

О.С. НЕДЗЕЛЬСКИЙ, зав.отделом, НТУ «ХПИ»;
А.В. ПЛИЧКО, млад.науч.сотр., НТУ «ХПИ»;
Е.Г. ПОНУЖДАЕВА, зав.сектором, НТУ «ХПИ»

ГЕНЕРАТОР ИМПУЛЬСОВ ТОКА КОСВЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ МОЛНИИ ФОРМЫ «МНОЖЕСТВЕННЫЙ УДАР» ГИТ-MS

Генератор імпульсів струму непрямої дії блискавки форми «Множинний удар» ГИТ-MS. Подані результати схемно-технічної та конструктивної розробки генератора імпульсів струму форми «Множинний удар» штучної блискавки з енергією, що накопичується, 300 кДж та вихідною напругою 80 кВ.

Pulse current generator of the indirect effects of «multiple stroke» current form GIT-MS. The results of the circuit-technical and rational design of the indirect effects of «multiple stroke» current form of artificial lightning with 300 kJ stored up energy and 80 kV output voltage are presented.

Введение. Надежность объектов аэрокосмической техники во многом зависит от стойкости радиотехнического и радиоэлектронного оборудования к воздействию поражающих факторов, вызванных прямым попаданием грозового разряда (молнии) в корпус летательного аппарата (ЛА). При этом рассматриваются как факторы прямого воздействия импульсного тока молнии (электротермический, электродинамический, акустический и др.), так и косвенного воздействия, обусловленного электромагнитными процессами при растекании импульсного тока по проводящим элементам обшивки ЛА.

Для определения электромагнитной стойкости (ЭМС) электронного и электротехнического оборудования ЛА международные нормативные документы [1-4] предполагают проведение комплекса испытаний с физическим моделированием реальных процессов, соответствующих электромагнитному воздействию импульса тока молнии. Одним из испытаний является воздействие на ЛА серии импульсов тока «Множественный удар» (Multiple Stroke). Эта форма воздействия на амплитудно-временной диаграмме представлена в виде серии из 14 последовательных импульсов тока аperiодической формы (рис. 1).

В соответствии со среднестатистическими параметрами импульсного тока молнии амплитуда первого импульса (импульс D) может достигать 100 кА, а последующих 13 импульсов (импульсы D/2) – 50 кА. Однако, при имитации воздействия указанной серии импульсов MS на ЛА рекомендуется использовать амплитуды импульсов (импульс D) от 1 до 20 кА [2].

Временные характеристики импульсов D и D/2 одинаковы и описываются выражениями:

$$i(t) = I_0(e^{-\alpha t} - e^{-\beta t}), \quad (1)$$

где $\alpha = 22708 \text{ (с}^{-1}\text{)}$; $\beta = 1294530 \text{ (с}^{-1}\text{)}$, что соответствует фронту импульса $t_{\phi} = 1,5 \text{ мкс.}$ и длительности импульса $t_{и} = 1,34 \text{ мкс.}$ [1]

Цель работы. Целью работы является схемно-конструктивная разработка

генератора импульсов тока формы MS (ГИТ-MS) для испытания крупногабаритных фрагментов, моделей и объектов аэрокосмической техники.

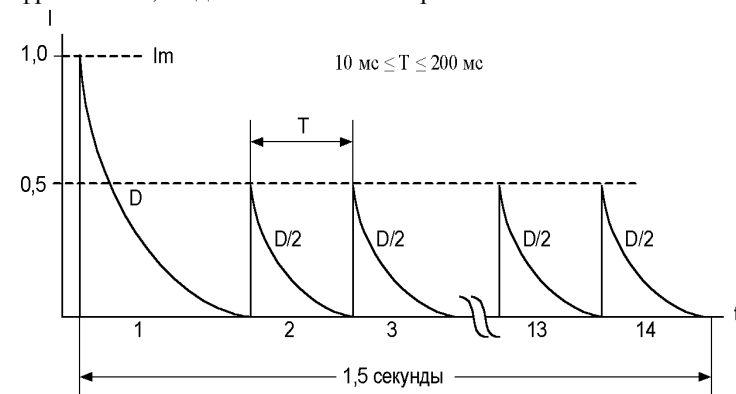


Рисунок 1 – Амплитудно-временная диаграмма импульсов тока формы «Множественный удар» (MS)

Постановка задачи. Основой разработки ГИТ-MS является выработка критериев электрофизических параметров модели испытываемого объекта (ИО). При этом учитываются методические указания нормативных документов [2], согласно которым имитируемая серия импульсов тока подается непосредственным контактом ГИТ-MS с проводящим корпусом ИО (например в носовую часть корпуса самолета, ракеты или их макетов, фрагментов). Для обеспечения растекания тока по проводящей оболочке ИО, соответствующей реальным условиям, необходима определенная геометрия токопроводов, обеспечивающих замкнутый контур ГИТ-MS, соответствующая реальным электромагнитным процессам внутри проводящей оболочки.

В общем случае электрическая цепь импульсного тока ГИТ-MS, включающая в себя проводящую оболочку ИО (прямой токопровод) и обратный токопровод, представима как активно-индуктивная цепь (R-L цепь), параметры которой (активное сопротивление R и индуктивность L) зависят от ряда факторов: геометрических размеров ИО, проводимости оболочки, взаимного расположения ИО и обратного токопровода, их конструкции, конфигурации и др. В свою очередь, взаимное расположение прямого и обратного токопроводов разрядной цепи ГИТ-MS определяет ряд параметров генератора, в частности максимальное напряжение импульсного разряда, при котором исключается пробой воздушного промежутка между прямым и обратным токопроводами.

Исходя из вышеизложенного, основой для постановки задачи разработки ГИТ-MS являются:

- геометрические и электрофизические параметры ИО;
- максимальные амплитуды I_m импульсов тока.

В результате анализа возможных вариантов электрофизической модели

ИО приняты следующие характеристики:

– модель ИО представляет собой цилиндрический объект, выполненный в виде трубы из проводящего материала (например, дюралюминий). Толщина оболочки $\delta = 2$ мм. По торцам цилиндрическая труба имеет «заглушки», выполненные из того же материала. Импульс тока ГИТ-MS подается в центр передней «заглушки» непосредственным контактом цепей разрядного контура и, растекаясь по оболочке ИО, уходит в обратный токопровод контура тока, подключаемый к задней «заглушке» цилиндрической модели ИО. Обратный токопровод представляет собой систему проводников, аксиально охватывающих цилиндр ИО, размещенных вдоль образующих поверхность цилиндра на равном расстоянии от нее (см. рис. 2). Количество проводников обратного токопровода (ОТ) принимается достаточно большим, чтобы в расчетной модели систему ИО-ОТ рассматривать как систему двух коаксиальных проводящих цилиндров с диаметрами D_1 (ИО) и D_2 (ОТ). Диаметр D_1 в расчетной модели ИО принят равным 4 м, что соответствует реальным габаритным размерам. Диаметр D_2 принят равным 6 м, что обеспечивает достаточную электрическую прочность воздушного промежутка ИО – ОТ. Для расширения функциональных возможностей ГИТ-MS длина модели l варьируется в пределах от 0,5 м до 50 м.

Расчетная часть. Принятые электрофизические параметры модели ИО позволяют при расчетах электрических параметров цепи ГИТ – MS – ИО представлять ИО как последовательную R-L цепь, образованную коаксиальной проводящей системой ИО – ОТ. Проведенные расчеты дали следующие результаты: погонная индуктивность системы ИО – ОТ составляет $L_{\text{пог}} \approx 0,08$ мкГн/м (без учета краевых эффектов). Погонное сопротивление $R_{\text{пог}} = 4,8$ мкОм/м. Таким образом, индуктивность цепи нагрузки ГИТ – MS в указанных пределах изменения длины модели ИО l от 0,5 м до 50 м будет принимать значение от 0,4 мкГн до 4 мкГн. Величина $R_{\text{пог}}$ достаточно мала и, как будет показано в последующих расчетах, не играет существенной роли в выборе активного сопротивления разрядных цепей ГИТ – MS.

В результате предварительной проработки возможных схемно-конструктивных решений ГИТ-MS была принята схема, в которой источниками 14-ти импульсов является 14 генераторов импульсов тока (ГИТ), каждый из которых включается на R-L нагрузку (модель ИО) в заданный момент времени и воспроизводит один из нормированных импульсов (D или D/2) тока (см. рис. 1). Аналогичное техническое решение описано в [5].

Разрядный контур каждого из 14 ГИТ выполнен по схеме R-L-C цепи с емкостным накопителем энергии (ЕНЭ), подключаемой к нагрузке (ИО) посредством управляемого искрового разрядника в заданный момент времени. Расчетная электрическая схема разрядных цепей ГИТ – MS представлена на рис. 2.

Как было указано выше, временные характеристики каждого из 14 им-

пульсов одинаковы ($t_{\text{ф}} = 1,5$ мкс, $t_{\text{и}} = 34,5$ мкс); при этом $t_{\text{и}}/t_{\text{ф}} \gg 10$, что позволяет с достаточной точностью использовать расчетные соотношения, следующие из анализа формулы (1):

$$t_{\text{ф}} = K_1 L/R; \quad t_{\text{и}} = K_2 RC; \quad I_m = K_3 U/R, \quad (2)$$

где K_1, K_2, K_3 – постоянные коэффициенты: $K_1 = 2,0; K_2 = 0,75; K_3 = 0,91$.

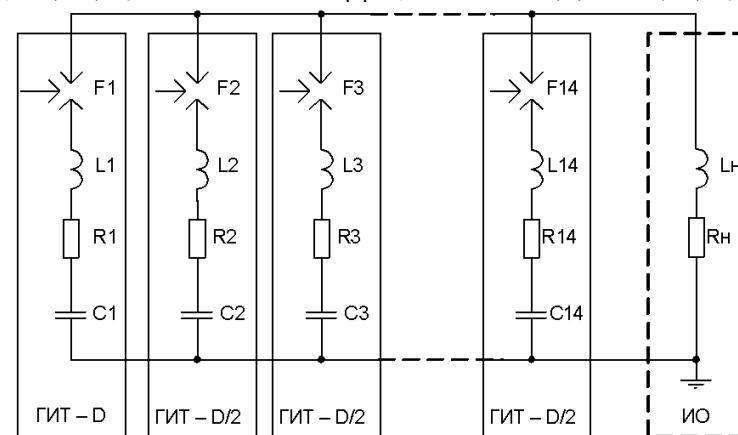


Рисунок 2 – Электрическая схема разрядных цепей ГИТ-MS.

C1 – C14, L1 – L14, R1 – R14 – соответственно емкость, индуктивность и активное сопротивление ГИТов; F1 – F14 – управляемые разрядники ГИТов; Lн, Rн – индуктивность и активное сопротивление нагрузки (эквивалентные параметры ИО)

В табл. 1 приведены расчетные значения параметров схемы ГИТ-D (рис. 2) для дискретного ряда геометрических параметров нагрузки (длина l ИО).

Таблица 1

Длина модели ИО, l , м	5,0	10,0	15,0	20,0	30,0	40,0	50,0
C1, мкФ	14,2	14,2	14,2	11,8	8,8	6,0	5,0
L1, мкГн	1,9	1,4	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
R1, Ом	3,2	3,2	3,2	3,9	5,2	6,5	7,9
Lн, мкГн	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0

Учитывая, что временные параметры импульсов D и D/2 одинаковы, значения C1, L1, R1 такие же как и значения соответствующих параметров ГИТ-D/2. При расчете использовались соотношения (2). Величина $L_1=0,9$ мкГн является минимальной расчетной величиной, определяемой конструкцией ГИТ-D (индуктивностью элементов, токопроводов и др.).

Амплитуда I_m ГИТ-D определяется напряжением заряда C1, что, в свою очередь, определяет выбор элементной базы ЕНЭ и его энергетику.

При выборе амплитуды тока ГИТ-D принято решение реализовать максимальную рекомендованную амплитуду [2] $I_m = 20$ кА. Предварительный ана-

лиз показал, что такое значение I_m может быть реализовано при зарядном напряжении ЕНЭ ГИТ-D $U_z = 80$ кВ. Соответственно, зарядные напряжения 13-ти ЕНЭ ГИТ-D/2 для получения импульса тока с амплитудой 10 кА должно быть 40 кВ (при этом R-L-C параметры ГИТ-D/2 соответствуют приведенным в табл. 2 для ГИТ-D). В табл. 2 представлены значения амплитуд токов ГИТ-D и ГИТ-D/2 для различных размеров l модели ИО.

Таблица 2

Длина модели ИО, l , м	5,0	10,0	15,0	20,0	30,0	40,0	50,0
I_m ГИТ-D, кА	22,7	22,7	22,7	18,9	14,0	11,1	9,2
I_m ГИТ-D/2, кА	11,4	11,4	11,4	9,4	7,0	10,5	4,6

Конструкция. Конструкция ГИТ – MS определяется принятым схемным решением (см. рис. 2) и выбором элементной базы, в частности – конденсаторов ЕНЭ. Как было отмечено выше, зарядное напряжение конденсаторов ЕНЭ ГИТ-D $U_z = 80$ кВ. Целесообразно использовать конденсаторы с номинальным напряжением 100 кВ, например, ИК1-100-0,4 УХЛ4 (производство России, г. Серпухов). При максимальной емкости ЕНЭ 14,2 мкФ (см. табл. 1) необходимо 36 шт. параллельно включенных по цепи разряда конденсаторов.

При зарядном напряжении ЕНЭ ГИТ-D/2 $U_z = 40$ кВ целесообразно использовать конденсаторы с номинальным напряжением 50 кВ, например конденсаторы ИК-50-3 УХЛ4. При максимальной емкости ЕНЭ 14,2 мкФ требуется по 5 конденсаторов на каждый из 13-ти ГИТ-D/2.

Промежуточные значения емкостей, указанные в табл. 1 для различных значений длины модели ИО, реализуются путем включения в работу части конденсаторов каждого ЕНЭ. При этом величины L и R контура ГИТ подбирается соответствующим образом для достижения требуемых временных характеристик импульса тока.

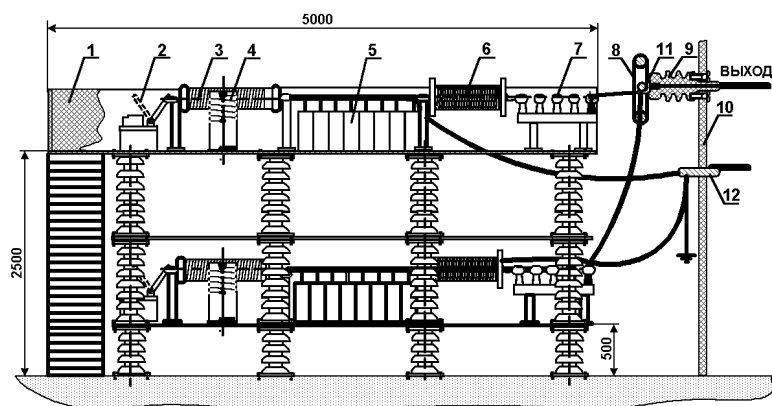


Рисунок 3 – Размещение оборудования ЕНЭ ГИТ-MS.

1 – ограждение, 2 – короткозамыкатель электромеханический, 3 – резистор разрядный, 4 – резистор зарядный, 5 – конденсаторы ЕНЭ, 6 – R-L элемент формирующий, 7 – разрядник многозворный, 8 – экран, 9 – изолятор проходной, 10 – стена здания, 11 – коллектор ввода тока К1, 12 – коллектор обратного токопровода К2

Элементы ГИТ – MS размещаются на двухъярусной изоляционной несущей конструкции; размеры яруса (в плане) 7000x5000 мм. На верхнем ярусе размещены элементы 6-ти ГИТ-D/2 и половина батареи конденсаторов ЕНЭ ГИТ-D. На нижнем ярусе размещены элементы 7-ми ГИТ-D/2 и вторая половина батареи конденсаторов ЕНЭ ГИТ-D. Размещение элементов ГИТ – MS (конденсаторов ЕНЭ, формирующих R-L элементов, зарядных и разрядных резисторов, разрядников, токопроводов) обеспечивает доступ обслуживающего персонала к любому элементу при производстве монтажа, ремонта и регламентных работ. На рис. 3 представлено размещение оборудования ГИТ – MS на двухъярусной несущей конструкции.

Испытываемый объект подключается к коллектору ввода тока К1; аксиальная система проводников обратного токопровода подключается к коллектору К2. На рис. 4 показан вариант подключения ИО к системе прямого и обратного токопроводов разрядного контура ГИТ – MS.

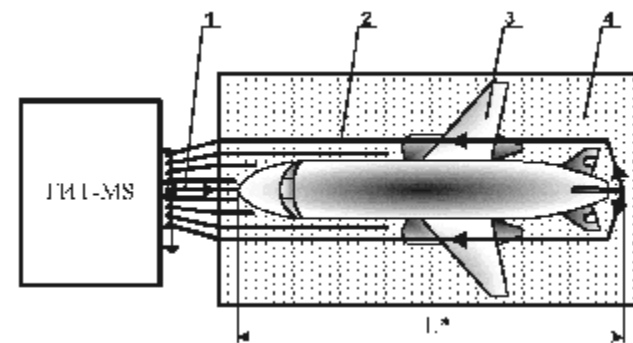


Рисунок 4 – Подключение испытываемого объекта к токопроводам ГИТ-MS.
1 – токопровод ввода тока, 2 – проводники обратного токопровода, 3 – испытываемый объект, 4 – испытательная площадка, L^* – длина испытываемого объекта

Требуемый режим работы ГИТ – MS обеспечивается системой управления (СУ), с помощью которой оператор задает величины зарядных напряжений ЕНЭ, последовательность срабатывания управляемых разрядников и временные интервалы между импульсами.

Выводы.

Разработано схемно-конструктивное решение генератора импульсов тока молнии формы «Множественный удар», предназначенного для нормативных испытаний крупногабаритных объектов (моделей, фрагментов) аэрокосмиче-

ской техники.

Проведены расчеты, подтверждающие соответствие амплитудно-временных параметров импульсов тока заданным техническим требованиям.

Представленные материалы будут использованы в разработках коммерческих проектов.

Список литературы: 1. SAE ARP 5412/ED – 84 Нормативный документ «Рекомендуемая практика авиационно-космических работ. Идеализированные составляющие внешнего тока». США, 1985 г. 2. SAE ARP 5416/ED – 84 Нормативный документ «Рекомендуемая практика авиационно-космических работ. Условия воздействия молнии на летательные аппараты и соответствующие формы испытательных сигналов». США, 1997 г. 3. MIL – STD – 464. Нормативный документ Министерства обороны. «Стандарт для поверхности. Влияние электромагнитной обстановки. Требования к системам». США, 1997 г. 4. КТ-160D Квалификационные требования «Условия эксплуатации и окружающей среды для бортового авиационного оборудования. Требования нормы и методы испытаний. Раздел 22.0 Восприимчивость к переходным процессам, вызванным молнией». 5. Патент РФ 2110885 Устройство для имитации токов молнии.

Поступила в редколлегию 10.11.2009.

УДК 629.735.05

И.И.ОБОД, докт.техн.наук, профессор, НТУ «ХПИ»;

Х.САЙЕД АХМАД, студент, НТУ «ХПИ»;

Р.БУТА НАНА, студент, НТУ «ХПИ»

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ СЕТЕЙ РАДИОДОСТУПА ПРИ ДЕЙСТВИИ ПОМЕХ

Наведено переваги мереж радіодоступу щодо передачі інформації та класифікація методів підвищення пропускної здатності мереж радіодоступу при дії завад. Приведено дослідження багатоканального (по частоті) методу підвищення пропускної здатності мереж радіодоступу. Результати розрахунку пропускної спроможності мережі з двома частотними каналами показали збільшення максимальної пропускної спроможності мережі більш ніж вдвоє.

Led dignities of radioaccess networks for passing to information and methods classification of radioaccess network bandwidth increase is pointed at the noise action. Research over of multichannel (on frequency) method of radioaccess network bandwidth increase is brought. The results of calculation of network bandwidth with two frequency channels showed multiplying the maximal network bandwidth more them twice.

Постановка проблемы и анализ литературы. В последние годы сети радиодоступа (СРД) становятся одним из основных направлений развития сетевой индустрии [1-3]. Бурное развитие сетей этого класса во всем мире, о котором многие говорят как о беспроводной революции в области сетей передачи информации, объясняется наличием целого ряда присущих им достоинств. К ним относятся:

- гибкость архитектуры сети, когда обеспечивается возможность динамического изменения топологии сети при подключении, передвижении и отключении мобильных пользователей без значительных потерь времени;
- высокая скорость передачи информации;
- быстрота проектирования и реализации, что критично при жестких требованиях к времени построения сети;
- высокая степень защиты от несанкционированного доступа;
- отказ от дорогостоящей прокладки или аренды оптоволоконного или медного кабеля.

В настоящее время СРД обеспечивают эффективное решение следующих задач:

- обеспечение мобильного беспроводного доступа к ресурсам Internet;
- организация беспроводной радиосвязи между рабочими станциями локальной сети (организация беспроводного доступа к ресурсам локальной сети);
- объединение удаленных локальных вычислительных сетей и рабочих станций в единую сеть передачи данных и реализация удаленного стационарного доступа локальных сетей пользователей к Internet;
- решение проблемы «последней мили»;
- соединение АТС между собой беспроводными каналами;
- создание территориальных сотовых радиомодемных сетей передачи данных.

Указанные достоинства беспроводных технологий в значительной мере определяются тем, что в основе СРД лежит технология широкополосного или шумоподобного сигнала (ШПС).

Цель работы. Оценка возможностей повышения пропускной способности сетей радиодоступа.

Основной раздел. Суммарная пропускная способность СРД зависит от количества используемых частотных присвоений, способа распределения частотно-территориального ресурса, возможностей повторного использования частотных каналов, условий распространения радиоволн, помеховой обстановки и других, уже перечисленных выше, факторов:

$$C_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{N_b} \sum_{j=1}^{N_c} C_{ij} (N_k, \mathbf{P}_{dost}, \mathbf{P}_{dypl}, K_{povt}), \quad (1)$$

где N_b – количество базовых станций в сети; N_c – количество секторов на одну базовую станцию; N_k – число каналов на одну базовую станцию (сектор); C_{ij} – пропускная способность на один сектор; \mathbf{P}_{dost} – вектор параметров протокола доступа к каналам; \mathbf{P}_{dypl} – вектор параметров дуплексного разделения ка-