

Методы испытания судового электрооборудования на молниестойкость**А.С. Бордюг (ФГБОУ ВО КГМУ)**

Молния, являясь естественным источником мощных электромагнитных помех, представляет значительную опасность для судового радиоэлектронного и электротехнического оборудования различных объектов и систем. Помехи, создаваемые молнией в электрических цепях, вызывают отказы или выход аппаратуры из строя. Цель данной работы - определение методов испытаний радиоэлектронного и электротехнического судового оборудования на молниестойкость. Поражающее действие грозовых разрядов проявляется в виде прямых воздействий или косвенных влияний на аппаратуру. Прямое воздействие сопровождается прохождением по элементам оборудования тока молнии, а косвенное влияние обусловлено взаимодействием грозовых электромагнитных полей с электрическими цепями объекта, включая электрические поля предгрозового периода и лидерной стадии, электромагнитные поля излучения главного разряда и поля, связанные с прохождением тока молнии по пораженному или близко расположенному объекту, например, молниеотводу. Для испытания оборудования на молниестойкость необходимо воспроизвести ток молнии и электромагнитные поля, воздействующие на него.

Ключевые слова: молниестойкость, испытание судового электрооборудования, грозовые разряды.

Введение

Разряд молнии - обычное явление в море. Более тысячи гроз каждую минуту вызывают около 6 тыс. вспышек молний. Большинство ударов молнии происходит менее чем за полсекунды, и каждый заряд содержит 30 млн В. Судно, имеющее антенны и мачты, выделяющееся на относительно плоской поверхности моря, является объектом воздействия молнии. Основная цель системы молниезащиты - попытаться уловить удар молнии, безопасно рассеять энергию в море через систему заземления с низким сопротивлением и обеспечить защиту электронных систем от перенапряжения как от прямого удара молнии, так и от наведенных переходных токов.

Методы исследования

Грозное воздействие на электрические цепи сопровождается появлением в них импульсов наведенных напряжений и токов. Имитирование этих импульсов в исследуемых цепях дает возможность производить экспериментальную оценку восприимчивости объекта к грозовым воздействиям. Таким образом, можно выделить два основных метода проведения испытаний объектов, содержащих радиоэлектронное и электротехническое оборудование, на молниестойкость:

- воспроизведения основных поражающих факторов грозовых воздействий;
- имитирования напряжений и токов, наводимых в электрических цепях при грозовых воздействиях.

Метод воспроизведения основных поражающих факторов грозовых воздействий

Испытания на молниестойкость обычно проводятся путем поэтапного моделирования воздействующих на объект исследования грозовых поражающих факторов [1,2]. Прежде всего, находятся наиболее вероятные точки поражения молнией объекта. Разряд молнии моделируется с помощью генератора импульсных напряжений (ГИН), разряжающегося на масштабную модель объекта через искровой промежуток. Импульсы напряжения, формируемые от ГИН, представляют собой стандартную грозовую волну с временными характеристиками 1,2/50 мкс, амплитуда которых дос-

таточно для развития электрического пробоя на объект испытания. Для определения точек поражения молнией некоторых объектов, например аппаратуры глобальной морской системы связи при бедствии (ГМССБ), используется также высокочастотный метод [3]. Суть его заключается в том, что при повышении напряжения высокой частоты (10...100 кГц), подаваемого на модель оборудования ГМССБ (антенны), визуально наблюдаются точки коронирования и фиксируются значения напряжений, при которых корона последовательно появляется на элементах модели. Вероятность поражения каких-либо элементов модели оказывается обратно пропорциональной напряжению, при котором начинается их коронирование.

Испытание объекта и его элементов на прямое воздействие тока молнии производится путем создания в испытуемом объекте тока с параметрами, близкими к реальному. Наибольшее внимание таким испытаниям уделяется в авиационной технике. Форма и параметры тока, рекомендованные для проведения испытаний на молниестойкость объектов, приведены на рис. 1.

Испытательный ток содержит компоненты различных стадий молнии:

- 1) А – импульс тока главного разряда;
- 2) В – ток промежуточной составляющей;
- 3) С – ток постоянной составляющей;
- 4) D – импульс тока повторного разряда.

Воспроизведение в полном объеме такого тока молнии в лабораторных условиях весьма затруднительно, так как он представляет собой суперпозицию различных по амплитуде и длительности компонент. Кроме того, реализация требует наличия уникального и дорогостоящего высоковольтного оборудования (в настоящее время в нашей стране испытания объектов таким током проводятся лишь в отраслевой лаборатории молниезащиты летательных аппаратов Московского энергетического института). Учитывая, что характер воздействия компонентов тока молнии на оборудование различен вследствие различия их амплитудно-временных параметров, можно проводить испытания оборудования отдельно: на электромагнитное и электродинамическое воздействия тока

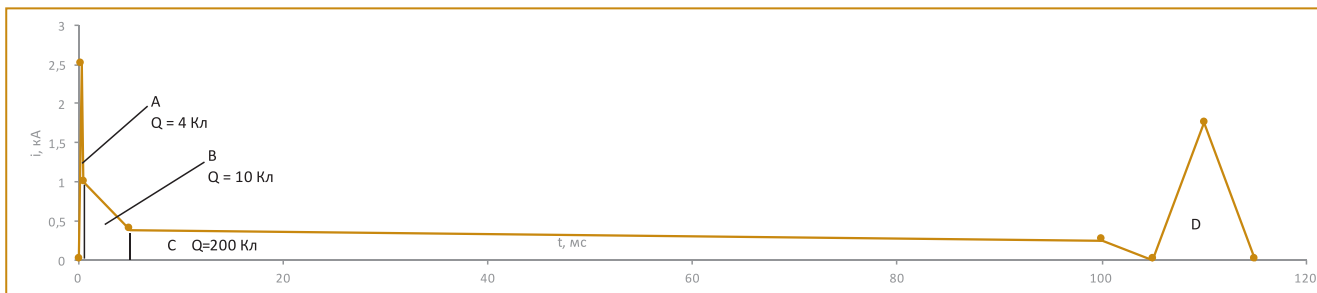


Рис. 1. Форма импульсов и параметры испытательного тока

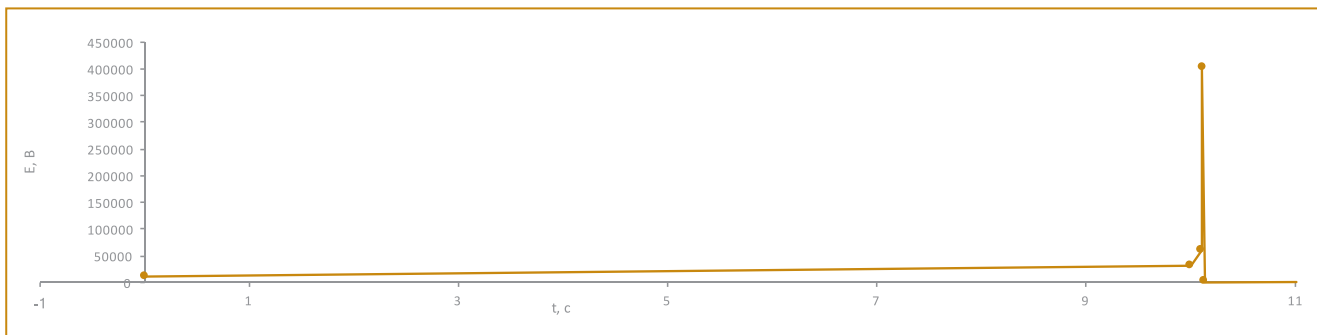


Рис.2. Параметры электрического поля

молнии компонентами А и D; на термическую молниестойкость компонентами В и С. Испытание на косвенное воздействие молнии осуществляется, прежде всего, воспроизведением грозовых электромагнитных полей, включающих электрические поля предгрозового периода и лидерной стадии и электромагнитные поля излучения канала молнии. Грозовые облака создают у поверхности земли электростатические поля со средним уровнем напряженности 10...30 кВ/м, который возрастает по мере приближения к грозовому облаку до 50...60 кВ/м [3].

Лидерная стадия характеризуется относительно медленным увеличением напряженности поля за время 1... 10 мс по мере приближения лидера к объекту поражения и затем, с расстояния приблизительно 100 м, происходит быстрый рост (за 0,1 мкс) напряженности до 300...400 кВ/м [4]. Далее идет быстрый спад (за 0,2 мс) до нуля. Таким образом, испытание на воздействие электростатического поля может проводиться путем воспроизведения параметров поля (рис. 2).

Наиболее сильное косвенное влияние на объекты, содержащие радиоэлектронное и электротехническое оборудование, оказывают электромагнитные поля излучения канала разряда молнии [4]. Для оборудования, расположенного на различном расстоянии от места поражения объекта молнией, можно условно выделить несколько зон, отличающихся уровнем воздействующих полей: I – 0...20 м; II – 20...50 м; III – 50...100 м; IV – 100...1000 м и V - > 1000 м. Для оборудования, находящегося в зоне I, испытания необходимо проводить путем создания поля от тока с параметрами импульсов А и D, проходящего либо в канале разряда, либо по элементам объекта.

Проведение испытаний на прямое и косвенное воздействия молнии путем воспроизведения таких поражающих факторов, как токи молнии и электромагнитные поля, требует больших материальных затрат, а иногда, например, при испытании крупномасштабных объектов, становится практически неосуществимым. Оценка молниестойкости оборудования в таких случаях производится после проведения испытаний при параметрах тока или поля, существенно отличающихся от нормированных, путем пересчета результатов испытаний к нормированным значениям [5].

Метод имитирования напряжения и токов

Метод имитирования напряжений и токов, наводимых в электрических цепях радиоэлектронного и электротехнического оборудования, заключается в нагружении входных цепей отдельных устройств системы импульсами напряжения и тока с параметрами, соответствующими реальным грозовым воздействиям. Реализация такого метода требует определения амплитудно-временных характеристик импульсов напряжения и тока, наводимых в типовых цепях. Когда эти характеристики найдены, можно генерировать импульсы напряжения непосредственно на входные цепи отдельных устройств оборудования. Если соединительные цепи длинные и сильно разветвленные, то в результате переходного процесса в системе при грозовом воздействии импульсы напряжения на входе в устройства будут иметь сложную трудновоспроизводимую форму. Задача упрощается, если при испытаниях создавать в электрических цепях ЭДС, соответствующую реальному воздействию молнии.

Анализ данных позволил установить, что наведенные ЭДС, как правило, содержат три различающихся составляющих: близкие по форме к импульсу

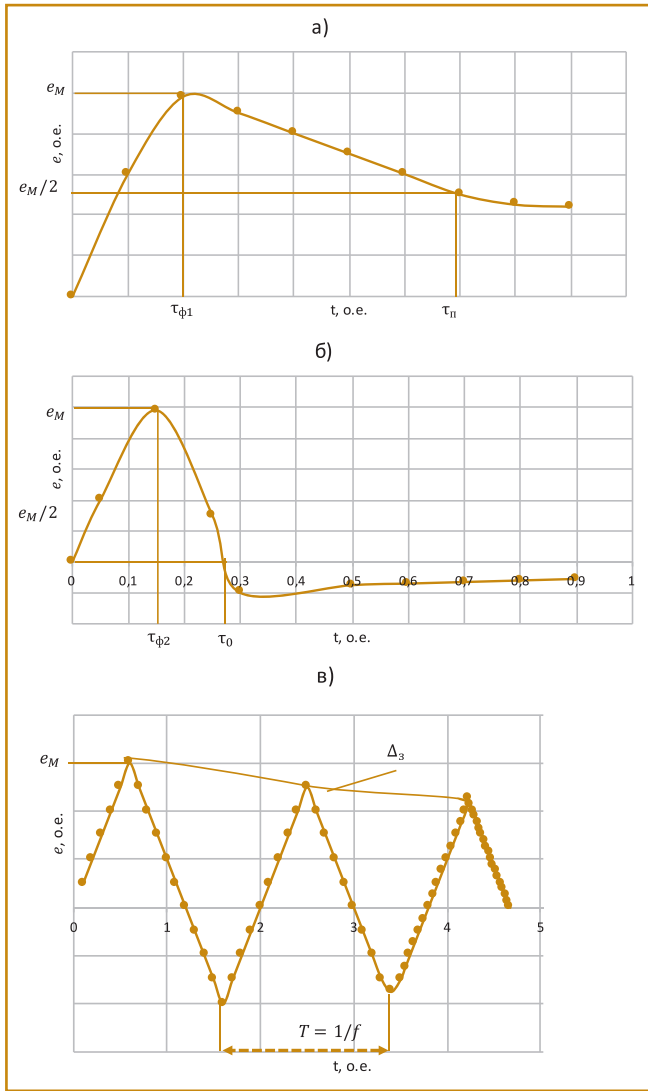


Рис. 3. Испытательные импульсы напряжения, где а – «длинная волна»; б – «короткая»; в – «колебательная (затухающая)»

тока молнии, к его производной, а также высокочастотную составляющую, обусловленную переходным процессом в пораженном объекте, например молниеотводе (рис. 3). Характер воздействия молнии на судовое оборудование таков, что в различных цепях может иметь место преобладание той или иной составляющей, а при испытаниях можно осуществлять их имитацию раздельно.

Для импульсов, приведенных на рис. 3, обычно регламентируются амплитудные значения и временные характеристики, обозначенные: время фронта $\tau_{\phi 1}$ и полуспада τ_{π} (рис. 3а), время фронта $\tau_{\phi 2}$ и перехода через нуль τ_0 (рис. 3б), частоту колебаний $f = \frac{1}{T}$ и декремент затухания Δ_3 .

При испытаниях судового оборудования используется пять категорий жесткости в зависимости от амплитуды импульсов e_M (e_M изменяет-

ся в диапазоне 125...3 200 В); для импульса рис. 3, а – $\tau_{\phi 1} = (2 \pm 0,4)$ мкс; $\tau_{\pi} = (50 \pm 10)$ мкс; для импульса рис. 3, б – $\tau_{\phi 2} < 0,1$ мкс; $\tau_0 = (2 \pm 0,4)$ мкс; для импульса рис. 3, в – $f = 1-50$ МГц, а Δ_3 выбирается таким, чтобы за 3...5 периодов амплитуда уменьшалась в e раз.

В связи с тем, что в одной молнии за 1 с может наблюдаться до 30 вспышек, испытательные импульсы могут подаваться серией с частотой следования до 100 Гц. Для испытания изоляции некоторых видов электротехнического оборудования может применяться импульс напряжения с $\tau_{\phi} / \tau_{\pi} = 1,2/50$ мкс.

Отметим, что нецелесообразно любое радиоэлектронное и электротехническое оборудование подвергать испытаниям на все перечисленные выше воздействия. Выбор метода испытаний и параметров воздействия (ток, электрическое или магнитное поле, импульсы ЭДС) зависит от места размещения оборудования, типа электрических цепей и устройств, входящих в систему.

Выводы

В практике обеспечения испытаний на молниестойкость объектов, содержащих радиоэлектронное и электротехническое оборудование, существуют два метода испытаний: воспроизведения основных поражающих факторов грозового воздействия и имитирования наведенных напряжений и токов. Реализация метода воспроизведения основных поражающих факторов грозового воздействия требует наличия уникального дорогостоящего высоковольтного оборудования, однако позволяет моделировать воздействия наиболее близко к реальным. Метод имитирования наведенных напряжений и токов является более простым и легко реализуемым, но требует предварительного определения амплитудно-временных наводок, возникающих в типовых цепях оборудования.

Список литературы

1. Авакян, Г.О. Воздействие молнии на бортовое оборудование летательных аппаратов / Г. О. Авакян, М. Б. Бабинов, Р. К. Борисов, В. П. Ларионов // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. 1990. №5. С.101-107.
2. Юман М. Естественная и искусственно инициированная молния и стандарты на молниезащиту // ТИИЭР. 1988. Т.76. № 12. С. 5–26.
3. Курдюмов В.И. Безопасность жизнедеятельности на производстве: Уч. для студентов вузов/ В.И. Курдюмов, Б.И.Зотов. - 2-издание, переработанное и дополненное. - М.: Колос, КолосС, 2003.- 432 с.
4. Верёвкин В.Н. Электростатическая искробезопасность и молниезащита / В.Н. Верёвкин, Г.И. Смелков, В.Н. Черкасов/ М.: МИЭЭ, 2006. - 170 с. ISBN 5-98540-007-7
5. Кечиев. Л. Защита электронных средств от воздействия статического электричества / Л. Кечиев, Е. Пожидаев / Группа ИДТ, 2008. - 352 с.

Бордюг Александр Сергеевич – канд. техн. наук, доцент кафедры электрооборудования судов и автоматизации производства ФГБОУ ВО КГМТУ (г. Керчь).
E-mail: alexander.bordyug@mail.ru