

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ АКТИВНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ И ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ СИЛЬНОТОЧНОГО ПЛАЗМЕННОГО КАНАЛА В РАЗРЯДНОЙ ЦЕПИ ГЕНЕРАТОРА ИМПУЛЬСНОЙ КОМПОНЕНТЫ ТОКА ИСКУССТВЕННОЙ МОЛНИИ

Експериментальним шляхом отримано наближені чисельні значення погонного активного електричного опору і питомій електропровідності сильноточного плазменного каналу повітряного іскрового розряду в колі потужного ємнісного накопичувача енергії, який використовується при формуванні імпульсної А-компоненти струму штучної блискавки з нормованою амплітудою не менше 200 кА.

Экспериментальным путем получены приближенные численные значения погонного активного электрического сопротивления и удельной электропроводности сильноточного плазменного канала воздушного искрового разряда в цепи мощного емкостного накопителя энергии, используемого при формировании импульсной А-компоненты тока искусственной молнии с нормированной амплитудой не менее 200 кА.

ВВЕДЕНИЕ

В [1] авторами были представлены результаты экспериментальной оценки основных электрических параметров (активного сопротивления, удельной электропроводности и напряженности электрического поля) для сильноточного плазменного канала (СПК) воздушного искрового разряда в цепи мощного генератора импульсного тока (ГИТ), предназначенного для формирования на электрической нагрузке (испытываемом объекте) повторной импульсной *D*-компоненты тока искусственной молнии. В соответствии с действующими сейчас международными требованиями [2-4] данная *D*-компонента тока молнии (как правило, отрицательной полярности) характеризуется следующими основными нормированными амплитудно-временными параметрами (АВП): амплитудой тока $I_{mD} = 100$ кА с допуском ± 10 %; интегралом действия $J_D = 0,25 \cdot 10^6$ А²·с при допуске ± 20 %; временем амплитуды тока $t_{mD} \leq 25$ мкс; длительностью протекания $\tau_u \leq 500$ мкс. В практике испытаний технических объектов на стойкость к прямому (косвенному) воздействию имитированного сильноточного грозового разряда широко используется импульсная *A*-компонента тока искусственной молнии, нормированная амплитуда которой I_{mA} составляет 200 кА при допуске ± 10 % [2-4], что существенно превышает указанное выше значение I_{mD} . Из-за такого большого различия в значениях токовых амплитуд I_{mA} и I_{mD} следует ожидать и определенных отличий в основных электрических параметрах СПК воздушных искровых разрядов, возникающих в разрядных цепях соответствующих генераторов ГИТ-*A* и ГИТ-*D*, воспроизводящих в объектах испытаний *A*- и *D*-компоненты тока искусственной молнии. При реальной работе с генераторами ГИТ-*A* и ГИТ-*D*, технические характеристики которых и трех других генераторов, входящих в состав созданного в НИПКИ "Молния" НТУ "ХПИ" мощного генератора тока молнии (ГТМ), были ранее описаны в [5-8], обслуживающему персоналу для правильного выбора параметров их сильноточных разрядных цепей и выполнения испытаний технических объектов на молниестойкость требуется знать электрические параметры СПК воздушных искровых разрядов, имитируемых над испытываемыми объектами и напря-

мую входящих в разрядные цепи указанных высоковольтных ГИТ. Это касается, прежде всего, активного сопротивления R_k и удельной электропроводности σ_k СПК воздушных искровых разрядов, длины которых в указанных ГИТ искусственной молнии могут составлять от 1 до 100 мм. Такие длины воздушных искровых промежутков в разрядных цепях этих ГИТ с малыми значениями их активных сопротивлений могут оказывать заметное влияние на АВП генерируемых ими импульсных токов молнии. Поэтому приведенные в [1] численные данные для R_k и σ_k характерные для *D*-компоненты тока искусственной молнии в разрядной цепи генератора ГИТ-*D*, нуждаются в экспериментальном уточнении применительно к импульсной *A*-компоненте имитированного тока молнии в разрядной цепи генератора ГИТ-*A*.

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ В СИЛЬНОТОЧНОЙ РАЗРЯДНОЙ ЦЕПИ ГИТ-А АКТИВНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ СПК ВОЗДУШНОГО ИСКРОВОГО РАЗРЯДА

Рассмотрим приведенную на рис. 1 двухэлектродную систему (ДЭС) рабочего стола ГТМ и принципиальную электрическую схему ГИТ-*A* (рис. 2), предназначенного для формирования на электрической нагрузке (испытываемом объекте) импульсной *A*-компоненты тока искусственной молнии. В соответствии с международными требованиями [2-4] данная компонента тока молнии (также обычно отрицательной полярности) характеризуется следующими основными нормированными АВП: амплитудой тока $I_{mA} = 200$ кА с допуском ± 10 %; интегралом действия $J_A = 2 \cdot 10^6$ А²·с при допуске ± 20 %; временем амплитуды тока $t_{mA} \leq 50$ мкс; длительностью протекания $\tau_u \leq 500$ мкс. Принимаем, что в проводимых экспериментах длина d_B воздушного промежутка между верхним 1 и нижним 2 металлическими электродами ДЭС рабочего стола ГТМ, в котором формируется СПК искрового разряда, может варьироваться в пределах от 0,5 до 24,5 мм. Считаем, что указанная выше ДЭС выполняет роль эквивалента электрической нагрузки (с активными сопротивлениями R_{Σ} и R_D , индуктивностями L_{Σ} и L_D) для разрядной цепи ГИТ-*A*.

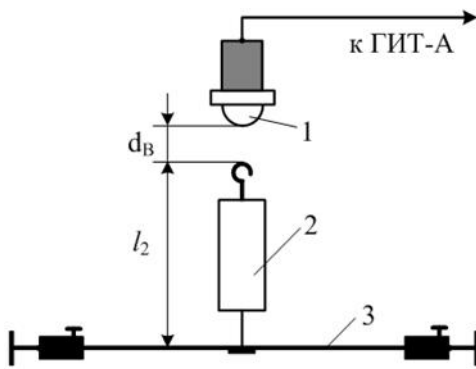


Рис. 1. Схематическое изображение ДЭС эквивалента электрической нагрузки генератора ГИТ-А для получения импульсной A -компоненты тока искусственной молнии (1 – верхний стальной электрод; 2 – нижний медный электрод; 3 – алюминиевая пластина рабочего стола ГТМ)

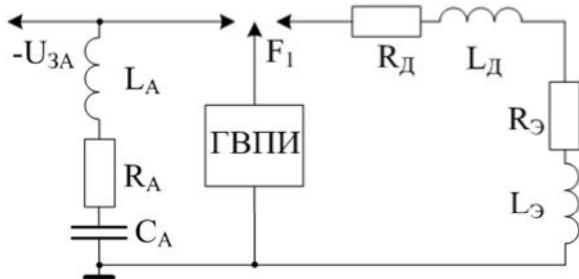


Рис. 2. Принципиальная электрическая схема разрядной цепи мощного генератора ГИТ-А для формирования на эквиваленте электрической нагрузки импульсной A -компоненты тока искусственной молнии

Принимаем, что отрицательное зарядное напряжение U_{3A} для генератора ГИТ-А не превышает -27 кВ. Согласно данным схемы на рис. 2 основные собственные электрические параметры разрядной цепи генератора ГИТ-А реально имеют следующие значения: [1, 5-8]: $C_A = 333$ мкФ; $L_A = 2,5$ мкГн; $R_A = 0,057$ Ом; $L_Э = 0,3$ мкГн; $R_Э = 0,03$ Ом. С учетом того, что длина l_2 нижнего 2 медного электрода ДЭС составляет $0,36$ м, то его индуктивность L_D будет примерно равной $0,36$ мкГн. Выполненная расчетная оценка активного сопротивления R_{D2} нижнего 2 медного электрода ДЭС, изготовленного на основе радиочастотного кабеля марки РК 75-44-15 без медной оплетки (с диаметром круглой жилы, равным $6,6$ мм), показывает, что оно не превышает значения $2 \cdot 10^{-4}$ Ом. Это дает основание для его неучета в разрядной цепи генератора ГИТ-А при анализе влияния активного сопротивления R_k исследуемого СПК на АВП рассматриваемой нами A -компоненты тока искусственной молнии. Отметим, что алюминиевая пластина 3 в воздушной ДЭС рабочего стола ГТМ выполнена из листа (алюминиевый сплав марки АМц) толщиной 2 мм с размерами в плане $0,5 \times 0,5$ м². В соответствии с электрической схемой рис. 2 полагаем, что активное сопротивление $R_D = R_k$ обусловлено высокоионизированным СПК, возникающим в воздушном промежутке описанной выше ДЭС длиной d_B и имеющим цилиндрическую конфигурацию. Принимаем, что данный СПК в воздушном промежутке ДЭС длиной $d_B = 24,5$ мм над нижним медным электродом 2 инициируется при помощи закрепленного на верхнем

стальном электроде 1 ДЭС электрически взрывающегося тонкого прямолинейного медного провода без изоляции диаметром $0,2$ мм и длиной 50 мм. Полагаем, что при длине $d_B = 0,5$ мм происходит самопробой воздушного промежутка ДЭС в разрядной цепи генератора ГИТ-А.

Требуется по результатам расшифровки осциллограмм импульсной A -компоненты тока искусственной молнии, получаемых в разрядной цепи мощного генератора ГИТ-А с СПК атмосферного воздушного искрового разряда соответственно длиной $0,5$ мм и $24,5$ мм, определить активное электрическое сопротивление R_k , электропроводность σ_k и напряженность E_k продольного электрического поля для данного сильноточного плазменного канала с амплитудой импульсного тока I_{mA} в нем не менее 200 кА.

2. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЛИЯНИЯ СПК ВОЗДУШНОГО ИСКРОВОГО РАЗРЯДА НА АВП ИМПУЛЬСНОЙ A -КОМПОНЕНТЫ ТОКА ИСКУССТВЕННОЙ МОЛНИИ

Согласно рис. 2 при подаче от генератора высоковольтных поджигающих импульсов (ГВПИ) на управляющий электрод трехэлектродного воздушного разрядника F_1 каскадного типа импульса микросекундной длительности положительной полярности амплитудой 100 кВ [5, 7] предварительно заряженный до отрицательного напряжения $U_{3A} = -27$ кВ емкостный накопитель энергии генератора ГИТ-А разряжается на описанный выше эквивалент нагрузки и формирует на нем требуемую в соответствии с [2-4] импульсную A -компоненту тока молнии. На рис. 3 приведена осциллограмма такого импульсного тока, полученная с помощью метрологически поверенного измерительного коаксиального шунта ШК-300 [5, 6] и цифрового запоминающего осциллографа типа Tektronix TDS 1012 практически при $R_D = R_k = 0$ (масштаб по вертикали – 5 В/кл; масштаб по горизонтали – 50 мкс/кл). Из приведенной на рис. 3 осциллограммы импульсной A -компоненты тока молнии видно, что при коэффициенте преобразования метрологически поверенного коаксиального шунта ШК-300, численно равном для рассматриваемой составляющей грозового тока $K_A = 11261$ А/В [5, 6], ее первая наибольшая амплитуда I_{mA} будет примерно равной $19,4В \times 11261 А/В = 218,5$ кА. Данной амплитуде импульсного тока I_{mA} соответствует время, равное $t_{mA} = 36$ мкс. Переход через ось абсцисс первой отрицательной полуволны A -компоненты тока молнии происходит при времени $t_{A1} = 100$ мкс, ее второй положительной полуволны – при времени $t_{A2} = 204$ мкс, а ее третьей отрицательной полуволны – при времени $t_{A3} = 308$ мкс. Согласно данным рис. 3 амплитуда второй положительной полуволны рассматриваемого тока не превышает $69,2$ кА, а амплитуда третьей отрицательной полуволны – $12,9$ кА. Импульсная A -компонента тока искусственной молнии, генерируемая ГИТ-А на принятом эквиваленте электрической нагрузки, даже при длине воздушного промежутка $d_B = 0,5$ мм характеризуется сильным затуханием (логарифмический декремент его колебаний Δ_A составляет около $2,825$).

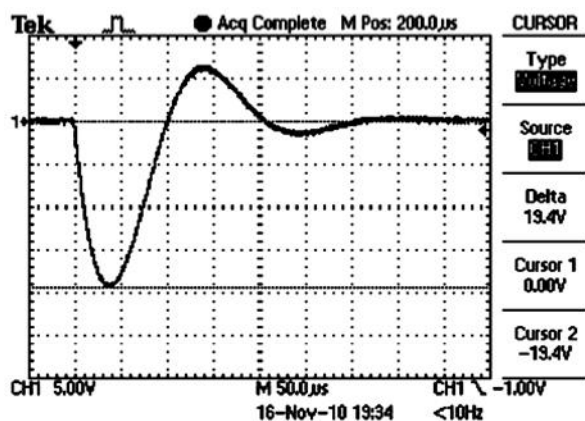


Рис. 3. Осциллограмма A -компоненты тока искусственной молнии при разряде мощного генератора ГИТ-А на эквивалент нагрузки с воздушным зазором 0,5 мм ($U_{3A} = -27$ кВ)

При периоде колебаний T_A импульсного тока, равном 204 мкс, коэффициент затухания δ_A в разрядной цепи генератора ГИТ-А будет равным $\delta_A = \Delta_A/T_A = 13,85 \cdot 10^3 \text{ с}^{-1}$. С помощью формулы Томсона находим, что при $T_A = 204$ мкс полная индуктивность разрядного контура ГИТ-А составит 3,16 мкГн. Полное активное сопротивление $(R_A + R_3) = 2 \cdot (L_A + L_3 + L_D) \cdot \delta_A$ разрядной цепи генератора ГИТ-А, найденное по осциллограмме на рис. 3, оказывается в результате равным 0,087 Ом. Это значение для $(R_A + R_3)$ полностью соответствует принятым исходным электрическим параметрам для сильноточной цепи разряда ГИТ-А.

На рис. 4 представлена осциллограмма исследуемой A -компоненты тока искусственной молнии, полученной в рассматриваемой согласно рис. 2 разрядной схеме ГИТ-А при $d_B = 24,5$ мм и $U_{3A} = -27$ кВ. Наибольшая амплитуда первой отрицательной полуволны импульсной A -составляющей имитированного в полевых лабораторных условиях тока молнии при $U_{3A} = -27$ кВ оказывается здесь примерно равной $19,0 \text{ В} \times 11261 \text{ А/В} = 213,9$ кА. Этой амплитуде импульсного тока I_{mA} соответствует время, равное $t_{mA} = 38$ мкс. Амплитуда второй положительной полуволны данной компоненты тока молнии принимает значение 67,6 кА, а амплитуда его третьей отрицательной полуволны – 11,9 кА. Период колебаний T_A импульсного тока согласно рис. 4 оказывается равным 206 мкс. Поэтому в этом случае логарифмический декремент колебаний Δ_A составит около 2,889. Тогда при $T_A = 206$ мкс коэффициент затухания в разрядной цепи генератора ГИТ-А будет равным $\delta_A = \Delta_A/T_A = 14,02 \cdot 10^3 \text{ с}^{-1}$. Для полной индуктивности рассматриваемого разрядного контура генератора ГИТ-А с воздушным искровым промежутком длиной $d_B = 24,5$ мм находим, что при $T_A = 206$ мкс и $C_A = 333$ мкФ ее значение составит 3,22 мкГн. Тогда в соответствии с осциллограммой рис. 4 полное активное сопротивление исследуемой разрядной цепи генератора ГИТ-А будет примерно равным 0,091 Ом.

Сравнение токовых осциллограмм, приведенных на рис. 3 и 4, показывает, что из-за использования вместо массивной стальной цилиндрической вставки диаметром 20 мм и длиной 24 мм в сильноточной цепи разряда генератора ГИТ-А эквивалента нагрузки с

суммарной длиной воздушного искрового промежутка $d_B = 24,5$ мм других заметных изменений для АВП данного тока молнии не наблюдается. Поэтому можно говорить о том, что введение в разрядную цепь генератора ГИТ-А искрового воздушного промежутка с цилиндрическим СПК длиной $d_B = 24$ мм вызывает уменьшение амплитуды I_{mA} первой полуволны импульсной A -компоненты тока искусственной молнии примерно на 4,5 кА, то есть практически на 2 %.

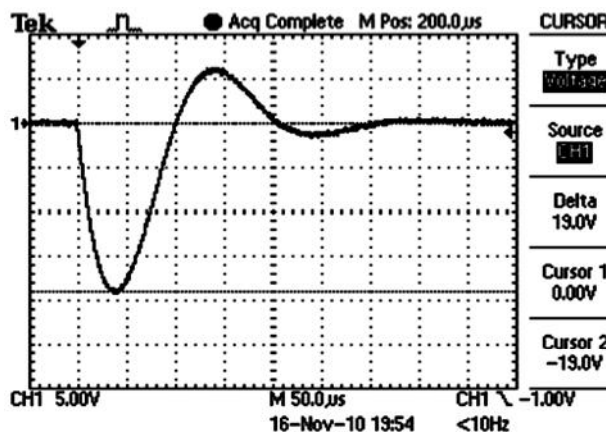


Рис. 4. Осциллограмма A -компоненты тока искусственной молнии при разряде мощного генератора ГИТ-А на эквивалент нагрузки с воздушным зазором 24,5 мм ($U_{3A} = -27$ кВ)

Данному уменьшению значения первой амплитуды I_{mA} исследуемой A -компоненты тока молнии соответствует введение в разрядную цепь генератора ГИТ-А сосредоточенного активного сопротивления R_D , численно равного $R_k = 0,004$ Ом. Тогда при $d_B = 24$ мм для погонного активного сопротивления R_{k0} СПК воздушного искрового разряда в сильноточной разрядной цепи генератора ГИТ-А, формирующей импульсную A -компоненту тока искусственной молнии с нормированной первой амплитудой $I_{mA} = 213,9$ кА, получаем меньшее в 5,5 раз чем в [1] для плазмы СПК в цепи ГИТ-Д численное значение:

$$R_{k0} = R_k / d_B = 0,167 \cdot 10^{-3} \text{ Ом/мм} = 0,167 \text{ Ом/м}. \quad (1)$$

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ПЛАЗМЫ В СПК ВОЗДУШНОГО ИСКРОВОГО РАЗРЯДА ДЛЯ ИМПУЛЬСНОЙ A -КОМПОНЕНТЫ ТОКА ИСКУССТВЕННОЙ МОЛНИИ

Величину усредненной удельной электропроводности σ_k высокоионизированной низкотемпературной плазмы СПК воздушного искрового разряда в сильноточной цепи генератора ГИТ-А при формировании импульсной A -компоненты тока искусственной молнии (с максимальной электронной температурой в канале этого сильноточного разряда около $12 \cdot 10^3$ К [9]) с учетом изложенного выше подхода по определению активного сопротивления R_k данного СПК находим из классического соотношения вида [1]:

$$\sigma_k = d_B / (\pi \cdot r_{0m}^2 \cdot R_k), \quad (2)$$

где r_{0m} – максимальный радиус СПК воздушного искрового разряда в цепи генератора ГИТ-А.

Величину радиуса r_{0m} , входящую в формулу (2), определяем по известной формуле Брагинского,

имеющей на земной поверхности (вблизи уровня моря) в системе СИ следующий вид [1, 10]:

$$r_{0m} = 0,093 \cdot I_{mA}^{1/3} \cdot t_{mA}^{1/2}, \quad (3)$$

где t_{mA} – время, соответствующее амплитуде I_{mA} первой полуволны импульсной A -компоненты тока искусственной молнии.

Из выражения (3) для нашего случая ($d_B = 24,5$ мм и $U_{3A} = -27$ кВ) при амплитуде $I_{mA} = 213,9 \cdot 10^3$ А и времени $t_{mA} = 38 \cdot 10^{-6}$ с находим, что максимальный радиус r_{0m} высокоионизированного низкотемпературного СПК искрового разряда в атмосферном воздухе для цепи мощного генератора ГИТ-А принимает значение 34,28 мм. В результате из (2) вытекает, что в рассматриваемом случае при $d_B = 24 \cdot 10^{-3}$ м, $R_k = 0,004$ Ом и $r_{0m} = 34,28 \cdot 10^{-3}$ м для усредненной удельной электропроводности σ_k исследуемого в атмосферном воздухе СПК искрового разряда, имитирующего на эквиваленте электрической нагрузки ГТМ с ДЭС импульсную A -компоненту тока искусственной молнии, на основании примененного авторами расчетно-экспериментального подхода получаем количественное значение, приближенно равное 1625 (Ом·м)⁻¹. Это значение удельной электропроводности σ_k плазмы СПК импульсной A -компоненты тока искусственной молнии с нормированными АВП оказывается всего лишь в 1,2 раза большим, чем значение σ_k , характерное для плазмы СПК повторной импульсной D -компоненты тока молнии и найденное опытным путем в [1]. Кроме того, полученное здесь численное значение для усредненной удельной электропроводности σ_k плазмы сильноточного канала воздушного искрового разряда в цепи генератора ГИТ-А оказывается примерно в 31 раз меньшим соответствующего значения для σ_k , характерного для низкотемпературной плазмы при иницировании подводного искрового разряда электрическим взрывом (ЭВ) металлического провода [11]. Связано это с тем, что согласно данным табл. 2 из [11] при подводном ЭВ тонкого металлического провода максимальный радиус канала искрового разряда составляет лишь около 2,14 мм (при амплитуде разрядного тока в цепи ГИТ в 88 кА и амплитуде импульсного давления внутри канала подводного разряда не менее 365 МПа), а активное электрическое сопротивление плазменного канала длиной 40 мм принимает значение, равное примерно $R_k = 0,057$ Ом. Подстановка этих экспериментальных количественных данных из [11] в используемое нами расчетное соотношение (2) при длине канала подводного разряда в 40 мм и обуславливает усредненную электропроводность σ_k его весьма плотной высокоионизированной плазмы, приближенно равную 48778 (Ом·м)⁻¹. Это оценочное по (2) усредненное значение для удельной электропроводности σ_k плазмы СПК искрового разряда при подводном ЭВ тонкого металлического провода хорошо согласуется с соответствующими экспериментальными данными, приведенными в табл. 2 из [11] для сильноточных разрядных искровых каналов в конденсированных средах. Эти данные могут свидетельствовать о правомерности использования соотношения (2) при оценке искомых значений удельной электропроводности σ_k

плазмы в канале сильноточного воздушного искрового разряда.

На основании полученных в данной работе расчетно-экспериментальных результатов для СПК воздушного искрового разряда в сильноточной цепи мощного генератора ГИТ-А с нормированными АВП импульсной A -компоненты тока имитированной молнии видно, что при определении его активного сопротивления R_k и удельной электропроводности σ_k применять количественные данные, характерные для металлической плазмы СПК в разрядной цепи генератора ГИТ-Д при получении повторной импульсной D -компоненты тока искусственной молнии [1], нельзя.

4. ОЦЕНКА ПРОДОЛЬНОЙ НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ В СПК ВОЗДУШНОГО ИСКРОВОГО РАЗРЯДА ДЛЯ ИМПУЛЬСНОЙ A -КОМПОНЕНТЫ ТОКА ИСКУССТВЕННОЙ МОЛНИИ

Приведенные выше результаты для активного сопротивления R_k и электропроводности σ_k СПК воздушного искрового разряда позволяют осуществлять приближенную расчетную оценку максимальной напряженности E_{mk} продольного электрического поля в СПК воздушного искрового разряда атмосферного давления для разрядной цепи генератора ГИТ-А при получении импульсной A -компоненты тока искусственной молнии по следующим выражениям:

$$E_{mk} = I_{mA} / (\pi r_{0m}^2 \sigma_k) = I_{mA} \cdot R_k / d_B. \quad (4)$$

После подстановки в (4) полученных расчетно-экспериментальным путем значений I_{mA} и R_k или I_{mA} , r_{0m} и σ_k для искомой величины напряженности E_{mk} в высокоионизированной плазме сильноточного воздушного искрового разряда при $d_B = 24 \cdot 10^{-3}$ м и $I_{mA} = 213,9$ кА находим, что она имеет численное значение, равное примерно 35,7 кВ/м = 35,7 В/мм. Это значение для E_{mk} оказывается примерно в 2,3 раза меньше уровня напряженности продольного электрического поля, характерного для плазмы СПК воздушного искрового разряда в цепи генератора ГИТ-Д [1]. В этой связи на искровом воздушном промежутке ДЭС длиной $d_B = 24,5$ мм рабочего стола генератора ГИТ-А падает импульсное электрическое напряжение отрицательной полярности с амплитудой, равной около 0,87 кВ. Данное напряжение составляет примерно 3 % от зарядного отрицательного электрического напряжения $U_{3A} = -27$ кВ мощного генератора ГИТ-А, используемого в составе ГТМ при получении импульсной A -компоненты тока искусственной молнии с нормированными согласно требованиям [2-4] АВП.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основании проведенных в полевых лабораторных условиях экспериментов на уникальном ГТМ отечественной разработки определены значения активного сопротивления R_k , усредненной удельной электропроводности σ_k и максимальной напряженности E_{mk} продольного электрического поля для СПК воздушного искрового разряда с высокоионизированной низкотемпературной металлической плазмой в сильноточной разрядной цепи мощного генератора с

емкостным накопителем электрической энергии, предназначенного для формирования на активно-индуктивной электрической нагрузке нормированной в соответствии с действующими международными требованиями согласно [2-4] импульсной А- компоненты тока искусственной молнии.

2. Полученные опытные результаты могут быть использованы инженерно-техническим персоналом в качестве руководящего технического материала при выполнении натуральных испытаний различных технических объектов на стойкость к прямому (косвенному) воздействию больших импульсных токов молнии, имитируемых в лабораторных условиях на открытом воздухе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баранов М.И., Колиушко Г.М., Лысенко В.О. и др. Экспериментальная оценка электрического сопротивления и электропроводности силовоточного плазменного канала в цепи разряда мощного генератора тока искусственной молнии // *Электротехника и электромеханика*. – 2011. – № 1. – С. 61-64.
2. SAE ARP 5412/ED-84. Нормативный документ "Рекомендуемая практика авиационно-космических работ. Идеализированные составляющие внешнего тока" (США), 1985. – С. 30-39.
3. 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. – 145 с.
4. КТР-ВВФ/DO-160D/ED-14D. Квалификационные требования "Условия эксплуатации и окружающей среды для бортового авиационного оборудования. Требования, нормы и методы испытаний". Раздел 23.0. "Прямое воздействие молнии". – М.: Изд-во госстандартов Российской Федерации, 2004. – С. 258-273.
5. Баранов М.И., Колиушко Г.М., Кравченко В.И. и др. Генератор тока искусственной молнии для натуральных испытаний технических объектов // *Приборы и техника эксперимента*. – 2008. – № 3. – С. 81-85.
6. Баранов М.И., Колиушко Г.М., Кравченко В.И. и др. Высоковольтные силовоточные воздушные разрядники генератора тока искусственной молнии // *Приборы и техника эксперимента*. – 2008. – № 6. – С. 58-62.
7. Баранов М.И., Колиушко Г.М., Кравченко В.И. и др. Мощная высоковольтная электрофизическая установка для имитации полного тока молнии и ее применение в области молниезащиты технических объектов // *Электротехника и электромеханика*. – 2008. – № 3. – С. 69-75.
8. Баранов М.И., Колиушко Г.М., Кравченко В.И. и др. Мощный импульсный генератор тока молнии: разработка и примеры применения / *Физика импульсных разрядов в конденсированных средах: Материалы Международной научной конференции (17-21 августа 2009 г.)*. – Николаев: КП "Миколаївська обласна друкарня", 2009. – С. 113-115.
9. Баранов М.И. Приближенный расчет максимальной температуры плазмы в силовоточном канале искрового разряда // *Технічна електродинаміка*. – 2010. – № 5. – С. 7-11.
10. Баранов М.И. Избранные вопросы электрофизики: Монография в 2-х томах. Том 2, Кн. 2: Теория электрофизических эффектов и задач. – Харьков: Изд-во "Точка", 2010. – 407 с.
11. Гулий Г.А. Научные основы разрядно-импульсных технологий. – Киев: Наукова думка, 1990. – 208 с.

Bibliography (transliterated): 1. Baranov M.I., Koliushko G.M., Lysenko V.O. i dr. `Eksperimental'naya ocenka `elektricheskogo soprotivleniya i `elektroprovodnosti sil'notochnogo plazmennogo kanala v cepi razryada moschnogo generatora toka iskusstvennoj molnii // *Elektrotehnika i elektromehaniка*. – 2011. – № 1. – С. 61-64. 2. SAE ARP 5412/ED-84. Normativnyj dokument "Rekomenduemaya praktika aviacionno-kosmicheskikh работ. Idealizirovannye sostavlyayuschie vneshnego toka" (SShA), 1985. – С. 30-39. 3. SAE ARP 5416/ED-84. Normativnyj dokument "Rekomenduemaya praktika aviacionno-kosmicheskikh работ. Usloviya vozdejstviya molnii na letatel'nye apparaty i sootvetstvuyuschie formy ispytatel'nyh signalov" (SShA), 1997. – 145 s. 4. KTR-VVF/DO-160D/ED-14D. Kvalifikacionnye trebovaniya "Usloviya `ekspluatacii i okruzhayushej sredy dlya bortovogo aviacionnogo oborudovaniya. Trebovaniya, normy i metody ispytaniy". Razdel 23.0. "Pryamoe vozdejstvie molnii". – M.: Izd-vo gosstandartov Rossijskoj Federacii, 2004. – С. 258-273. 5. Baranov M.I., Koliushko G.M., Kravchenko V.I. i dr. Generator toka iskusstvennoj molnii dlya natural'nyh ispytaniy tehniceskikh ob'ektov // *Pribory i tehnika `eksperimenta*. – 2008. – № 3. – С. 81-85. 6. Baranov M.I., Koliushko G.M., Kravchenko V.I. i dr. Vysokovolt'nye sil'notochnye vozdushnye razryadniki generatora toka iskusstvennoj molnii // *Pribory i tehnika `eksperimenta*. – 2008. – № 6. – С. 58-62. 7. Baranov M.I., Koliushko G.M., Kravchenko V.I. i dr. Moschnaya vysokovolt'naya `elektrofizicheskaya ustanovka dlya imitacii polnogo toka molnii i ee primenenie v oblasti molniezaschity tehniceskikh ob'ektov // *Elektrotehnika i elektromehaniка*. – 2008. – № 3. – С. 69-75. 8. Baranov M.I., Koliushko G.M., Kravchenko V.I. i dr. Moschnyj impul'snyj generator toka molnii: razrabotka i primery primeneniya / *Fizika impul'snyh razryadov v kondensirovannyh sredah: Materialy Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii (17-21 avgusta 2009 g.)*. – Nikolaev: KP "Mikolaiv's'ka oblastna drukarnya", 2009. – С. 113-115. 9. Baranov M.I. Priblizhennyj raschet maksimal'noj temperatury plazmy v sil'notochnom kanale iskrovogo razryada // *Tehnichna elektrodinamika*. – 2010. – № 5. – С. 7-11. 10. Baranov M.I. Izbrannye voprosy `elektrofiziki: Monografiya v 2-h tomah. Tom 2, Kn. 2: Teoriya `elektrofizicheskikh `effektov i zadach. – Har'kov: Izd-vo "Tochka", 2010. – 407 s. 11. Gulyj G.A. Nauchnye osnovy razryadno-impul'snyh tehnologij. – Kiev: Naukova dumka, 1990. – 208 s.

Поступила 23.12.2010

*Баранов Михаил Иванович, д.т.н., с.н.с.,
Колушко Георгий Михайлович, к.т.н., с.н.с.,
Лысенко Виталия Олеговна
НИПКИ "Молния"
Национального технического университета
"Харьковский политехнический институт"
61013, Харьков, ул. Шевченко, 47
тел. (057) 707-68-41, e-mail: eft@kpi.kharkov.ua*

Baranov M.I., Koliushko G.M., Lysenko V.O.

Experimental determination of active resistance and conductivity of a heavy-current plasma channel in the discharge loop of a powerful generator of artificial lightning current pulse component.

Approximate numerical values are experimentally obtained for linear ohmic resistance and specific conductivity of a heavy-current plasma channel of an air spark discharge in the loop of a powerful capacitive storage applied for artificial lightning current pulse A-component formation with the rated magnitude not less than 200 kA.

Key words – air spark discharge, heavy-current plasma channel, electric resistance, conductivity, artificial lightning current.