроля параметров ТС.

## Основная часть

Анализ современных технологий обеспечения электромагнитной совместимости показывает, что для достижения высокой эффективности испытаний все более важное значение приобретает агрегирование измерительных средств в единые автоматизированные комплексы. При этом, основное внимание уделяется созданию компьютеризированных измерительных систем (измерительно-вычислительных систем), функционирующих под управлением специализированного программного обеспечения, ориентированного на решение задач ЭМС [5, 6].

Различают алгоритмы контроля, обеспечивающие требуемый уровень априорной достоверности контроля и алгоритмы контроля с апостериорной оценкой достоверности.

Алгоритмы контроля, обеспечивающие требуемый уровень априорной достоверности, просты в реализации, эффективны в статистическом смысле и широко применяются для контроля массовой продукции. Алгоритмы контроля с апостериорной оценкой достоверности значительно сложнее, требуют применения вычислительной техники; их целесообразно применять в том случае, когда ТС уникален или контроль проводится достаточно редко, т.е. высока цена принятого по результатам контроля решения.

Пусть состояние ТС характеризуется  $N$  независимыми параметрами. С помощью СИТ определяется относительное отклонение  $y_i$   $i$ -го параметра от номинального значения [7, 8]:

$$y_i = \frac{x_i - \bar{x}_i}{d_i}, \quad (1)$$

где  $x_i$ ,  $\bar{x}_i$  – измеренное и номинальное значение  $i$ -го параметра,  $i = \overline{1, N}$ ; соответственно;  $d_i$  – значение симметричного допуска.

Пусть известны законы распределения плотности вероятности отклонения контролируемых параметров  $\varphi(y_i)$  и погрешностей их изменения  $\varphi(\Delta_i)$  и заданы предельно допустимые значения безусловных вероятностей. Определим влияние предельно допустимых погрешностей измерения каждого параметра  $\Delta_{дi}$  на достоверность принятия решения о правильности проведенных измерений.

При контроле по алгоритмам первого вида решение о пригодности ТС к дальнейшему использованию по назначению принимается, если измеренные значения параметров  $x_i$  находятся в пределах контрольных допусков  $d_i$ .

По допустимым значениям безусловных вероятностей ложного  $P_{ло}$  и не обнаруженного  $P_{но}$

отказов ТС определяют требования к показателям достоверности контроля каждого параметра. При условии равнозначности параметров допустимая вероятность ложного отказа ТС по  $i$ -му параметру определяется выражением:

$$P_{лоi}^д = P_{ло} / N. \quad (2)$$

Аналогично определим вероятность не обнаруженного отказа:

$$P_{ноi}^д = P_{но} / N. \quad (3)$$

Рассмотренный вид алгоритмов контроля параметров системы имеет ряд существенных недостатков.

Во-первых, достоверность контроля каждого параметра должна быть значительно выше, чем достоверность контроля ТС в целом. Это существенно повышает требования к точности измерений контролируемых параметров ТС. Например, при  $P_{ло} = P_{но} = 0,05$ , нормальном законе распределения равнозначных и независимых параметров, равномерном законе распределения погрешностей измерения, вероятности исправного состояния ТС  $P_{тс} = P_{и} = 0,9$  для числа контролируемых параметров  $N = 1$  предельное значение погрешности измерения параметров ТС  $\Delta_{дi} = 0,205$ ; при  $N = 10$   $\Delta_{дi} = 0,013$ . Это значит, что с ростом числа контролируемых параметров требования к точности их измерения возрастают. Это ограничивает возможность повышения методической достоверности контроля ТС за счет увеличения количества и качества контролируемых параметров.

Во-вторых, даже при столь высоких требованиях к точности измерения параметров не всегда обеспечивается требуемая достоверность единичного результата контроля, например, если параметр будет находиться вблизи границ своего допуска.

В-третьих, если неизвестны законы распределения контролируемых параметров, то приходится еще более ужесточать требования к точности измерения параметров ТС.

При проверке технического состояния ТС по алгоритмам второго вида решение принимается по результатам апостериорной оценки достоверности контроля, т.е. если все параметры находятся в пределах допуска и вероятность не обнаруженного отказа не больше допустимой, то ТС – годен к дальнейшей эксплуатации; если хотя бы один параметр ТС вышел за поле своего допуска и вероятность ложного отказа не больше допустимой, то ТС не пригоден к дальнейшей эксплуатации и не обеспечивает заданный уровень необходимой ЭМС.

Зависимости апостериорных вероятностей ложного (первого рода)  $\alpha$  и не обнаруженного

(второго рода)  $\beta$  отказов от вероятностей ошибок контроля первого  $\alpha_i$  и второго рода  $\beta_i$  по  $i$ -му параметру получим из соотношений:

$$\alpha = 1 - \prod_{i=1}^N (1 - \alpha_i); \quad (4)$$

$$\beta = \frac{\prod_{i=1}^N [P_{ni} (1 - \alpha_i - \beta_i) + \beta_i] - \prod_{i=1}^N (1 - \bar{P}_{ni})(1 - \alpha_i)}{1 - \prod_{i=1}^N (1 - \bar{P}_{ni})}, \quad (5)$$

где  $\alpha = P_{\text{ло}}/P_n$ ;  $\beta = P_{\text{но}}/(1 - P_n)$ ;  $\bar{P}_{ni}$  – вероятность того, что измеренное значение  $i$ -го параметра ТС не принадлежит своему допуску;  $P_n = \prod_{i=1}^N P_{ni}$  – вероятность того, что измеренные значения всех контролируемых параметров находятся в поле допуска;  $\bar{P}_n = \prod_{i=1}^N \bar{P}_{ni} = 1 - P_n$  – вероятность того, что измеренное значение хотя бы одного контролируемого параметра находится вне поля допуска.

Проведенный анализ соотношения (5) показывает, что второе слагаемое равно нулю, если хотя бы один контролируемый параметр находится за пределами своего допуска, т.е.  $\bar{P}_{ni} = 1$ . Очевидно, что знаменатель в этом случае равен единице.

Если все измеренные контролируемые параметры находятся в пределах допусков, то при контроле возможна только ошибка контроля первого рода и она определяется по формуле (4).

Если измеренное значение хотя бы одного контролируемого параметра находится за пределами допуска, то при контроле возможна ошибка контроля второго рода и она находится по соотношению (5).

По допустимым значениям апостериорной вероятности ошибок контроля первого и второго рода:

$$\alpha^{\text{д}} = P_{\text{ло}}^{\text{д}}/P_n;$$

$$\beta^{\text{д}} = P_{\text{но}}^{\text{д}}/\bar{P}_n,$$

определим требования к показателям достоверности контроля каждого параметра ТС:

$$1 - \prod_{i=1}^N (1 - \alpha_i) \leq \alpha^{\text{д}};$$

$$\frac{\prod_{i=1}^N [P_{ni} (1 - \alpha_i - \beta_i) + \beta_i] - \prod_{i=1}^N (1 - \bar{P}_{ni})(1 - \alpha_i)}{1 - \prod_{i=1}^N (1 - \bar{P}_{ni})} \leq \beta^{\text{д}}.$$

При использовании апостериорной оценки достоверности результата контроля предельные

значения ошибок контроля по каждому параметру ТС равны допустимым вероятностям ложного и не обнаруженного отказов ТС в целом:

$$\alpha_i^{\text{д}} = \alpha^{\text{д}};$$

$$\beta_i^{\text{д}} = \beta^{\text{д}}.$$

Это объясняется следующими факторами.

В соответствии с формулой (4) вероятность ошибки контроля первого рода не может превосходить вероятности ложного отказа по каждому параметру, оценка вероятности не обнаруженного отказа (5) в процессе контроля позволяет не вводить ограничения на вероятность не обнаруженного отказа по каждому параметру более жестких, чем на вероятность такого отказа ТС в целом.

Предельные значения погрешности измерений каждого параметра и допуска на эти параметры определяются с помощью решения системы уравнений (3) по значениям  $\alpha^{\text{д}}$ ,  $\beta^{\text{д}}$ .

Таким образом, алгоритмы контроля параметров ТС с апостериорной оценкой достоверности обладают следующими преимуществами:

- требуемая точность измерения параметров контроля не зависит от их общего количества;
- обеспечивается необходимая достоверность контроля каждого параметра ТС;
- отсутствие информации о законах распределения контролируемых параметров практически не влияет на требуемую точность измерения параметров.

Недостатки алгоритмов второго вида связаны с трудностью принятия решения при недопустимо больших вероятностях ошибок и необходимостью выполнения вычислений в процессе контроля. Первый недостаток можно устранить при использовании статистических методов повышения точности измерения параметров, вносящих максимальный вклад в суммарную ошибку контроля ТС. Второй недостаток легко устраним при использовании вместо СИТ измерительно-вычислительных комплексов (ИВК) или автоматизированных систем контроля.

К значительным преимуществам ИВК относится то, что для испытаний ТС не требуется последовательного переключения нескольких измерительных антенн, рассчитанных на разные диапазоны частот. Таким образом, измерения во всей установленной полосе частот осуществляются при непрерывной перестройке частоты в отсутствие внешних помех, что существенно сокращает время испытаний и повышает достоверность результатов. При проведении испытаний на помехоустойчивость нет необходимости в применении усилителя высокой частоты большой мощности, так как эффективность ИВК значительно выше, чем у антенны [6, 7].

Базовим елементом ИВК является приемник электромагнитного излучения, в основании которого расположены высокочастотные поглотители и резистивная нагрузка. Со стороны вершины пирамидального расширяющегося проводника имеется согласованный переход к генератору или приемнику сигналов. К внешнему пирамидальному расширяющемуся проводнику на диэлектрических нитях, асимметрично по высоте, подвешен жесткий плоский внутренний проводник. Такая конструкция исключает появление резонансов и обеспечивает плоскую частотную характеристику от постоянного тока до частот, существенно превышающих 1 ГГц.

Использование ИВК полностью определяется стандартом IEC 61000-4-20:2007.

Кроме того, принято расширенное изменение к стандарту IEC 61000-4-3:2007 и ряду других стандартов.

## Выводы

В статье проведен анализ алгоритмов контроля параметров ТС, обеспечивающих заданный уровень априорной или апостериорной достоверности контроля.

Показано, что при использовании алгоритмов первого вида требуемая точность измерений параметров возрастает с увеличением их числа, поэтому предлагается использовать апостериорную оценку достоверности контроля параметров ИВК, что позволит значительно расширить возможности измерительного контроля параметром электромагнитной совместимости технических систем.

## Список литературы

1. Седельников Ю.Е. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств: Уч. пособие / Ю.Е. Седельников. – Казань: ЗАО «Новое знание», 2006. – 304 с.
2. Цицикян Г.Н. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике: уч. пособ. / 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. Кармашев В.С. Современные технологии обеспечения электромагнитной совместимости / В.С. Кармашев // Материалы семинара. – М.: Издательский дом «Технологии», 2003. – 89 с.
6. Уильямс Т. Электромагнитная совместимость для разработчиков продукции / Т. Уильямс. – М.: Издательский Дом «Технологии», 2003. – 540 с.
7. Аникин В.В. Перспективы использования геткамер для автоматизированных испытаний технических средств на электромагнитную совместимость / В.В. Аникин, И.Е. Бакулин, С.В. Герасимов // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2010. – Вып. 6(87). – С. 72-75.
8. Герасимов С.В. Методика оценки точности измерений при измерительном контроле параметров сложных технических комплексов / С.В. Герасимов, В.В. Стадник, М.Ю. Яковлев // Зб. наук. пр. Національна академія наук України. Інститут проблем моделювання в енергетиці. – К.: ІПМ, 2004. – Вып. 26. – С. 30-35.

Поступила в редколлегию 19.06.2012

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. А.М. Сотников, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

## МЕТОДИКА ОЦІНКИ ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ ПРИ ВИПРОБУВАННЯХ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ НА ЕЛЕКТРОМАГНІТНУ СУМІСНІСТЬ

С.М. Власік

*У статті показана актуальність рішення задачі забезпечення одночасного та сумісного функціонування різного радіотехнічного, електронного та електротехнічного устаткування – рішення задачі електромагнітної сумісності технічних засобів. Показано, що проведення випробувань технічних засобів на електромагнітну сумісність дозволяє підвищити ступінь їх стійкості до перешкод. Обґрунтований вплив точності вимірювань параметрів технічних засобів при випробуваннях на електромагнітну сумісність. Запропонована методика оцінки точності вимірювань параметрів, яка може бути використана при створенні комп'ютеризованих вимірювальних систем, орієнтованих на вирішення завдань електромагнітної сумісності.*

**Ключові слова:** електромагнітна сумісність, технічні засоби, точність вимірювання

## METHOD OF ESTIMATION OF EXACTNESS OF MEASUREMENTS IS AT TESTS HARDWARES ON ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY

S.N. Vlasik

*Actuality of decision of task of providing of the simultaneous and compatible functioning of different radio engineering, electronic and electrical engineering equipment – decision of task of electromagnetic compatibility of technical objects is returned in the article. It is returned that testing technical objects on electromagnetic compatibility allows to promote the degree of their firmness to the obstacles. Influence of exactness of measuring of parameters of technical objects is grounded at tests on electromagnetic compatibility. The method of estimation of exactness of measuring of parameters is offered, which can be used for creation of the computer-controlled measuring systems for the decision of tasks of electromagnetic compatibility.*

**Keywords:** electromagnetic compatibility, technical objects, measuring exactness