

МЕТОДОЛОГИЯ ИСПЫТАНИЙ УСТОЙЧИВОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ К ДЕЙСТВИЮ МАГНИТНОГО ПОЛЯ МОЛНИИ

Князев В.В., Чернухин А.Ю., Шаламов С.П.

Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт «Молния»
Национального технического университета «ХПИ»

61013, Харьков, ул. Шевченко, 47 тел. (057) 7076868, E-mail: knyaz2@i.ua

The object of the study is the effect of the magnetic field accompanying lightning on technical means, which are based on electronic, radio-electronic and electrotechnical components. The aim of the work is the methodology for determining the stability of technical means to the effect of a magnetic field of lightning in accordance with the requirements of the standard MIL-STD-464C:2010. The paper presents the results of the preparation of the equipment for testing the stability of the technical means.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность рассмотрения вопросов, связанных с методологией проведения испытаний устойчивости технических средств, которые содержат в своей основе электронные, радиоэлектронные и электрические компоненты, к действию сторонних электромагнитных полей, обуславливается рядом объективных обстоятельств. Так, с одной стороны, активное расширение сферы применения электронных компонент, снижение уровня устойчивости этих компонент в результате использования слаботочной элементной базы, а также все более ответственные функции (управления, принятия решений и т.п.), которые возлагаются на устройства, содержащие эти компоненты. С другой стороны, уровень электромагнитного "загрязнения" окружающего пространства неуклонно возрастает. Естественным источником мощных электромагнитных помех, является молния. С молнией связаны сверхсильные импульсные электрические токи (сила тока достигает 300 кА), сильные электрические и магнитные поля.

Объектом исследования является воздействие магнитного поля, сопровождающего молнию, на технические средства, содержащие в своей основе электронные, радиоэлектронные и электротехнические компоненты.

Цель работы – методология определения устойчивости технических средств к воздействию магнитного поля молнии в соответствии с требованиями стандарта MIL-STD-464C [1], основанная на обобщении результатов математического моделирования и физических экспериментов. Необходимость разработки методологии обусловлена тем, что в стандарте [1] указаны требования к скорости нарастания напряженности магнитного поля, а реализация испытаний не описана. Выбор амплитудно-временных параметров напряженности магнитного поля должен осуществляться с учетом физики реальных природных явлений и возможностей испытательного оборудования лаборатории. В научной литературе авторами не найдены публикации, решающие данную задачу.

Под уровнем устойчивости к электромагнитной помехе (уровень помехоустойчивости) понимается максимальный уровень определенной электромагнитной помехи, воздействующей на конкретное техническое средство, при котором оно сохраняет способность функционировать с требуемым качеством.

МЕТОДОЛОГИЯ ИСПЫТАНИЙ

Решаемыми задачами являются: разработка методологии определения устойчивости технических средств (ТС) к воздействию магнитного поля молнии, и адаптация методологии к конкретной задаче, в соответствии с требованиями стандарта MIL-STD-464C [1], который одобрен для использования всеми департаментами и агентствами Министерства обороны США. В настоящее время, этот стандарт, как правило, используется при формировании технических требований к объектам вооружения и военной техники, поставляемых по зарубежным контрактам. Стандарт содержит два раздела: основную часть и приложение. Основная часть стандарта

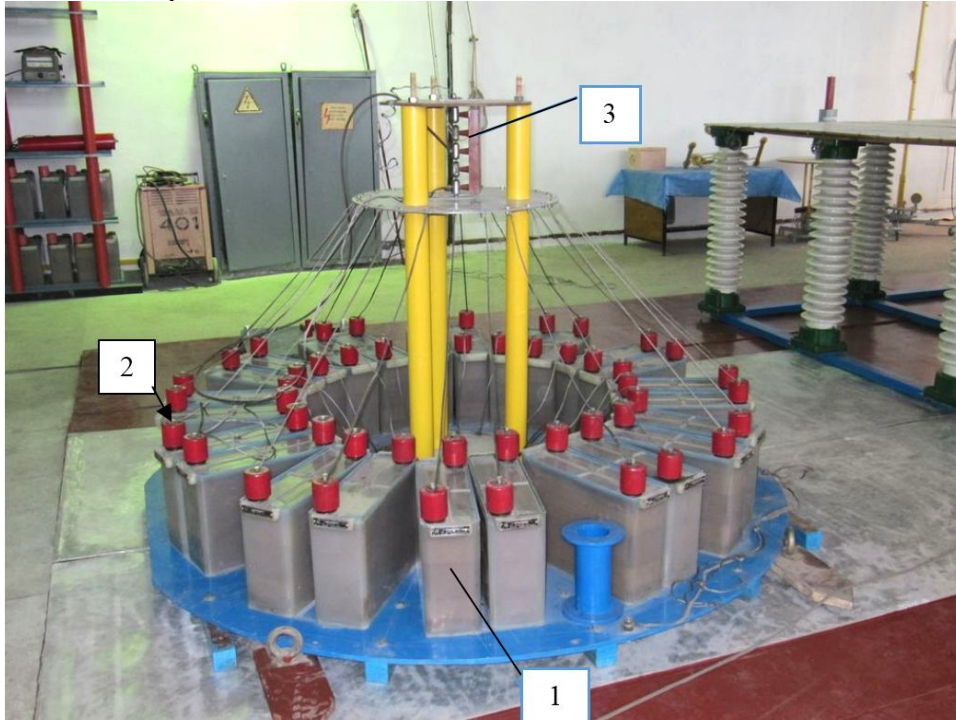
определяет базовый набор требований. В приложении содержится обоснование, руководство и извлеченные уроки для каждого требования, позволяющего Заказчику адаптировать базовые требования к конкретному случаю. Стандарт [1] устанавливает требования к параметрам окружающей электромагнитной среды и критерии проверки для авиационных, морских, космических и наземных систем, включая соответствующие боеприпасы.

Стандарт [1] устанавливает, что скорость нарастания напряженности магнитного поля при имитации разряда молнии «облако-земля» должна быть $2,2 \cdot 10^9 \text{ Ам}^{-1}\text{с}$. Это значение определяется в предположении, что канал молнии вертикален по отношению к поверхности грунта, сила тока молнии 200 кА, а расстояние до канала не менее 10 м. Считается, что если расстояние будет меньше, то с высокой вероятностью молния ударит в ТС. Расчет напряженности осуществляется на основе закона Ампера. Из табл. А-11 [1], следует, что импульс тока имеет максимальную скорость нарастания $1,4 \cdot 10^{11} \text{ А/с}$ (при силе тока $2 \cdot 10^5 \text{ А}$). Разделив это значение на $(2\pi R, R=10 \text{ м})$ 62,8 получаем $2,23 \cdot 10^9 \text{ Ам}^{-1}\text{с}$, значение, указанное ранее. Алгоритм расчета уровня напряженности магнитного поля важен, поскольку позволяет определить предельные параметры для ТС, с учетом его технических особенностей (габаритных размеров, окружающих объектов, систем молниезащиты). Следует отметить, что указанное выше значение скорости нарастания напряженности магнитного поля является максимально возможным, исходя из приведенных в стандарте формул, описывающих временную зависимость силы тока в канале молнии. Это значение достигается в момент времени $t = 0 +$. В реальности, ток не возрастает в момент «включения» скачком, и всегда имеет участок плавного нарастания. Следовательно, по мнению авторов, при определении параметров напряженности магнитного поля, которые должны быть реализованы для целей испытаний устойчивости ТС, целесообразно исходить из значения средней скорости нарастания, получаемой в результате деления $\Delta I_{0,1-0,9}$ на $\Delta t_{0,1-0,9}$, когда значения соответствуют интервалу времени 0,1 – 0,9 от максимального значения напряженности. В этом случае, значение скорости нарастания напряженности магнитного поля на расстоянии 10 м будет равно $8,9 \cdot 10^8 \text{ Ам}^{-1}\text{с}$, что в 2,5 раза меньше, чем требуется в стандарте [1]. Учитывая, что сделанное утверждение пока не регламентируется стандартом, для экспериментальных исследований реализовано значение $2,23 \cdot 10^9 \text{ Ам}^{-1}\text{с}$.

Для моделирования процесса необходимо минимизировать индуктивность системы полеобразования используя виток с током. Соотношение между силой тока в витке, его размерами и длительностью фронта (скоростью нарастания) определяется для каждой конкретной технической реализации. Для экспериментальных исследований в НДПКИ «Молния» НТУ «ХПИ» был применен генератор импульсных токов ГИТ-70, внешний вид которого представлен на рисунке 1. Максимальное напряжение генератора 100 кВ, сила тока 70 кА. Схема установки, с размерами токового витка показана на рисунке 2.

Генератор ГИТ-70 настроен на формирование импульса тока формой 8/20 мкс. Определим требуемую величину силы тока в полеобразующем контуре. Все приведенные в стандарте [1] значения привязаны к импульсу тока силой 200 кА. Напряженность магнитного поля, порождаемого таким током, на расстоянии 10 м, равна 3,18 кА/м. В случае, когда длительность фронта напряженности магнитного поля по уровням 0,1-0,9 равна 8 мкс, вместо регламентируемых стандартом [1] 2,85 мкс, следует пропорционально увеличить значение напряженности магнитного поля в 2,8 раза. Следовательно, испытания ТС необходимо проводить при напряженности магнитного поля равной 8,92 кА/м. Расчетным путем установлено, что 25 кА является достаточным уровнем силы тока в полеобразующем витке. Для выбора точки установки испытываемого ТС, проведено компьютерное моделирование распределения напряженности магнитного поля в пространстве, в том числе вдоль выбранной линии 1 (см. рис. 2). Результаты моделирования представлены на рисунке 3.

Нужный уровень ориентировочно достигается на расстоянии 0,45 м. При проведении экспериментальных исследований применялась сила тока $(25 \pm 0,05)$ кА. Осциллограмма напряженности магнитного поля в точке 0,45 м по линии 1 (см. рис. 2), представлена на рисунке 4. Напряженность магнитного поля равна 8,69 кА/м, следовательно, напряженность магнитного поля в выбранной точке соответствует требованиям стандарта.



- 1 – конденсатор ИК-100-0,4 У4 (24 штуки);
- 2 – демпфирующий резистор;
- 3 - многозворный коммутатор МЗК-100

Рисунок 1 – Внешний вид ГИТ-70

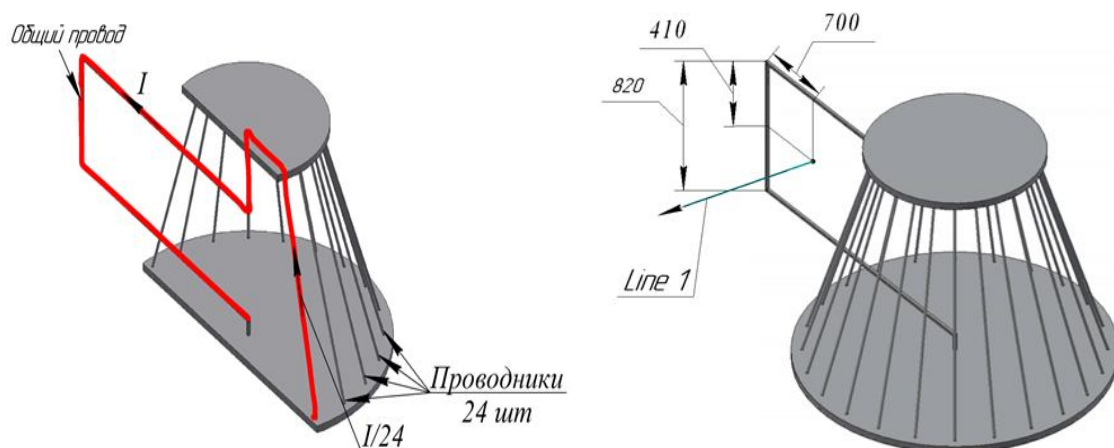
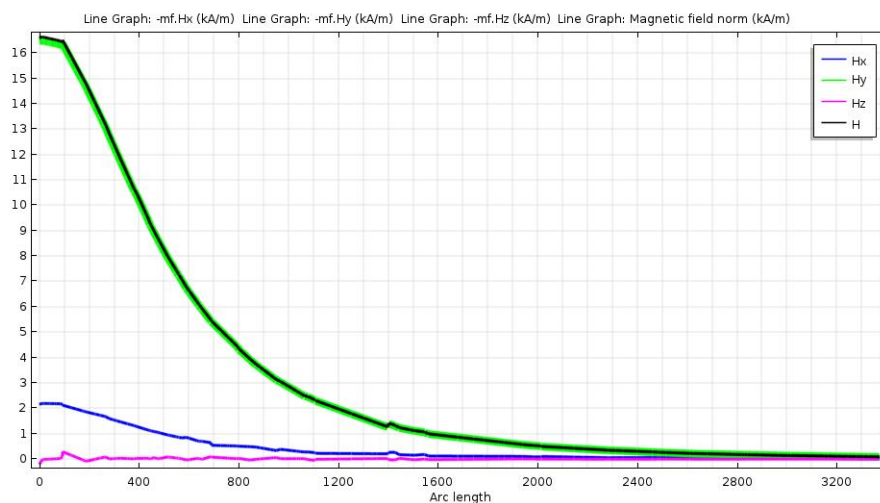
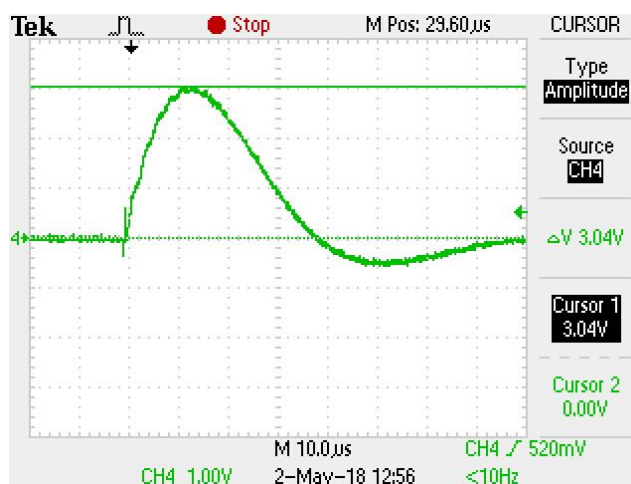


Рисунок 2 – Схематическое изображение установки для создания магнитного поля молнии



По оси ординат: $1 \text{ кА м}^{-1} / \text{клетку}$; по оси абсцисс: 100 мм/клетку .

Рисунок 3. – Распределение компонент магнитного поля вдоль Line 1.



Коэффициент чувствительности измерителя ИНМП 2С равен $0,00035 \text{ В А}^{-1} \text{ м}$

Рисунок 4. Осциллограмма тока в точке 0,45 на линии 1

Молния – это сложное явление. Формы сигналов, представленные в стандарте [1], плод усилий технического сообщества по моделированию природной обстановки для целей конструирования и верификации. Использование данных форм сигналов не обязательно гарантирует, что конструкция ТС будет адекватной в случае природной молнии.

ВЫВОДЫ

Представленная методология рекомендуется к использованию при проведении исследований устойчивости технических средств к воздействию магнитного поля молнии в соответствии с параметрами табл. 8 стандарта MIL-STD-464C [1].

Список литературы:

1. MIL-STD-464C:2010 Department of defense interface standard. Electromagnetic Environmental Effects Requirements for Systems.