

МОЩНАЯ ВЫСОКОВОЛЬТНАЯ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИМИТАЦИИ ПОЛНОГО ТОКА МОЛНИИ И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ В ОБЛАСТИ МОЛНИЕЗАЩИТЫ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Баранов М.И., д.т.н., Колиушко Г.М., к.т.н., Кравченко В.И., д.т.н., Недзельский О.С.
 НИПКИ "Молния" Национального технического университета "Харьковский политехнический институт"
 Украина, 61013, Харьков, ул. Шевченко, 47, НИПКИ "Молния" НТУ "ХПИ"
 тел. (057) 707-68-41, факс (057) 707-61-33, E-mail: nipkimolniya@kpi.kharkov.ua

Приведено основні схемно-технічні рішення і характеристики створеного потужного імітатора повного струму блискавки, що формує як окремо його імпульсну, проміжну, тривалу і повторну імпульсну складові, так і їх спільні комбінації у різному сполученні. Описано результати електромагнітних випробувань на даному імітаторі досвідних зразків композиційної обшивки літальних апаратів на стійкість до прямої дії імпульсного струму блискавки.

Приведены основные схемно-технические решения и характеристики созданного мощного имитатора полного тока молнии, формирующего как в отдельности его импульсную, промежуточную, длительную и повторную импульсную составляющие, так и их совместные комбинации в различном сочетании. Описаны результаты электромагнитных испытаний на данном имитаторе опытных образцов композиционной обшивки летательных аппаратов на стойкость к прямому воздействию импульсного тока молнии.

ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение стойкости и повышение надежности работ объектов электроэнергетических систем, связи, транспорта и аэрокосмической техники в условиях воздействия на них мощных внешних электрофизических факторов, в частности, прямого удара молнии (сильноточного грозового разряда), сопровождающихся интенсивными электромагнитными, электродинамическими и тепловыми дестабилизирующими и разрушающими действиями, является актуальной задачей современной электрофизической науки и техники. Внедрение в настоящее время прогрессивных технологий в области аэрокосмической техники позволяет создавать новые композиционные материалы для обшивки летательных аппаратов (ЛА), являющиеся более стойкими к воздействию вышеперечисленных разрушающих факторов импульса тока мощного грозового разряда. Контроль качества новых композиционных материалов предполагает проведение разноплановых испытаний, характер и объем которых обусловлен рядом международных и государственных нормативных документов. В частности, требования к объему и параметрам натуральных испытаний планера ЛА либо фрагментов его обшивки на прямое воздействие тока молнии представлены в [1-6]. При этом основой известных методик электромагнитных испытаний ЛА на стойкость к действию молнии является физическое моделирование полномасштабного импульса грозового тока и его поражающих факторов при прямом или косвенном воздействии молнии на объект испытаний (ОИ). В соответствии с принятыми в современной физике молнии положениями и действующими в практике испытаний на молниестойкость требованиями полный ток в плазменном канале грозового электрического разряда в атмосферном воздухе характеризуется наличием следующих токовых компонент, воздействующих на ОИ в определенной временной последовательности [1, 5, 6]: импульсной составляющей (компоненты *A*) амплитудой не менее 200 кА и длительностью до 500

мкс, промежуточной составляющей (компоненты *B*) с амплитудой среднего тока до 2 кА и длительностью до 5 мс и длительной составляющей (компоненты *C*) амплитудой от 200 до 800 А и длительностью до 1000 мс. В упомянутых работах указывается, что имитируемый полный ток молнии может содержать повторную импульсную составляющую (компоненту *D*), имеющую амплитуду не менее 100 кА и длительность до 0,5 мс (она иногда используется при испытаниях вместо компоненты *A*). Испытания согласно [1, 5, 6] металлической (композиционной) обшивки ЛА на молниестойкость могут проводиться при следующих совместных воздействиях токовых компонент молнии: $A+B$; $A+C$; $A+B+C$; $D+B+C$.

Целью данной статьи является описание основных электрических схем построения, технических характеристик и практических возможностей разработанного и созданного в НИПКИ "Молния" НТУ "ХПИ" в 2007 году мощного имитатора полного тока молнии, предназначенного для проведения натуральных электромагнитных испытаний различных технических объектов электроэнергетики, электросвязи и авиационной техники и средств их молниезащиты на стойкость к прямому (косвенному) воздействию грозовых сильноточных электрических разрядов (молнии), содержащих *A*, *B*, *C* и *D* токовые компоненты.

1. СХЕМЫ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИМИТАТОРА ПОЛНОГО ТОКА МОЛНИИ

Поскольку ток молнии содержит ряд компонент, которые в условиях экспериментальных исследований или испытаний должны быть воспроизведены полностью или частично в заданной последовательности, то имитатор полного импульса тока молнии должен состоять из ряда генераторов импульсов тока (ГИТ), позволяющих получать в заданной нагрузке соответствующие импульсы тока как в индивидуальном режиме их функционирования, так и в режиме их совместной работы. При схемно-конструктивной разработке таких ГИТ одним из определяющих моментов

является представление нагрузки в виде электрофизической модели, позволяющей ввести эквивалентные электрические параметры при рассмотрении переходных процессов в электрических цепях ГИТ. В соответствии с методиками, указанными в [5, 6], импульс тока молнии посредством плазмы импульсного разряда должен воздействовать на ОИ, которым у нас является фрагмент обшивки ЛА. При этом задается способ инициирования канала разряда над ОИ с помощью врывающегося проводника (медной проволоки диаметром 0,1 мм), перекрывающего воздушный промежуток длиной 50 мм между основным электродом и ОИ. Геометрические размеры используемого фрагмента композиционной обшивки ЛА составляли: 500x500x3 мм. Проработка конструкции узла нагрузки позволила определить его основные компоненты и геометрические параметры, представленные на рис. 1.

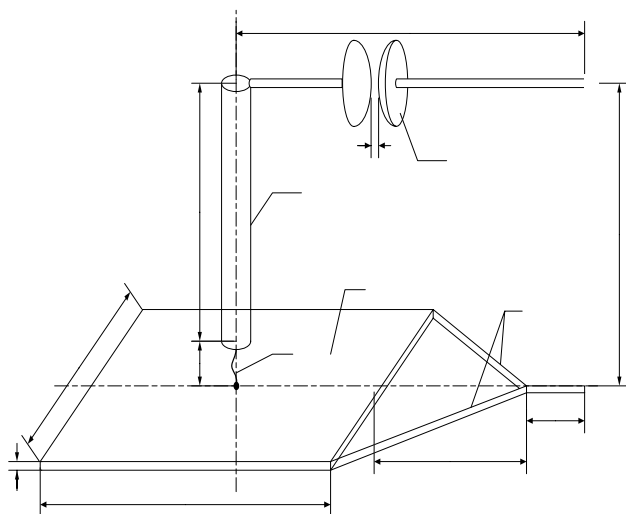


Рис. 1. Принятая схема узла нагрузки:

1 – испытываемый объект; 2 – основной токоподводящий электрод; 3 – разрядный промежуток F1 с взрывающимся проводником; 4 – основной управляемый разрядник F2 для создания *A* и *D* компонент; 5 – электроды обратного токопровода ГИТ

Анализ электрических параметров принятого узла нагрузки позволяет сделать следующие выводы: 1). Нагрузка носит активно-индуктивный характер и может быть представлена в контуре разряда ГИТ участком цепи с последовательно включенными индуктивностью L_H и активным сопротивлением R_H . 2). Индуктивность L_H определяется геометрией используемых проводников, участками каналов импульсных разрядов и зон растекания разрядных токов ГИТ по проводящей плоскости ОИ. 3). Активное сопротивление R_H включает в себя как стабильное сопротивление токопроводов узла нагрузки, так и нелинейные сопротивления каналов разрядов плюс изменяющееся сопротивление ОИ вследствие частичного (полного) разрушения проводящих слоев металла или композиционного материала ОИ под воздействием тока молнии.

Аналитические расчеты и измерения на физических моделях, повторяющих геометрию узла нагрузки, позволили оценить величину L_H , равную около 1 мкГн. Путем прямых измерений активного сопротивления системы электродов и опытных образцов

фрагментов нагрузки удалось оценить R_H проводящих элементов нагрузки и принять его равным 0,03 Ом. Анализ сопротивления каналов импульсных дуг промежутков *F1* и *F2* позволил оценить их сопротивление и принять величиной, примерно равной 0,02 Ом. Таким образом, принятые параметры узла нагрузки составили следующие значения: $L_H=1$ мкГн, $R_H=0,05$ Ом.

Разработанная и созданная нами высоковольтная электрофизическая установка (ВЭФУ) включает в себя четыре мощных имитатора указанных выше компонент тока молнии обеих полярностей, которые могут работать как отдельно друг от друга, так и совместно на общую электрическую нагрузку: имитатор импульсной составляющей тока молнии (компоненты *A*); имитатор промежуточной составляющей тока молнии (компоненты *B*); имитатор длительной составляющей тока молнии (компоненты *C*); имитатор повторной импульсной составляющей тока молнии (компоненты *D*).

Построение разрядной цепи имитатора импульсной составляющей тока молнии. На рис. 2 приведена электрическая схема разрядного контура имитатора импульсной составляющей тока молнии (имитатора – *A*), построенного на основе мощного емкостного накопителя энергии (ЕНЭ) действующего ГИТ на номинальное напряжение ± 50 кВ (ГИТ-50) [7]. Электрические параметры разрядной цепи имитатора – *A* имели следующие численные значения: $C_A=336$ мкФ; $L_A=2,05$ мкГн; $R_A=0,061$ Ом. На рис. 2 обозначено: K_1 – управляемый высоковольтный трехэлектродный воздушный разрядник атмосферного давления; БП – блок электрического поджига разрядника K_1 ; ОИ – объект испытаний ($R_H=0,05$ Ом; $L_H=1$ мкГн); Ш – измерительный коаксиальный шунт типа ШК-300 ($R_{ш}=0,185$ мОм), посредством которого измерялся импульс тока в ОИ как при формировании компоненты *A*, так и других токовых компонент молнии.

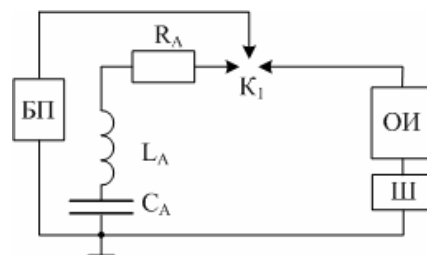


Рис. 2. Электрическая схема имитатора в режиме формирования импульсной *A* составляющей тока молнии

Построение разрядной цепи имитатора промежуточной составляющей тока молнии. На рис. 3 представлена электрическая схема разрядного контура имитатора промежуточной составляющей тока молнии (имитатора – *B*), собранного на основе части мощного ЕНЭ генератора импульсных токов на номинальное напряжение ± 5 кВ (ГИТ-5) [7]. Электрические параметры разрядной цепи имитатора – *B* составляли следующие численные значения: $C_B=2,52$ мФ; $L_B=123$ мкГн; $R_B=0,5$ Ом. На рис. 3 приняты такие обозначения: K_2 – неуправляемый высоковольтный сильноточный двухэлектродный воздушный разрядник атмосферного давления.

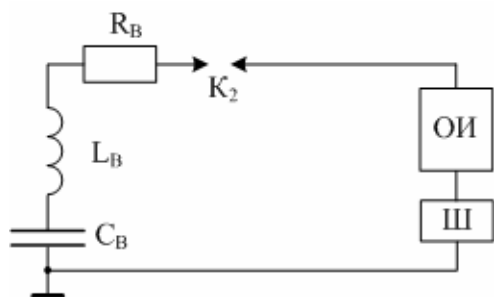


Рис. 3. Электрическая схема имитатора в режиме формирования промежуточной B составляющей тока молнии

Построение разрядной цепи имитатора длительной составляющей тока молнии. Электрическая схема разрядного контура имитатора длительной составляющей тока молнии (имитатора – C) приведена на рис. 4. Имитатор – C был создан на основе использования основной части ЕНЭ мощного действующего ГИТ на номинальное напряжение ± 5 кВ (ГИТ-5) [7]. Электрические параметры разрядной цепи имитатора – C имели следующие численные значения: $C_C=45,36$ мФ; $L_C=11,43$ мГн; $R_C=4,74$ Ом. На рис. 4 обозначено: K_3 – неуправляемый высоковольтный сильноточный двухэлектродный воздушный разрядник атмосферного давления.

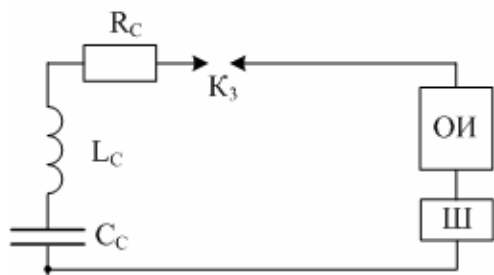


Рис. 4. Электрическая схема имитатора в режиме формирования длительной C составляющей тока молнии

Построение разрядной цепи имитатора повторной импульсной составляющей тока молнии. Схема имитатора – D аналогична электрической схеме имитатора – A , приведенной на рис. 2. В имитаторе – D ЕНЭ на ± 50 кВ представлял собой лишь часть ЕНЭ имитатора – A . Электрические параметры разрядной цепи имитатора – D составляли следующие значения: $C_D=108$ мкФ; $L_D=1,5$ мкГн; $R_D=0,18$ Ом.

2. РЕЗУЛЬТАТЫ ПРАКТИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ ИМИТАТОРА ПОЛНОГО ТОКА МОЛНИИ

Имитатор импульсной составляющей тока молнии. В имитаторе – A мощный ЕНЭ с номинальной запасаемой энергией в $W_A=420$ кДж был реализован на основе 112 шт. параллельно соединенных (по 56 шт. на 1 и 2 этажах) при помощи медной шины 3×25 мм² (рис. 5, 6) промышленных малоиндуктивных конденсаторов в металлическом корпусе типа ИК-50-3 (номинальное напряжение – 50 кВ; емкость – 3 мкФ). Разрядник K_1 в разрядной цепи этого имитатора имел два основных массивных стальных полусферических электрода $\varnothing 123$ мм и расположенный между ними поджигающий сферический электрод

$\varnothing 30$ мм, на который подавался запускающий импульс от генератора или блока поджига (БП) напряжением ± 100 кВ [8, 9]. Каждый конденсатор ЕНЭ в имитаторе – A на своем высоковольтном выводе содержал защитные резисторы, предназначенные для защиты ЕНЭ от аварийных ударных токов в случае его электрического пробоя. Каждый защитный резистор общим сопротивлением $R_3=6$ Ом был собран из четырех параллельно включенных резисторов типа ТВО-60-24 Ом (рис. 5, 6).

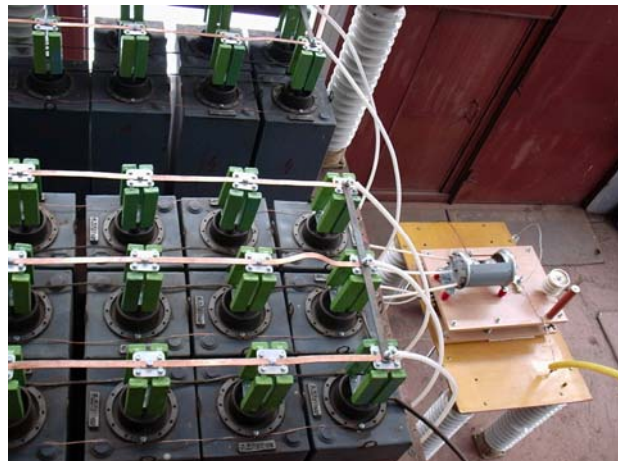


Рис. 5. Фрагмент второго этажа мощного ЕНЭ на ± 50 кВ, медной ошиновки зарядно-разрядных цепей, защитных резисторов и рабочего стола имитатора – A (вид сверху)

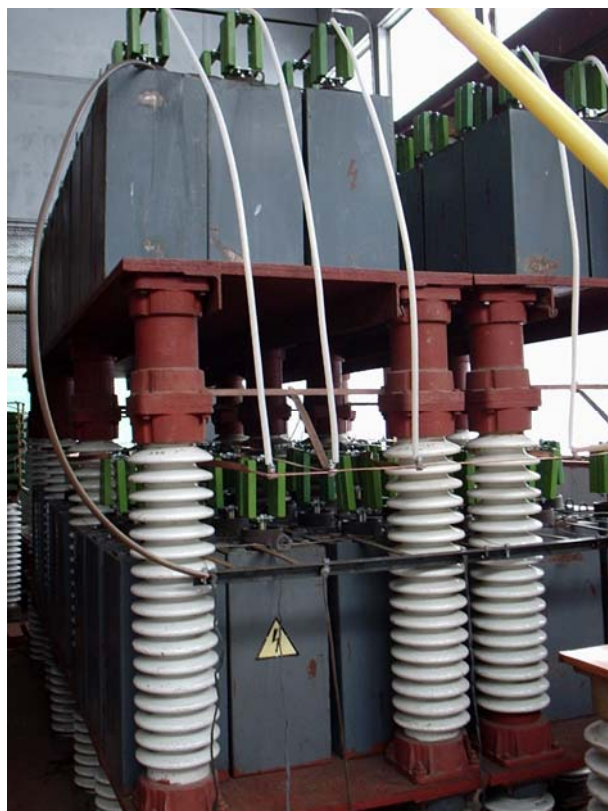


Рис. 6. Фрагмент мощного ЕНЭ на ± 50 кВ, ошиновки разрядной цепи, изоляционной несущей конструкции и коллектора имитатора – A (вид сбоку)

Все конденсаторы ЕНЭ имитатора – A медной ленточной и кабельной с полиэтиленовой изоляцией (без медной оплетки) ошиновкой были подсоединены

к коллектору (рис. 6), медные и стальные шины которого были жестко присоединены к основным электродам разрядника K_1 (или разрядника F2 на рис. 1).

На рис. 7 приведена типичная осциллограмма разрядного тока в нагрузке от имитатора – А. Согласно токовой осциллограмме на рис. 7, полученной при зарядном напряжении ЕНЭ имитатора – А в $U_{3А} = -27,4$ кВ с помощью цифрового осциллографа типа Tektronix TDS 1012, амплитуда импульсной составляющей тока молнии в нагрузке (ОИ), реализованной в виде тонкого медного электрически взрывающегося проводника (ЭВП) длиной до 50 мм и диаметром до 0,1 мм, а также размещенного под ним опытного образца алюминиевой обшивки ЛА толщиной 3 мм с размерами в плане $0,5 \times 0,5$ м², составила $I_{mA} = -212$ кА.

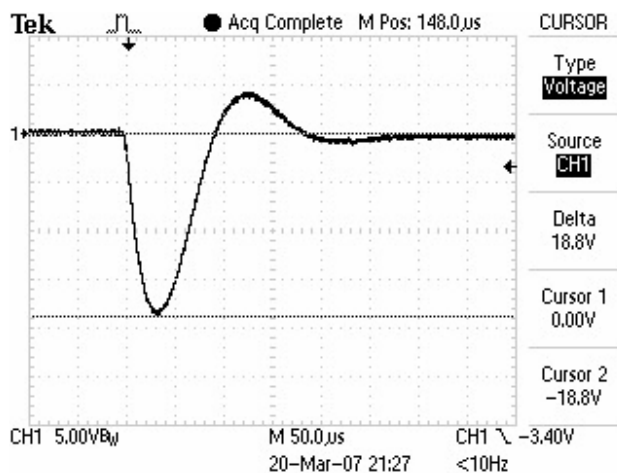


Рис. 7. Осциллограмма импульсной А составляющей тока молнии (полярность отрицательная) в нагрузке

Из осциллограммы на рис. 7 следует, что время нарастания импульсного тока молнии до амплитудного значения I_{mA} не превышает 34 мкс, что соответствует действующим требованиям [5, 6]. Заметим, что при измерении импульсной составляющей тока молнии в имитаторе – А были применены созданные в нашем институте и прошедшие государственную метрологическую аттестацию как измеритель импульсных токов типа ИИТ-200, чувствительность которого составляла 16,35 мВ/кА, так и шунт типа ШК-300 с активным сопротивлением 0,185 мОм и двумя выходами, имеющими коэффициенты преобразования 5642 и 11261. А/В.

Имитатор промежуточной составляющей тока молнии. Имитатор – В с номинальной запасаемой энергией в $W_B = 31,5$ кДж был реализован на основе 18 шт. параллельно соединенных при помощи медной шины $0,5 \times 30$ мм² (рис. 8) промышленных малоиндуктивных конденсаторов в металлическом корпусе типа ИМ2-5-140 (номинальное напряжение-5 кВ; емкость-140 мкФ). Неуправляемый разрядник K_2 разрядной цепи имитатора – В имел два жестко закрепленных относительно друг друга прямоугольных углеграфитовых электрода марки ГЭ с плоскими рабочими поверхностями, воздушный промежуток между которыми длиной не более 4 мм электрически пробивался в мо-

мент подачи от БП на управляемый трехэлектродный разрядник K_1 имитатора – А микросекундного импульса поджига напряжением до ± 100 кВ [8, 9].

Разделительная индуктивность $L_B = 123$ мкГн в разрядной цепи ЕНЭ имитатора – В была выполнена в виде четырех параллельно подключенных цилиндрических индуктивных катушек, намотанных медным проводом с эмалевой изоляцией марки ПЭВ диаметром 2 мм на цилиндрические каркасы, выполненные из прессованной бумаги (рис. 8). Формирующее активное сопротивление $R_B = 0,5$ Ом в разрядном контуре ЕНЭ имитатора – В было выполнено из 48 шт. параллельно включенных объемных керамических резисторов типа ТВО-60-24 Ом (см. рис. 8).



Рис. 8. Общий вид развязывающих RL-элементов разрядной цепи имитатора – В

На рис. 9 показана типичная осциллограмма компоненты В тока молнии, полученная при зарядном напряжении ЕНЭ в имитаторе – В, равном $U_{3В} = -4$ кВ. Из осциллограммы следует, что амплитуда компоненты В тока молнии составляет $I_{mB} = -5,37$ кА.

Длительность токовой компоненты В согласно рис. 9 составляет $\tau_{иВ} = 5,3$ мс и удовлетворяет требованиям из [1, 5, 6]. В процессе измерения амплитудно-временных параметров (АВП) компоненты В тока молнии был использован также шунт типа ШК-300 с коэффициентом преобразования, равным 5642 А/В.

Имитатор длительной составляющей тока молнии. В имитаторе – С мощный ЕНЭ с номинальной запасаемой энергией в $W_C = 567$ кДж был реализован на основе 324 шт. параллельно соединенных (53 шт. на 1-ом, 78 шт. на 2-ом и 193 шт. на 3-ем этажах ЕНЭ) медной ленточной ошиновкой $0,5 \times 30$ мм² (рис. 10)

промышленных малоиндуктивных конденсаторов в металлическом корпусе типа ИМ2-5-140 (номинальное напряжение-5 кВ; емкость-140 мкФ).

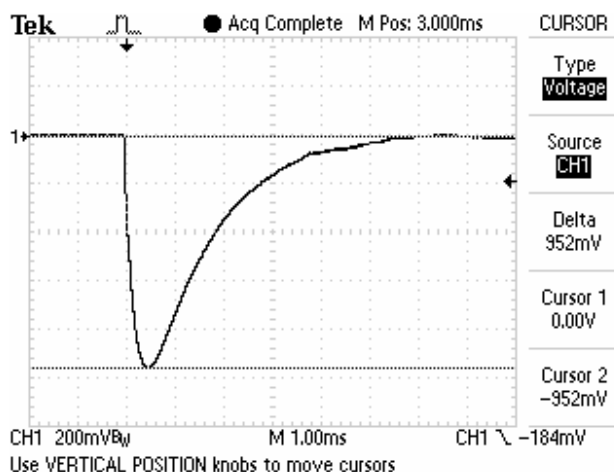


Рис. 9. Осциллограмма промежуточной B составляющей тока молнии отрицательной полярности в нагрузке



Рис. 10. Общий вид третьего этажа мощного ЕНЭ на ± 5 кВ, медной ошиновки и защитных керамических резисторов типа ТВО-60-100 Ом разрядной цепи имитатора – C

Неуправляемый разрядник K_3 разрядной цепи имитатора – C был объединен с двухэлектродным воздушным коммутатором K_2 имитатора – B и представлял собой двухэлектродный воздушный разрядник с прямоугольными углеграфитовыми электродами марки ГЭ с плоскими рабочими поверхностями, закругленными радиусом до 3 мм на краях. Опытная эксплуатация имитаторов грозовых токовых компонент B и C подтвердила правильность выбора такой конструкции коммутатора K_2 (или K_3) со стойкими к электрической эрозии углеграфитовыми электродами, работающими в сложных электротепловых режимах. Каждый конденсатор ЕНЭ в имитаторе – C на высоковольтном выводе содержит защитные сопротивления, предназначенные для поглощения тепловой энергии и ограничения аварийных токов в случае пробоя одного из конденсаторов этого ГИТ. Здесь эти сопротивления были выполнены из одного керамического резистора типа ТВО-60-100 Ом (рис. 10).

Разделительная индуктивность $L_C=11,43$ мГн в разрядной цепи ЕНЭ имитатора – C была собрана из трех последовательно соединенных цилиндрических индуктивных катушек, намотанных медным проводом с эмалевой изоляцией марки ПЭВ диаметром 1,5 мм на круглых полых стеклопластиковых цилиндрах (рис. 11). Активное сопротивление R_C разрядного контура ЕНЭ имитатора – C состояло из 108 шт. последовательно-параллельно включенных формирующих керамических резисторов типа ТВО-60-24 Ом (в сумме 2 Ом) и активного сопротивления (величиной 2,74 Ом) медного провода катушек разделительных индуктивностей (рис. 11).



Рис. 11. Общий вид развязывающих RL – элементов разрядной цепи имитатора – C

На рис. 12 приведена типичная осциллограмма длительной C составляющей тока молнии, полученная в нагрузке от имитатора – C при зарядном напряжении его ЕНЭ в $U_{3C}=-4$ кВ. Измерительный шунт типа ШК-300 в рассматриваемом режиме измерения токовой компоненты C молнии, формируемой при этом одновременно с токовой компонентой A (на рис. 12 она сжата в линию впереди компоненты C) имел сопротивление 0,185 мОм и коэффициент преобразования, равный 11261 А/В. В соответствии с данными рис. 12 амплитуда апериодической компоненты C тока молнии в созданном имитаторе – C на принятой нами RL -нагрузке, имеет значение около $I_{mC} = -738$ А, а ее длительность равна $\tau_{ис} = 0,82$ с.

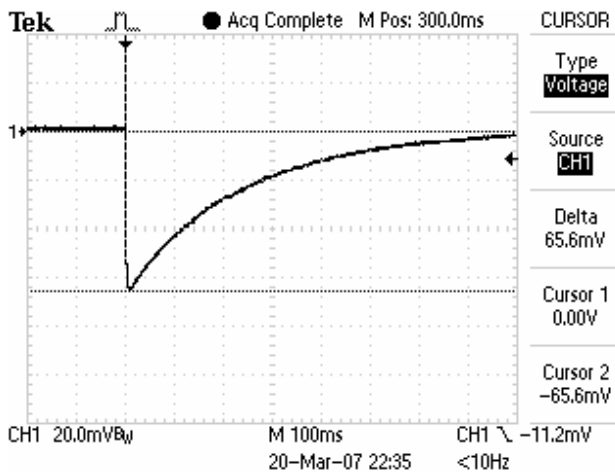


Рис. 12. Осциллограмма длительной C составляющей тока молнии отрицательной полярности в нагрузке

На рис. 13 представлена осциллограмма временной "сшивки" имитированных токовых компонент A (колебательной и "идущей" впереди) и B (апериодической отрицательной и "идущей" в конце процесса) искусственной молнии, характеризующихся соответственно амплитудами $I_{mA} = -213$ кА ($U_{3A} = -27,5$ кВ; $\tau_{ИА} = 300$ мкс) и $I_{mB} = -5,41$ кА ($U_{3B} = -4,07$ кВ; $\tau_{ИБ} = 5,3$ мс). В качестве общей для имитаторов импульсной и промежуточной составляющих тока молнии RL -нагрузки при этом режиме их работы были использованы тонкий медный ЭВП (длиной около 50 мм и $\varnothing 0,1$ мм) и образец алюминиевой обшивки ЛА (толщиной 3 мм и размерами $0,5 \times 0,5$ м²). Приведенная на рис. 13 токовая осциллограмма подтверждает требуемую синхронность срабатывания управляемого трехэлектродного воздушного разрядника K_1 (на рабочем напряжении в десятки кВ) и неуправляемого двухэлектродного воздушного разрядника K_2 (или K_3) на рабочем напряжении в единицы кВ.

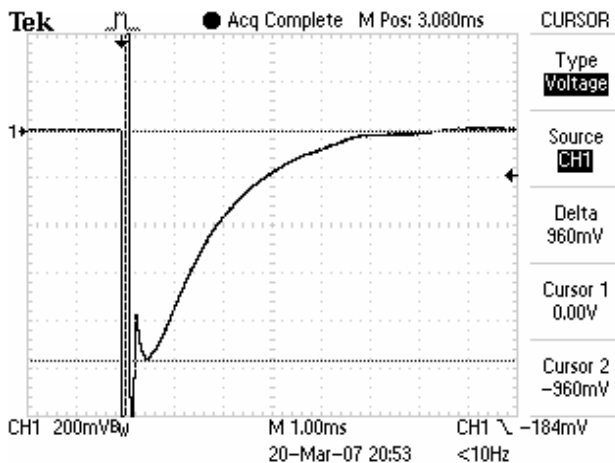


Рис. 13. Осциллограмма импульсной A и промежуточной B составляющих тока молнии на общей активно-индуктивной нагрузке

На рис. 14 представлена осциллограмма совместного воспроизведения в одной нагрузке токовых компонент молнии D , B и C . Токковый шунт ШК-300 при этом имел коэффициент преобразования, равный 5642 А/В. Из осциллограммы на рис. 14 следует, что

амплитуда тока компоненты C равна $I_{mC} = -0,79$ кА ($U_{3C} = -4$ кВ; $\tau_{ИС} = 0,6$ с). Кроме того, из рис. 14 видно, что при работе имитаторов $-D$, $-B$ и $-C$ обеспечивается необходимая по условиям их воздействия на ОИ синхронность срабатывания их коммутаторов.

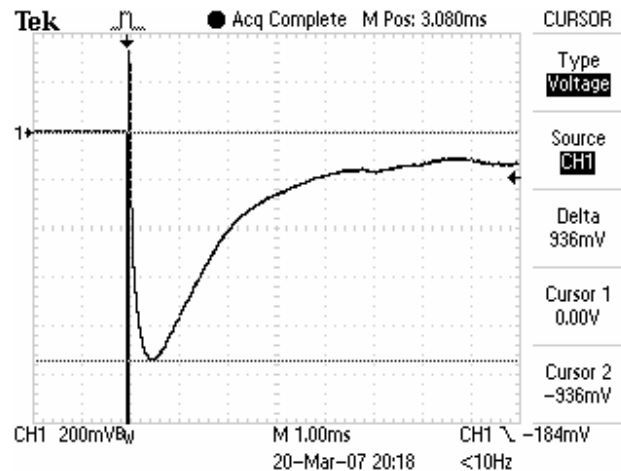


Рис. 14. Осциллограмма повторной импульсной D , промежуточной B и длительной C составляющих тока молнии в режиме совместной работы имитаторов на общую нагрузку

4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ОБРАЗЦОВ КОМПОЗИЦИОННОЙ ОБШИВКИ ЛА НА СТОЙКОСТЬ К ВОЗДЕЙСТВИЮ ТОКА МОЛНИИ

В качестве испытываемых с помощью имитатора импульсного тока молнии (компоненты A) опытных образцов нами были использованы плоские участки композиционной обшивки ЛА толщиной 3 мм с размерами в плане $0,5 \times 0,5$ м². В проведенных экспериментах эти опытные образцы были жестко закреплены на рабочем столе и надежно электрически подсоединены с двух противоположных сторон к заземленному токопроводу ЕНЭ имитатора $-A$ (рис. 15).

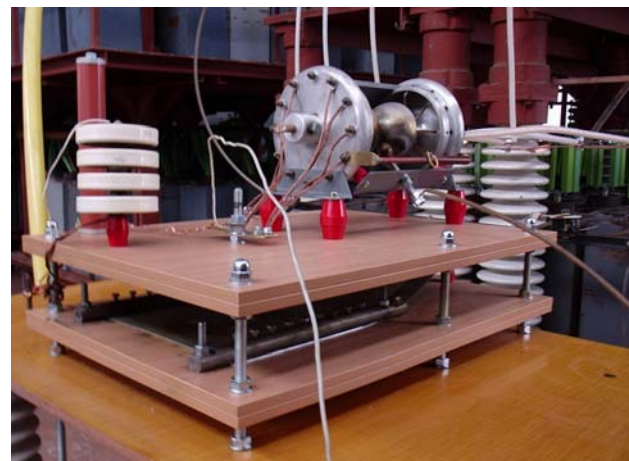


Рис. 15. Общий вид рабочего стола с объектом испытаний и высоковольтным силовым воздушным трехэлектродным коммутатором K_1 в имитаторе полного тока молнии

Над образцом на высоте 50 мм вертикально размещался медный основной электрод $\varnothing 20$ мм воздушной электроразрядной системы, конец которого электрически соединяется с испытываемым образцом по его центру вертикально установленным взрывающим-

ся проводником (ЭВП). Такое подсоединение испытываемых образцов обшивки ЛА обеспечивало требуемое растекание по ним имитируемого тока молнии. При проведении этих испытаний амплитуда импульсного тока искусственной молнии отрицательной полярности в образцах, согласно данным осциллограммы на рис. 7, составляла около $I_{mA} = -212$ кА.

На рис. 16 приведена фотография зоны повреждения при воздействии указанной выше компоненты – *A* тока молнии на испытываемый образец композиционной обшивки ЛА. Из анализа результатов обследования зоны привязки имитированного сильноточного грозового электрического разряда на опытном образце обшивки ЛА следует, что в случае прямого удара молнии в ЛА ее токовая компонента *A* может приводить к значительным повреждениям образцов композиционной обшивки ЛА вплоть до их сквозного пробоа и локального разрушения.



Рис. 16. Общий вид зоны повреждения Ø 100 мм при воздействии импульсной компоненты *A* тока молнии на опытном образце толщиной 3 мм композиционной обшивки ЛА

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В Украине создана уникальная мощная высоковольтная электрофизическая установка, содержащая в своем составе четыре имитатора грозовых токовых компонент полного тока искусственной молнии, способных надежно формировать на одной общей активно-индуктивной электрической нагрузке импульсную (компоненту *A*), промежуточную (компоненту *B*), длительную (компоненту *C*) и повторную импульсную (компоненту *D*) составляющие тока молнии положительной или отрицательной полярности как в отдельности, так и в их совместной комбинации с различными сочетаниями.

2. Проведенные контрольные испытания созданных имитаторов импульсного тока молнии на опытных образцах металлической и композиционной обшивки ЛА показали, что получаемые с их помощью АВП токовых грозовых компонент *A*, *B*, *C* и *D* полностью соответствуют действующим международным

нормам и стандартам в области молниезащиты и электромагнитных испытаний технических объектов на молниестойкость.

3. Построенный на экспериментальной базе НИПКИ "Молния" НТУ "ХПИ" мощный имитатор полного тока искусственной молнии, разработанные для него нестандартизированные измерительные средства применительно к области высоковольтной импульсной техники, прошедшие государственную метрологическую аттестацию, могут быть использованы для проведения натуральных электромагнитных испытаний различных технических объектов электроэнергетики, средств электросвязи, авиационной и ракетно-космической техники и средств их молниезащиты на стойкость к прямому (косвенному) воздействию сильноточных грозовых электрических разрядов.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Uman M.A. Natural and artificially-initiated lightning and lightning test standards// Proceeding of the IEEE.-1988.- Vol. 76.- №12.- p. 1548-1565.
- [2] Кравченко В.И., Болотов Е.А., Летунова Н.И. Радиоэлектронные средства и мощные электромагнитные помехи / Под ред. В.И. Кравченко.- М.: Радио и связь, 1987.-256 с.
- [3] Межгосударственный ГОСТ 30585-98. Стойкость к воздействию грозовых разрядов. Технические требования и методы испытаний/ Рук. разработки – В.И. Кравченко.- Киев: Изд-во стандартов Украины, 1998.-27 с.
- [4] Борисов Р.К., Кравченко В.И., Колиушко Г.М., Князев В.В. Новые аспекты молниезащиты объектов // Технічна електродинаміка. Тематичний випуск.-2004.- С. 109-112.
- [5] Users Manual for AC No. 20-53A "Protection of Airplane Fuel System Against Fuel Vapor Ignition Due to Lightning", Report Number DOT/FAA/CT-83/3. This document is available to the public by order through the National Technical Information Service, USA, Springfield, Virginia 22161, 4 December 1985.-14 p.
- [6] SAE ARP 5416/ED-84. Нормативный документ "Технология, рекомендованная организацией SAE для аэрокосмической промышленности. Методы испытаний летательных аппаратов на молниестойкость", США, 1997.- 145 с.
- [7] Баранов М.И., Бочаров В.А., Игнатенко Н.Н., Колобовский А.К. Мощные генераторы импульсных напряжений и токов предельных параметров для тестирования силового электроэнергетического оборудования // Електротехніка і електромеханіка.-2003.- №2.- С. 75-80.
- [8] Баранов М.И., Бочаров В.А., Зябло Ю.П., Мельников П.Н. Комплекс электрофизического оборудования для генерирования микро- и миллисекундных импульсов напряжения до 1,2 МВ и тока до 200 кА // Технічна електродинаміка.-2003.- №5.- С. 55-59.
- [9] Баранов М.И., Бочаров В.А., Зябло Ю.П. Комплекс высоковольтного электрофизического оборудования для испытания средств молниезащиты технических объектов грозовыми и коммутационными импульсами напряжения микро- и миллисекундной длительности амплитудой до 1 МВ // Електротехніка і електромеханіка.- 2006.- №4.- С. 60-65.

Поступила 27.08.2007