

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

УДК 621.317.1

Й. Галлон, кандидат технических наук
Р. Гартянски, кандидат технических наук, доцент
К. Ковач, кандидат технических наук, доцент
Л. Маршалка, аспирант
Словацкий технический университет
Ю. Л. Караваев

Ижевский государственный технический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИИ РАСПОЛОЖЕНИЯ КАБЕЛЕЙ НА ПОВТОРЯЕМОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ НА ЭЛЕКТРОМАГНИТНУЮ СОВМЕСТИМОСТЬ

Статья посвящена анализу взаимного влияния кабелей, находящихся на диэлектрическом столе, при проведении испытаний на устойчивость к воздействию электромагнитного поля.

Ключевые слова: электромагнитная совместимость, взаимный импеданс длинных линий, метод моментов, измерение тока синфазных помех

Введение

Кабели большинства электрических приборов находятся под влиянием окружающей среды, а также сами оказывают влияние на нее. Поэтому фактор расположения кабелей часто имеет решающее значение при проведении испытаний на электромагнитную совместимость (ЭМС) и определяет повторяемость измерений. Одним из испытаний, когда геометрия расположения кабелей приборов оказывает существенное влияние на результат измерений, является испытание прибора на устойчивость к электромагнитному (ЭМ) излучению [1]. Методика испытания, представленная в стандарте [2], применима для однородного электромагнитного поля, экранированной безэховой камеры и расположения прибора и кабелей в соответствии со стандартом. Стандартная схема предполагает размещение испытательного оборудования (ИО) на деревянном непроводящем столе. Кабели испытуемого прибора должны иметь длину 1 м, свободно размещаться на столе и не нагружаться сопротивлением величиной согласно паспорту прибора (рис. 1).

Проблема возникает, когда ИО содержит большее количество кабелей, расположенных в непосредственной близости друг к другу. Подобное геометрическое расположение кабелей ИО ведет к их взаимному экранированию и влияет на величину индуцированного напряжения кабелей, а также индуцированных токов. При изменении геометрии расположения кабелей величины напряжений и токов изменяются, что в результате не позволяет достичь повторяемости измерений.

Изменение расположения кабелей ИО осуществляется инженером лаборатории перед каждым следующим измерением. Качество и повторяемость процесса прокладки кабеля ИО определяют результат измерений.

Целью данной статьи является оценка влияния пространственного расположения кабелей на результат измерения в ЭМС.

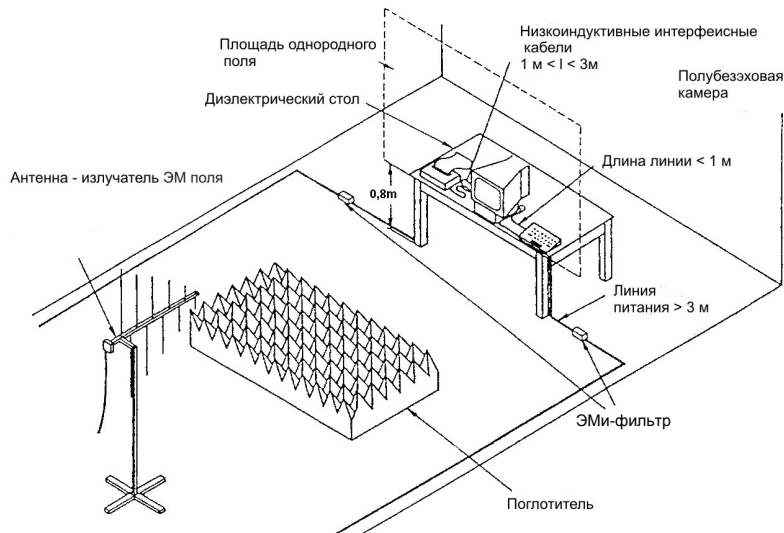


Рис. 1. Конфигурация рабочего места для проведения испытаний прибора по ЭМС

Теоретические основы

При размещении на небольшом расстоянии двух проводников (кабелей) в электромагнитном поле возникает взаимное влияние этих проводников друг на друга. Этот эффект проявляется в изменении взаимного сопротивления проводников, которое зависит от характеристик ЭМ-поля. Волна, падающая на металлический проводник вызывает индуцированный электрический ток в проводнике, а также вторичное ЭМИ в окружающую среду. На поверхности проводника в ЭМ-поле должно выполняться условие:

$$E_{inc}(0) = E_{scat}(0). \quad (1)$$

Для упрощения ситуации предположим, что первый проводник является источником ЭМ-поля, а второй – приемником. Тогда взаимное сопротивление двух параллельных проводников выражено следующим уравнением [3]:

$$Z_{21i} = -\frac{1}{I_{1i}I_{2i}} \int_{-l_2/2}^{l_2/2} E_{z21}(z') I_2(z') dz'. \quad (2)$$

Решение данного уравнения также представлено в [4]. Наибольшее влияние проводников друг на друга проявляется при частоте ЭМ-волны:

$$\frac{\lambda}{2} n = D, \quad (3)$$

где λ – длина ЭМ-волны; D – расстояние между проводниками; n – целое число.

В случае максимального отклонения взаимного импеданса происходит изменение других характеристик проводников, таких как диаграмма направленности, величина индуцированного тока, напряжение и т. д.

Численное моделирование

Кабельные линии ИУ в расчетах представим как длинные линии (ДЛ). Для анализа длинной линии в ЭМ-поле эффективным является использование методов численного моделирования. Их реализация осуществлялась в программном продукте «ФЕКО», основанном на методе моментов.

Процессы, которые возникают в длинных линиях, расположенных в ЭМ-поле, могут быть промоделированы с использованием теории синфазных помех (СП). Напряжение синфазных помех возникает между проводниками линии и проводящей землей, т. к. взаимная связь линий создана взаимными импедансами (элементы фильтров, паразитные связи с проводящей землей). Этот вид связи является доминирующим в устройствах с длинными кабелями.

Для анализа использовалась однопроводная линия длиной 1 м на высоте 80 см от проводящей земли. Нагрузка линии 50 Ω подключена между линией и проводящей землей на обоих концах линии. Линия находилась под влиянием плоской ЭМ-волны. На расстоянии D от линии находится вторая, параллельная, экранирующая линия, представленная в модели в форме листа металла шириной 10 мм. Экранирующая линия соединена на обоих концах с проводящей землей. Модель включает в себя и диэлектрические части, на которых размещены длинные линии. Для создания желаемого ЭМ-поля в модели используется горизонтально поляризованная логопериодическая антенна. Антенна состоит из i симметричных вибраторов длиной l_i и диаметром d_i . Расстояние между началом антенны и i -м симметричным вибратором задается величиной R_i , зависящей от логарифма резонансов длин волн соседних вибраторов [5].

Проведение численного расчета свойств безэховой камеры с учетом радиопоглощающего материала – математически сложная задача. Исходя из этого, безэховая камера представлена как свободное пространство с бесконечной проводящей «землей» без каких-либо посторонних проводимых объектов. Модель, разработанная в «ФЕКО», представлена на рис. 2.

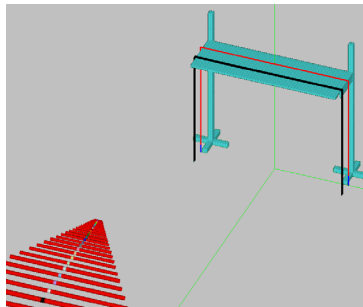


Рис. 2. Модель рабочего места

Экспериментальные исследования

Для проверки результатов моделирования мы одновременно с разработкой численной модели реализовали эквивалентную физическую модель. Исследуемая длинная линия подключена через импедансы к проводящей земле. С одной стороны нагружается сопротивлением 50 Ом, а с другой – аттенуатором 20 дБ, выход которого подключен через кабель к анализатору спектра HP8591A, находящегося за пределами безэховой камеры (рис. 3). Измеряемая сила тока пропорциональна падению напря-

жения на сопротивлении нагрузки [6]. Экранирующая линия создана из двадцатизильного плоского кабеля, который имеет такую же форму, как и длинная линия, и соединен с проводящей землей. Расстояние между линией и кабелем – D .



Рис. 3. Схема экспериментальной установки для измерения синфазного излучения

Результаты численного расчета и измерений

В соответствии со стандартом [7] *конфигурация кабеля* определяет геометрию расположения на рабочем столе только одного кабеля. При стандартной конфигурации в ЭМ-поле в кабеле индуцируется ток $I(f)$. При нахождении на небольшом расстоянии другого кабеля индуцируемый ток $I(f)$ изменяется и по величине, и по форме (частотная зависимость). Наибольший интерес представляет сравнение этих двух токов. При увеличении разницы между токами повторяемость ЭМС-испытаний понижается. Важными факторами являются максимальные значения индуцируемого тока, т. к. в этом случае вероятность появления сбоев в работе ИО максимальна.

Целью численного моделирования и измерений является определение расстояния D между кабелями, чтобы влияние кабелей друг на друга было минимальным.

Представленные на рис. 4 полученные в результате численного моделирования зависимости $I(f)$ изменяются от частоты и расстояния между линиями.

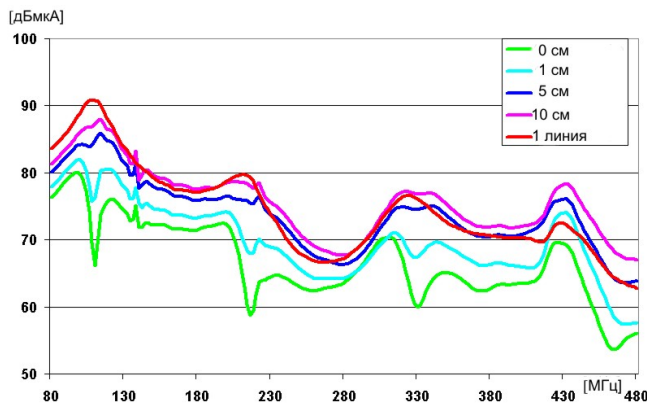


Рис. 4. Зависимости тока, индуцированного в длинной линии, от частоты и расстояния между линиями

Данные зависимости получены при величине напряженности ЭМ-поля 10 В/м. Расстояние D , при котором две линии не оказывают влияние друг на друга, определить сложно (при расстоянии $D = 10$ см на графиках зависимостей также выделяются области резонансов или области эффекта экранирования). Результаты численного моделирования показывают, что кабели, входящие в ИО (если не предписана конфигурация кабелей в паспорте ИО) в ходе ЭМС-испытаний, должны располагаться по возможности на максимальном расстоянии друг от друга, но не ближе чем 10 см (на этом расстоянии падение индуцированного тока составляет 3 дБ по сравнению со стандартной конфигурацией кабеля).

Для исключения погрешности использования только одного метода расчета необходимо провести проверку результатов путем проведения измерений на эквивалентной физической модели. Сравнение зависимостей численного моделирования и экспериментальных исследований представлено на рис. 5.

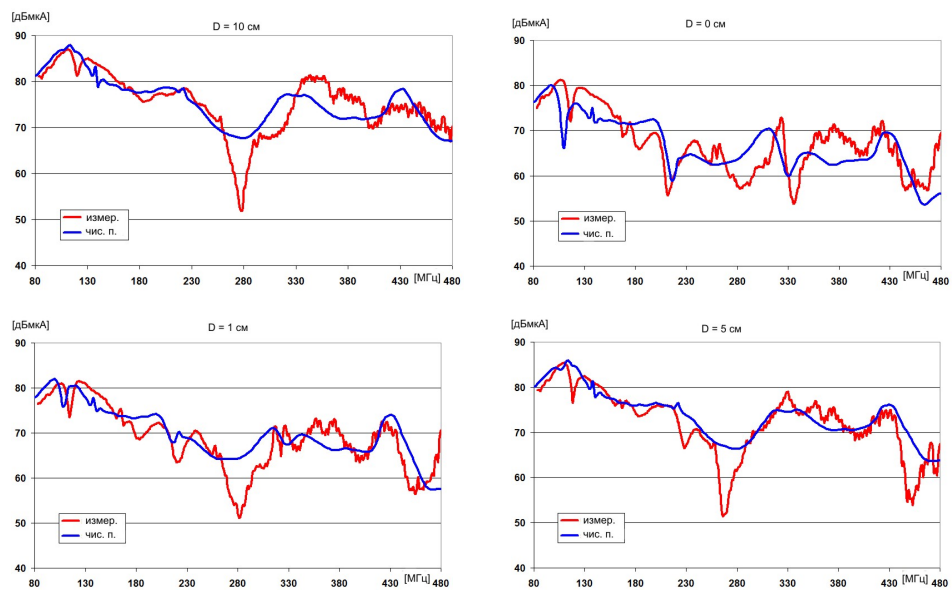


Рис. 5. Сравнение зависимостей индуцированного тока от частоты и расстояния между линиями, полученных в результате численного моделирования и экспериментальных исследований

Отклонения графика зависимости объясняется неоднородностью ЭМ-поля в безэховой камере (в соответствии со стандартом [8] однородность ЭМ-поля обеспечивается только на площади $1,5 \times 1,5$ м на высоте 0,8 м над поверхностью пола безэховой камеры). Но даже для данной площади $1,5 \times 1,5$ м допускается неоднородность поля в диапазоне $-0 \dots 6$ дБ. Вид графиков зависимостей на высоких частотах изменяется из-за постепенного увеличения частотных шагов ЭМ-поля. Практически можно сказать, что экспериментальные исследования эквивалентной физической модели подтвердили гипотезу об эффекте экранирования двух параллельных линий.

Заключение

Полученные результаты подтверждают то, что все рассмотренные нами варианты расположения кабелей влияют на величину индуцированных токов измеряемой линии интерфейса. Это влияние, в непосредственной близости двух кабелей, увеличивается настолько, что оно может быть эквивалентно снижению уровня испытания на один уровень. Отдельные кабели, для которых производитель не определяет требования их геометрического размещения, должны находиться во время испытаний на ЭМС-устойчивость (из-за взаимного экранирования) на максимальном расстоянии друг от друга, но не менее 10 см. Даже на этом минимальном расстоянии проявляется снижение индуцированного тока на 3 дБ. С увеличением числа внешних кабелей (по функциональному назначению устройства) рекомендуется провести испытания последовательно для отдельных кабелей.

Библиографические ссылки

1. EN 61000-4-3 Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-3: Testing and measurement techniques - Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test.
2. Там же.
3. *Balanis, A. C. Antenna Theory Analysis and Design* / A. C. Balanis. – New York : Harper & Row, 1982. – 941 p.
4. Там же.
5. *Bittera M. Some Aspects of Radiated Emission Measurement*. – Bratislava : STU, 2007.
6. Influence of Interface Cables Termination Impedance on Radiated Emission Measurement [Text] / M. Bittera, V. Smieško // *Measurement Science Review* – 2010. – No 5. – P. 157–161. – ISSN 1335-8871.
7. EN 61000-4-3 Electromagnetic compatibility (EMC).
8. Там же.
9. Анализ устойчивости длинных кабелей к радиочастотным электромагнитным полям – теоретический подход / М. Битера [и др.] // *Вестник Ижевского государственного технического университета*. – 2010. – № 3.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта VEGA 1/0551/09 и VEGA 2/0006/10.

I. Gallon, Candidate of Technical Sciences, Slovak Technical University
R. Gartyanski, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Slovak Technical University
K. Kovach, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Slovak Technical University
L. Marshalka, Postgraduate Student, Slovak Technical University
Yu. L. Karavaev, Izhevsk State Technical University

Investigation of cables geometry influence on measurement repeatability of electromagnetic compatibility tests

The analysis of cables mutual influence during their electromagnetic-compatibility tests is considered.

Keywords: electromagnetic compatibility, mutual impedance of transmission line, moment method, common mode current measurement

Получено: 16.11.11