

# Выявление требований к метрологическим характеристикам измерителя импульсного магнитного поля

С. К. Терехин

Санкт-Петербургский  
государственный  
электротехнический  
университет «ЛЭТИ»  
им. В.И. Ульянова (Ленина)  
terehin.serghey@yandex.ru

С. В. Романцов

Санкт-Петербургский  
государственный  
электротехнический  
университет «ЛЭТИ»  
им. В.И. Ульянова (Ленина)  
romantsov89@gmail.com

Н. В. Романцова

Санкт-Петербургский  
государственный  
электротехнический  
университет «ЛЭТИ»  
им. В.И. Ульянова (Ленина)  
nvromantsova@mail.com

**Аннотация.** В докладе приведены требования к характеристикам измерителя импульсного магнитного поля на основе анализа нормативной документации. Приведен анализ нормативно-технических документов, содержащих требования к параметрам молнии. Выявлены основные характеристики измерителя для проведения испытаний импульсным магнитным полем молнии.

**Ключевые слова:** магнитное поле молнии; требования по параметрам импульсного магнитного поля; измерение импульсного магнитного поля

## I. ВВЕДЕНИЕ

Испытания технических средств на устойчивость к импульсным магнитным полям молнии являются важной частью процесса разработки современной аппаратуры. Магнитные поля могут привести к сбоям и причинить непоправимый ущерб техническим средствам. Именно поэтому проведение испытаний позволяет выявить возможные уязвимости и разработать эффективные меры защиты и предотвращения потенциальных повреждений.

Одним из основных преимуществ проведения таких испытаний является возможность эффективного предотвращения серьезных потерь и крупных аварий. Благодаря проведению соответствующих тестов, разработчики и производители способны обнаружить потенциальные проблемы, которые могут возникнуть в результате воздействия магнитного поля молнии, и внести коррективы в конструкцию или функциональность устройств еще на стадии разработки. Проведение испытаний магнитным полем молнии особенно важно в разработке систем связи, авиационных и космических технологий. Уязвимость этих систем может привести к катастрофическим последствиям.

Импульсные магнитные поля возникают при воздействии молнии на строения, металлические конструкции, мачты антенн и коммутационных процессов в линиях электропередач. Для измерения параметров импульсного поля при испытаниях и экспериментальной оценки распределения магнитного

поля внутри экранированного сооружения при ударе молнии, можно использовать измерители импульсного магнитного поля.

## II. МОЛНИЯ

При исследовании параметров тока молнии измеряют:

- пиковый ток молнии;
- максимальную производную тока ( $di/dt$ );
- среднюю скорость возрастания тока;
- время фронта импульса тока;
- длительность импульса тока;
- величину переданного заряда;
- интеграл действия.

Распределение этих параметров, приведенных в большинстве существующих стандартов по молниезащите, основано на измерениях Бергера. [1]

Измерение характеристик электрических и магнитных полей, вызываемых разрядом молнии, необходимы для изучения потенциально опасного влияния электромагнитных полей на различные электрические цепи и системы. Чувствительные электронные цепи уязвимы для электромагнитного воздействия. Измеренные электрические и магнитные поля могут быть использованы для проверки различных моделей молнии и оценки параметров молниевых разрядов.

## III. МОДЕЛИРОВАНИЕ ИМПУЛЬСНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Для испытаний на стойкость к импульсному магнитному полю, испытываемое техническое средство помещают в центре индукционной катушки, создающей равномерное магнитное поле. К катушке подключается импульсный генератор, который должен обеспечивать протекание тока требуемой формы и амплитуды. Для получения магнитного поля с неоднородностью не более +3 дБ используют катушки, состоящие из двух параллельных коаксиальных плоских колец (катушка Гельмгольца). Расстояние между средними плоскостями колец должно равняться половине среднего диаметра

обмотки колец. Средний диаметр кольца должен быть не менее чем в 2,5 раза больше габаритных размеров испытуемого объекта.

Изделие подвергают воздействию магнитного поля в соответствии с реальными условиями эксплуатации. Силу тока выбирают с таким расчетом, чтобы получить в центре катушки магнитное поле требуемой напряженности.

Средства измерений, используемые в процессе испытаний, должны быть удалены от магнитной катушки на расстояние, обеспечивающее независимость их показаний от влияния магнитного поля, создаваемого катушкой. Изделие считается выдержавшим испытание, если во время и после испытания его характеристики соответствуют требованиям, установленным в техническом условии на изделие.

Метрологическое обеспечение при экспериментальных исследованиях должно давать возможность получать в исследуемой точке при каждом испытании данные о значениях амплитудно-временных характеристик полей с суммарной погрешностью не выше  $\pm 20\%$  для напряженности магнитного поля. Для измерения значений амплитудно-временных характеристик напряженности магнитного поля применяются датчики магнитного поля.

#### IV. ТРЕБОВАНИЯ К ПАРАМЕТРАМ МОЛНИИ В СТАНДАРТАХ

В различных национальных и международных стандартах приведены различные амплитудно-временные параметры и используются разные методики испытаний, что усложняет разработку испытательного оборудования.

В разделе 23 КТ-160G/14G [2] молния имитируется компонентами А, А<sub>h</sub>, А/5, В, С\*, С и D (рис. 1). Импульсы могут подаваться отдельно или одновременно по два или более.

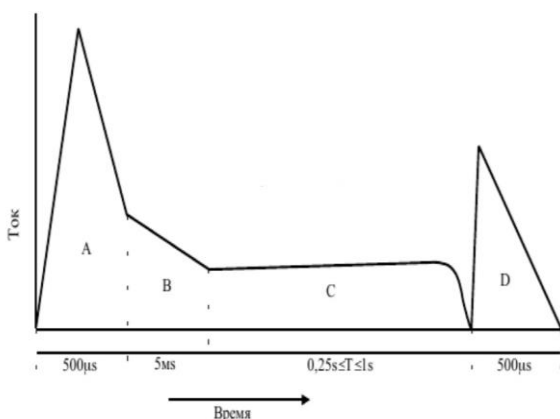


Рис. 1. Формы импульсов тока в разделе 23 КТ-160G/14G

Компонент А имеет интеграл действия (интеграл квадрата, изменяющегося по времени тока за время его протекания)  $2 \times 10^6 \text{ A}^2\text{с}$ , пиковую амплитуду 200 кА, полное время действия не более 500 мкс. Время нарастания тока от уровня 0,1 до 0,9 величины пикового тока не более 50 мкс. Может быть однополярным или колебательным (рис. 2).

Компонент А<sub>h</sub> имеет интеграл действия  $0,8 \times 10^6 \text{ A}^2\text{с}$ , пиковую амплитуду 150 кА, полное время действия не более 500 мкс. Время нарастания тока от уровня 0,1 до 0,9 величины пикового тока не более 50 мкс. Может быть однополярным или колебательным (рис. 2).

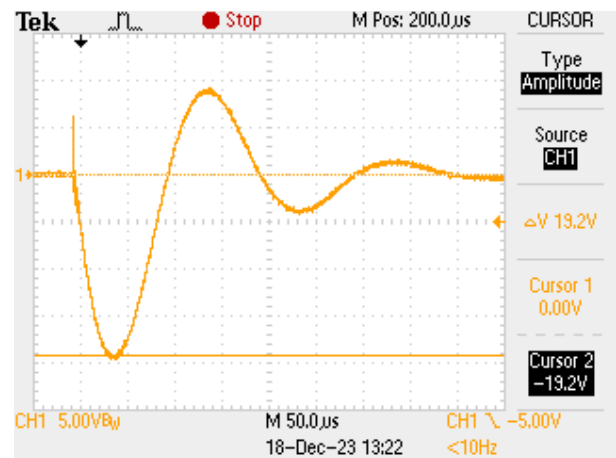


Рис. 2. Осциллограмма компонента А при испытаниях

Компонент А<sub>h</sub> имеет интеграл действия  $0,8 \times 10^6 \text{ A}^2\text{с}$ , пиковую амплитуду 150 кА, полное время действия не более 500 мкс. Время нарастания тока от уровня 0,1 до 0,9 величины пикового тока не более 50 мкс. Может быть однополярным или колебательным.

Компонент А/5 имеет интеграл действия  $0,08 \times 10^6 \text{ A}^2\text{с}$ , пиковую амплитуду 40 кА, полное время действия не более 500 мкс. Время нарастания тока от уровня 0,1 до 0,9 величины пикового тока не более 50 мкс. Может быть однополярным или колебательным.

Компонент В имеет усредненную амплитуду 2 кА, обеспечивая перенос заряда 10 Кл полное время действия не более 5 мс. Должен быть однополярным.

Компонент С имеет усредненную амплитуду от 200 до 800 А, обеспечивает перенос заряда 200 Кл за время от 0,25 до 1,0 с. Должен быть однополярным.

Компонент С имеет усредненную амплитуду от 200 до 800 А, обеспечивает перенос заряда 200 Кл за время от 0,25 до 1,0 с. Должен быть однополярным.

Компонент С\* имеет усредненную амплитуду не менее 400 А, обеспечивает перенос заряда 18 Кл за время от 45 мс. Должен быть однополярным.

Компонент D имеет интеграл действия  $0,25 \times 10^6 \text{ A}^2\text{с}$ , пиковую амплитуду 100 кА, полное время действия не более 500 мкс. Время нарастания тока от уровня 0,1 до 0,9 величины пикового тока не более 50 мкс. Может быть однополярным или колебательным.

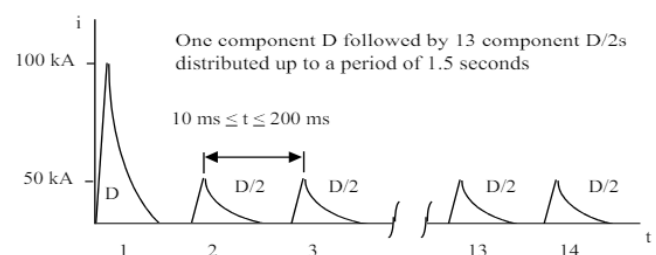


Рис. 3. Молния с несколькими ударами

Множественные молниевые разряды изображены на рис. 3 [3].

Множественные молниевые импульсы приведены на рис. 4.

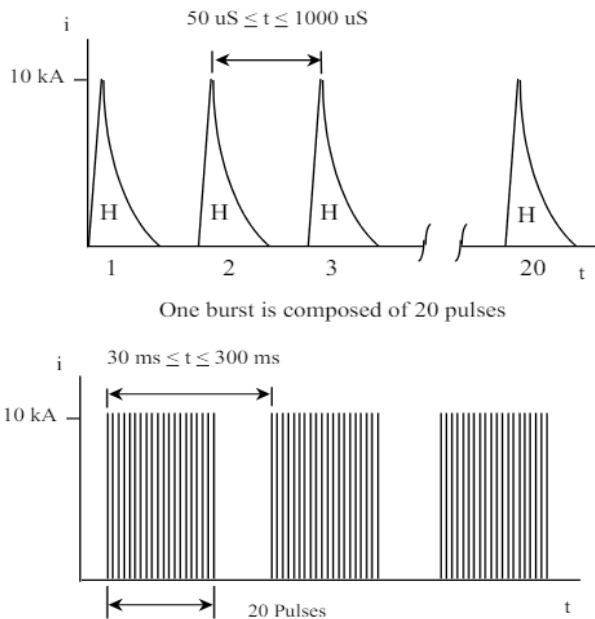


Рис. 4. Множественные молниевые импульсы

Квалификационные требования КТ-160G/14G не требуют испытаний импульсными магнитными полями молнии, поэтому приведенные параметры можно рассматривать только для справки.

В ГОСТ Р 50649-94 «Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к импульсному магнитному полю. Технические требования и методы испытаний» [4] форма испытательного импульса магнитного поля соответствует форме импульса тока имитатора микросекундной помехи большой энергии по ГОСТ Р 50007 [5] (длительность фронта 6,4 мкс ±30 %, длительность импульса 16 мкс ±20 %), напряженность от 100 до 1000 А/м.

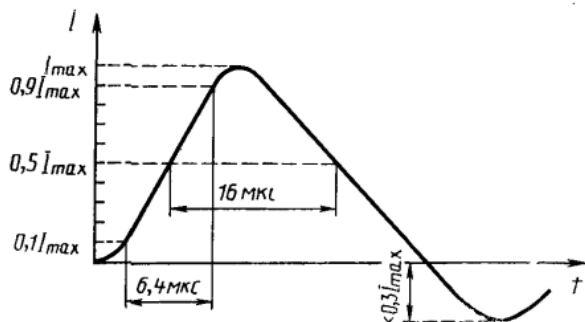


Рис. 5. Форма импульса тока на короткозамкнутом выходе испытательного генератора для создания микросекундного импульса помехи большой энергии

Для контроля напряженности магнитного поля, создаваемого испытательной установкой при испытаниях, должен использоваться датчик магнитного поля. В стандарте рекомендуют применять измерительную систему, состоящую из датчиков

магнитного поля с полосой пропускания не менее 5–10 МГц и осциллографа.

Международный стандарт ГОСТ 30585-98 «Совместимость технических средств электромагнитная. Стойкость к воздействию грозовых разрядов. Технические требования и методы испытаний» требует испытывать технические средства импульсным магнитным полем с длительностью фронта 2 мкс и длительностью полуспада 50 мкс. На рис. 3 длительность фронта  $t_f = 1,25 T_1$ , длительность полуспада  $t_i = T_2$ .

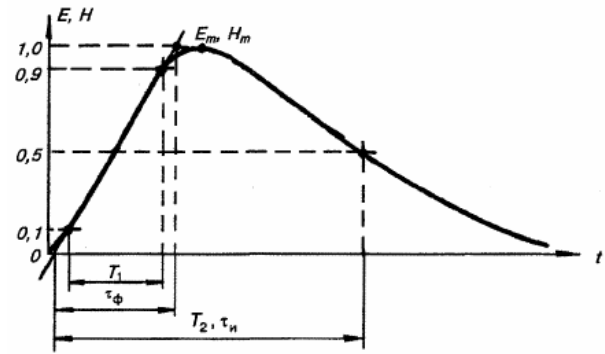


Рис. 6. Форма испытательного импульса напряженности грозовых электромагнитных полей

Параметры напряженности заданы от 50 до 300 А/м [6].

Параметры тока молнии, приведены в ГОСТ Р МЭК 62305-1-2010 [6].

## V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Нормативные документы определяют параметры электромагнитной среды, содержат требования к проектированию систем, определяют порядок испытаний оборудования.

Метрологическое обеспечение при экспериментальных исследованиях должно давать возможность получать в исследуемой точке при каждом испытании данные о значениях амплитудно-временных характеристик полей с суммарной погрешностью не выше ±20 % для напряженности магнитного поля.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Berger K., Anderson R.B., Kroninger H. Parameters of lightning flashes // Electra. 1975. Vol. 41. P.23–37.
- [2] Квалификационные требования КТ-160G/14G Условия эксплуатации и окружающей среды для бортового оборудования (Внешние воздействующие факторы – ВВФ). Требования нормы и методы испытания (в трех книгах). 2015.
- [3] MIL-STD-464C US. Department of defense interface standard electromagnetic environmental effects requirements for systems, 2010.
- [4] ГОСТ Р 50649-94 Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к импульсному магнитному полю. Технические требования и методы испытаний. Москва. 1994. 19 с.
- [5] ГОСТ Р 50007-92 Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии. Технические требования и методы испытаний. Москва 1992. 15 с.
- [6] ГОСТ 30585-98 Совместимость технических средств электромагнитная. Стойкость к воздействию грозовых разрядов. Технические требования и методы испытаний. Минск, БелГИСС, 2005. 28 с.
- [7] ГОСТ Р МЭК 62305-1-2010 Менеджмент риска. Защита от молнии. Часть 1. Общие принципы. М.: Стандартинформ, 2011. 45 с.