

М.И. Баранов, Г.М. Колишко, В.И. Кравченко, С.В. Рудаков

МОЩНЫЙ ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ ГЕНЕРАТОР АПЕРИОДИЧЕСКИХ ИМПУЛЬСОВ ТОКА ИСКУССТВЕННОЙ МОЛНИИ С НОРМИРОВАННЫМИ ПО МЕЖДУНАРОДНОМУ СТАНДАРТУ IEC 62305-1-2010 АМПЛИТУДНО-ВРЕМЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

Представлений і описаний створений відповідно до вимог міжнародного стандарту IEC 62305-1-2010 потужний високовольтний генератор, що формує на низькоомному активно-індуктивному навантаженні аперіодичні імпульси струму штучної блискавки нормованої тимчасової форми 10 мкс/350 мкс і амплітуди $\pm(100-200)$ кА із заданими вищезгаданим стандартом допусками. Приведені результати практичної апробації у лабораторних умовах даного генератора при використуваному електричному навантаженні з активним опором 0,1 Ом і індуктивністю 1,5 мкГн. Бібл. 14, рис. 8.

Ключові слова: генератор аперіодичних імпульсів струму штучної блискавки, потужне джерело енергії, низькоомне електричне навантаження.

Представлен и описан созданный в соответствии с требованиями международного стандарта IEC 62305-1-2010 мощный высоковольтный генератор, формирующий на низкоомной активно-индуктивной нагрузке аперіодические импульсы тока искусственной молнии нормированной временной формы 10 мкс/350 мкс и амплитуды $\pm(100-200)$ кА с заданными вышеуказанным стандартом допусками. Приведены результаты практической апробации в лабораторных условиях данного генератора при используемой электрической нагрузке с активным сопротивлением 0,1 Ом и индуктивностью 1,5 мкГн. Библ. 14, рис. 8.

Ключевые слова: генератор аперіодических импульсов тока искусственной молнии, мощный источник энергии, низкоомная электрическая нагрузка.

Введение. При испытаниях на молниестойкость и пожаровзрывобезопасность зданий (сооружений) с находящимися внутри них различными инженерными сетями и системами к воздействию короткого удара грозового разряда в соответствии с требованиями ряда действующих международных и национальных стандартов [1-5] используются аперіодические импульсы тока искусственной молнии с нормированными амплитудно-временными параметрами (АВП). Согласно [1-5] временная форма таких испытательных импульсов тока должна соответствовать $\tau_f/\tau_p=10$ мкс/350 мкс, где τ_f , τ_p – соответственно длительность фронта (с допуском $\pm 20\%$) и длительность импульса (с допуском $\pm 10\%$) тока, а их амплитуда принимать численные значения $I_m=\pm(100-200)$ кА (с допуском $\pm 10\%$). При этом регламентирующие документы [1-5] устанавливают четыре уровня защиты от линейной молнии и соответственно четыре степени жесткости испытаний технических объектов на молниестойкость и пожаровзрывобезопасность. Кроме того, для каждого уровня защиты от молнии указанные стандарты определяют следующие АВП испытательного импульса тока [1-5]: *I уровень* – $I_m=\pm 200$ кА (с допуском $\pm 10\%$); удельная энергия (интеграл действия тока молнии) $J_a=10 \cdot 10^6$ А²·с (с допуском $\pm 35\%$); протекший заряд $q_I=\pm 100$ Кл (с допуском $\pm 20\%$); *II уровень* – $I_m=\pm 150$ кА (с допуском $\pm 10\%$); удельная энергия (интеграл действия тока молнии) $J_a=5,6 \cdot 10^6$ А²·с (с допуском $\pm 35\%$); протекший заряд $q_I=\pm 75$ Кл (с допуском $\pm 20\%$); *III-IV уровни* – $I_m=\pm 100$ кА (с допуском $\pm 10\%$); удельная энергия (интеграл действия тока молнии) $J_a=2,5 \cdot 10^6$ А²·с (с допуском $\pm 35\%$); протекший заряд $q_I=\pm 50$ Кл (с допуском $\pm 20\%$). Отметим, что интеграл действия импульса тока молнии $i_L(t)$ определяется выражением $J_a = \int_0^{\tau_p} i_L^2(t) dt$, а протекший

заряд – $q_I = \int_0^{\tau_p} i_L(t) dt$. При моделировании в условиях

высоковольтной лаборатории указанного испытательного импульса тока искусственной молнии его временной параметр τ_f носит согласно [1-5] второстепенный характер, что допускает использование для него диапазона $10 \text{ мкс} \leq \tau_f \leq 15 \text{ мкс}$ и существенно упрощает на практике его получение.

Из существующих на сегодня в ведущих научно-технических центрах мира высоковольтных сильно-точных электрофизических установок, воспроизводящих в лабораторных условиях требуемый по [1-5] аперіодический импульс тока искусственной молнии временной формы 10 мкс/350 мкс, следует указать российский имитатор импульсного тока молнии, приведенный в [6]. Данный имитатор тока линейной молнии формирует на электрической низкоомной мало-индуктивной нагрузке испытываемого технического объекта соответствующие импульсы тока амплитудой I_m лишь до ± 100 кА. В [7] нами был описан созданный в НИПКИ "Молния" НТУ "ХПИ" в 2007 г. в соответствии с требованиями международных нормативных документов [8-11] украинский генератор тока искусственной молнии, формирующий на бортовых устройствах авиационной и ракетно-космической техники необходимые АВП импульсной (А), повторной импульсной (D), промежуточной (B) и длительной (C) компонент импульсного тока грозового разряда. Поэтому актуальной прикладной задачей в области высоковольтной сильноточной импульсной техники является та, которая связана с созданием генератора аперіодических импульсов тока искусственной молнии временной формы 10 мкс/350 мкс с нормированной амплитудой I_m формируемого на нагрузке испытываемого объекта импульса тока от ± 100 до ± 200 кА.

© М.И. Баранов, Г.М. Колишко, В.И. Кравченко, С.В. Рудаков

Причем, такого генератора, который в своей разрядной цепи не содержит сложного по конструкции, дорогостоящего по цене и ненадежного в работе шунтирующего коммутатора, замыкающего нагрузку в момент достижения на ней тока амплитуды I_m [1, 5].

Основные технические характеристики мощного высоковольтного генератора ГИТМ-10/350.

Разработанный и созданный в 2014 г. в НИПКИ "Молния" НТУ "ХПИ" мощный генератор импульсов тока молнии (ГИТМ) временной формы 10 мкс/350 мкс (далее – генератор ГИТМ-10/350) в своем составе содержит четыре высоковольтных генератора импульсных токов (ГИТ), обеспечивающих при своей параллельной работе на общую активно-индуктивную нагрузку испытываемого на молниестойкость (пожаровзрывобезопасность) электротехнического устройства получение требуемых по международному стандарту IEC 62305-1-2010 [1] АВП аperiodических импульсов тока короткого удара имитированной линейной молнии. Общий вид мощного высоковольтного генератора ГИТМ-10/350 приведен ниже на рис. 1.



Рис. 1. Общий вид мощного высоковольтного генератора тока имитированной линейной молнии ГИТМ-10/350

На рис. 2 показана электрическая схема замещения сильноточных разрядных цепей как отдельных генераторов ГИТ-1, ГИТ-2, ГИТ-3 и ГИТ-4, так и генератора ГИТМ-10/350 в целом.

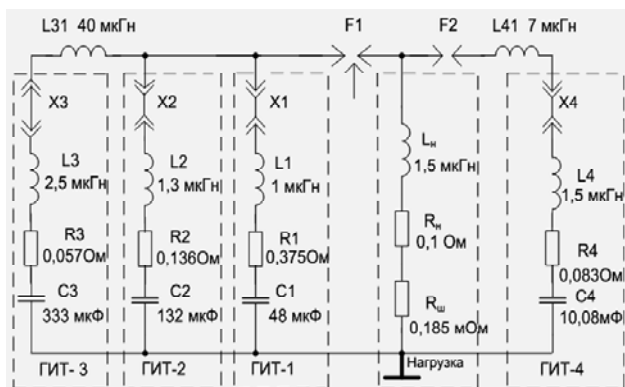


Рис. 2. Электрическая схема замещения сильноточных разрядных цепей четырех отдельных высоковольтных генераторов ГИТ-1–ГИТ-4 и полная электрическая схема мощного генератора тока имитированной молнии ГИТМ-10/350

Все эти высоковольтные генераторы собраны на основе емкостных накопителей энергии. Причем,

генераторы ГИТ-1–ГИТ-3 укомплектованы высоковольтными импульсными конденсаторами типа ИК-50-3 (номинальное напряжение ± 50 кВ; номинальная емкость 3 мкФ), а генератор ГИТ-4 – высоковольтными импульсными конденсаторами типа ИМ2-5-140 (номинальное напряжение ± 5 кВ; номинальная емкость 140 мкФ) [12].

Отметим, что конденсаторы генераторов ГИТ-1 – ГИТ-3 в зарядно-разрядных цепях включены параллельно, а конденсаторы генератора ГИТ-4 – последовательно-параллельно. Все высоковольтные конденсаторы генератора ГИТМ-10/350, имеющие металлические корпуса, были размещены на двух этажах изолированных у своего основания от земли с помощью опорных фарфоровых изоляторов типа КО-400С его несущих металлических (НМК) и изоляционных (НИК) конструкций [7]. Металлические корпуса конденсаторов типа ИК-50-3 установлены как на металлический пол НМК генераторов ГИТ-1 и ГИТ-2, так и на изоляционный пол НИК генератора ГИТ-3. Металлические корпуса конденсаторов типа ИМ2-5-140 изолированы от металлоконструкций пола этажей НМК генератора ГИТ-4 при помощи уложенных на пол прямоугольных изоляционных балок из древесно-слоистого пластика типа ДСПБ-Э поперечным сечением 70×70 мм. При этом генератор ГИТ-1 содержит 16 параллельно соединенных конденсаторов на номинальное зарядное напряжение ± 50 кВ с суммарной номинальной запасаемой энергией 60 кДж (рис. 3), генератор ГИТ-2 – 44 параллельно соединенных конденсаторов на номинальное зарядное напряжение ± 50 кВ с суммарной номинальной запасаемой энергией 165 кДж (рис. 3), генератор ГИТ-3 – 111 параллельно соединенных конденсаторов на номинальное зарядное напряжение ± 50 кВ с суммарной номинальной запасаемой энергией 416 кДж (рис. 4), а генератор ГИТ-4 – 288 последовательно-параллельно соединенных в 144 параллельные секции конденсаторов (по два емкостных накопителя энергии в каждой) на номинальное зарядное напряжение ± 10 кВ с суммарной номинальной запасаемой энергией 504 кДж (рис. 5).



Рис. 3. Общий вид генераторов ГИТ-1 (16 параллельно соединенных конденсаторов типа ИК-50-3 на 1 и 2 этажах НМК) и ГИТ-2 (44 параллельно соединенных конденсаторов типа ИК-50-3 на 1 и 2 этажах НМК) на номинальное зарядное напряжение ± 50 кВ, входящих в состав мощного высоковольтного генератора ГИТМ-10/350

На рис. 2 приняты следующие обозначения: $X1 - X4$ – массивные токопроводящие переключатели высоковольтных зарядно-разрядных цепей отдельных высоковольтных генераторов ГИТ-1 – ГИТ-4; $L31, L41$ – формирующие (развязывающие) индуктивности разрядных цепей генераторов ГИТ-3 и ГИТ-4 соответственно; $F1, F2$ – высоковольтные силовые воздушные коммутаторы разрядных цепей соответственно генераторов ГИТ-1 – ГИТ-3 и генератора ГИТ-4.



Рис. 4. Общий вид генератора ГИТ-3 (111 параллельно соединенных конденсаторов типа ИК-50-3 на 1 и 2 этажах НИК) на номинальное напряжение ± 50 кВ, входящего в состав мощного высоковольтного генератора ГИТМ-10/350



Рис. 5. Общий вид генератора ГИТ-4 (288 последовательно-параллельно включенных конденсаторов типа ИМ2-5-140 на 1 и 2 этажах НМК) на номинальное напряжение ± 10 кВ, входящего в состав мощного генератора ГИТМ-10/350

Формирующие электрические элементы зарядно-разрядных цепей генераторов ГИТ-3 (семивитковая индуктивность $L31 \approx 40$ мкГн) и ГИТ-4 (одновитковая индуктивность $L41 \approx 7$ мкГн) выполнены в виде катушек, намотанных из крупногабаритного радиочастотного кабеля марки РК 75-44-17 [13] со снятой защитной полиэтиленовой оболочкой и медной оплеткой.

Данные высоковольтные катушки, содержащие круглую сплошную медную жилу этого высоковольтного кабеля диаметром 6,6 мм, практически не влияют на собственные активные сопротивления $R3$ и $R4$ низкоомных разрядных цепей генераторов ГИТ-3 и ГИТ-4.

Во избежание разрушительных последствий в созданном мощном генераторе ГИТМ-10/350 при аварийном режиме его работы, вызванном внутренним электрическим пробоем на стадии заряда (разряда) одного из его высоковольтных конденсаторов, в каждом из используемых в нем генераторах ГИТ-1–ГИТ-4 на всех высоковольтных выводах их конденсаторов установлены защитные резисторы, набранные в виде компактных конструкций из параллельно соединенных высоковольтных графито-керамических объемных постоянных резисторов типа ТВО-60-24 Ом [7].

Коммутация в высоковольтных разрядных цепях генераторов ГИТ-1 – ГИТ-3 осуществляется высоковольтным трехэлектродным воздушным управляемым коммутатором с графитовыми электродами (КВГУ) $F1$ на номинальное напряжение ± 50 кВ и номинальный импульсный ток имитированной молнии амплитудой до $I_m \approx \pm 300$ кА (рис. 6). Коммутатор КВГУ-50 управляется за счет подачи на его средний графитовый электрод высоковольтного микросекундного импульса напряжения амплитудой до ± 100 кВ от специального высоковольтного пускового генератора типа ГВПИ-100 [7]. Конструкция коммутатора КВГУ-50 позволяет осуществлять регулировку его двух рабочих воздушных зазоров в пределах от 1 до 20 мм.

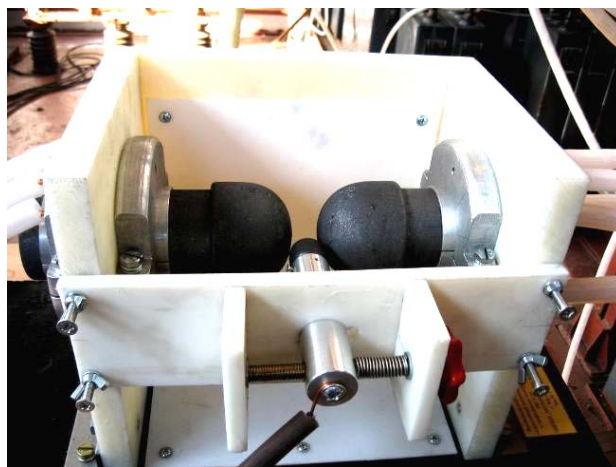


Рис. 6. Общий вид трехэлектродного воздушного управляемого коммутатора с графитовыми электродами КВГУ-50 (F_1) на номинальное напряжение ± 50 кВ и номинальный ток имитированной молнии амплитудой I_m до ± 300 кА

Высоковольтный двухэлектродный воздушный неуправляемый коммутатор с графитовыми электродами (КВГН) $F2$ на номинальное напряжение ± 10 кВ и номинальный импульсный ток молнии амплитудой I_m до ± 100 кА (рис. 7), предназначенный для коммутации силовой разрядной цепи генератора ГИТ-4, состоит из двух графитовых эрозийноустойчивых электродов от мощной электрической машины с плоскими рабочими поверхностями, зазор между которыми регулируется в пределах от 1 до 10 мм. Запускается двухэлектродный коммутатор КВГН-10 ($F2$) высоким импульсным напряжением, возникающим на

элементах электрической нагрузки R_H , L_H при срабатывании трехэлектродного коммутатора КВГУ-50 (F_1) и начале протекания по этой нагрузке импульсного разрядного тока от генераторов ГИТ-1–ГИТ-3.

В случае проверки отдельной работы генератора ГИТ-4 на указанную электронагрузку и выключения с помощью токопроводящих перемычек Х1–Х3 из разрядной схемы генераторов ГИТ-1–ГИТ-3 коммутатор КВГН-10 срабатывает от пускового импульса напряжения генератора ГВПИ-100 при специальной настройке воздушных зазоров коммутатора КВГУ-50.

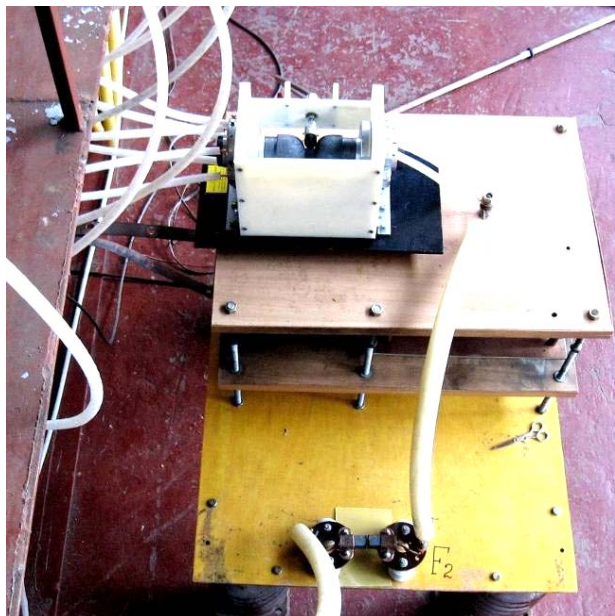


Рис. 7. Общий вид сверху рабочего стола генератора ГИТМ-10/350 с размещенными на нем трехэлектродным воздушным управляемым коммутатором с графитовыми электродами КВГУ-50 (F_1) на напряжение ± 50 кВ и импульсный ток молнии амплитудой I_m до ± 300 кА и двухэлектродным воздушным неуправляемым коммутатором с графитовыми электродами КВГН-10 (F_2) на напряжение ± 10 кВ и импульсный ток молнии амплитудой I_m до ± 100 кА

В генераторе ГИТМ-10/350 в непотенциальную ("заземленную") электрическую цепь его высоковольтного разрядного контура последовательно с электрической нагрузкой включён прошедший государственную метрологическую поверку измерительный коаксиальный малоиндуктивный шунт типа ШК-300, имеющий собственное активное сопротивление $R_{ш} \approx 0,185$ мОм (рис. 2) [7]. Данный измерительный шунт в высоковольтной разрядной цепи генератора ГИТМ-10/350 используется с коаксиальным выходом, имеющим коэффициент преобразования $11,26 \cdot 10^3$ А/В. Установлено, что шунт типа ШК-300 по своим электродинамическим и энергетическим характеристикам способен пропускать импульсные токи микросекундного временного диапазона амплитудой до ± 250 кА и электрический заряд до ± 250 Кл при рассеиваемой на себе тепловой энергии до 650 Дж [7].

Практическая реализация требуемых согласно [1–5] максимальных нормированных АВП аperiodических импульсов тока временной формы 10 мкс/350 мкс искусственной молнии амплитудой $I_m = \pm 200$ кА в генераторе ГИТМ-10/350 с низкоомной активно-

индуктивной нагрузкой ($R_H \approx 0,1$ Ом; $L_H \approx 1,5$ мкГн) осуществляется при суммарном зарядном напряжении высоковольтных конденсаторов для генераторов ГИТ-1–ГИТ-3 в диапазоне $\pm(30–31)$ кВ, а для генератора ГИТ-4 – $\pm(9,0–9,2)$ кВ. В последнем случае зарядное напряжение U_{C4} в генераторе ГИТ-4 для его отдельных высоковольтных конденсаторов типа ИМ2-5-140 не будет превышать $\pm 4,6$ кВ. Для получения минимальных нормированных по [1–5] АВП рассматриваемых аperiodических импульсов тока имитируемой молнии амплитудой $I_m = \pm 100$ кА в генераторе ГИТМ-10/350 с указанной электрической нагрузкой зарядное напряжение U_{C1-3} отдельных высоковольтных конденсаторов типа ИК-50-3 для генераторов ГИТ-1 – ГИТ-3 изменяется в диапазоне $\pm(15–15,5)$ кВ, а зарядное напряжение U_{C4} отдельных конденсаторов типа ИМ2-5-140 для генератора ГИТ-4 – $\pm(2,25–2,3)$ кВ.

На рис. 8 приведена осциллограмма полученного в разрядной цепи генератора ГИТМ-10/350 с низкоомной активно-индуктивной нагрузкой ($R_H \approx 0,1$ Ом; $L_H \approx 1,5$ мкГн) аperiodического импульса тока искусственной молнии с нормированными АВП в соответствии с требованиями международного стандарта ИЕС 62305-1-2010 [1]. При рабочем зарядном напряжении отдельных конденсаторов типа ИК-50-3 генераторов ГИТ-1–ГИТ-3 уровнем $U_{C1-3} = -15$ кВ и рабочем зарядном напряжении отдельных конденсаторов типа ИМ2-5-140 уровнем $U_{C4} = -2,25$ кВ амплитуда протекшего через указанную электронагрузку импульса тока отрицательной полярности короткого удара имитированной молнии по модулю составила $I_m \approx 106$ кА.

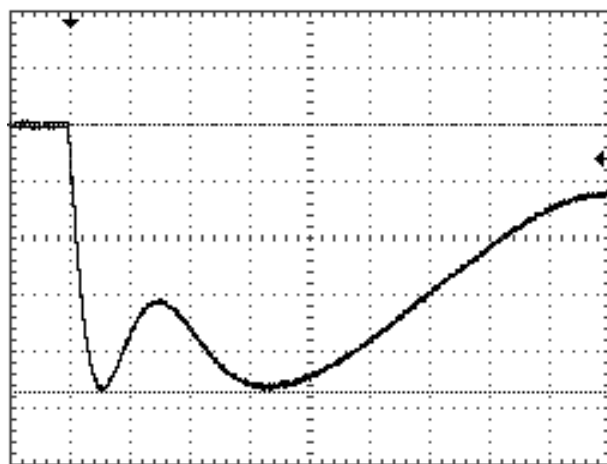


Рис. 8. Осциллограмма аperiodического импульса разрядного тока высоковольтного генератора ГИТМ-10/350 в цепи низкоомной активно-индуктивной нагрузки ($R_H \approx 0,1$ Ом; $L_H \approx 1,5$ мкГн; $U_{C1-3} = -15$ кВ; $U_{C4} = -2,25$ кВ; $I_m \approx 106$ кА; $t_m \approx 24$ мкс; $\tau \approx 15$ мкс; $\tau_p \approx 340$ мкс; масштаб по вертикали – 22,52 кА/клетка; масштаб по горизонтали – 50 мкс/клетка)

При этом время, соответствующее амплитуде I_m тока искусственной молнии, составило $t_m \approx 24$ мкс. Длительность фронта полученного нормированного импульса тока грозового разряда между уровнями $(0,1–0,9)I_m$ составила $\tau \approx 15$ мкс, а длительность сформированного на выбранной активно-индуктивной нагрузке аperiodического импульса тока линейной молнии на уровне $0,5 \cdot I_m$ оказалась равной $\tau_p \approx 340$ мкс. Интеграл действия полученного в этом случае

апериодического импульса тока имитированной молнии с модулем нормированной амплитуды $I_m \approx 106$ кА составил $J_a \approx 3,03 \cdot 10^6$ А²·с, а модуль протекшего через используемую в экспериментах RL -нагрузку электрического заряда – $q \approx 52,2$ Кл. Численная оценка для представленной на рис. 8 осциллограммы разрядного тока в использованной RL -нагрузке интеграла действия J_a и заряда q_l была проведена нами по следующим приближенным расчетным соотношениям [14]:

$$J_a \approx k_L^2 I_m^2 [0,14t_m + 0,66\tau_p + t_m\tau_p(1,52t_m + 7,4\tau_p)^{-1}]; \quad (1)$$

$$q_l \approx k_L I_m (1,32\tau_p + 0,27t_m), \quad (2)$$

где

$$k_L = [(0,21 \cdot t_m \tau_p^{-1})^{(3,7\tau_p - 0,76t_m)} - (0,21 \cdot t_m \tau_p^{-1})^{(3,7\tau_p - 0,76t_m)}]^{-1}$$

– нормирующий коэффициент для апериодического импульса тока искусственной линейной молнии (в нашем расчетном случае $k_L \approx 1,082$).

Приведенные согласно данным токовой осциллограммы на рис. 8 с учетом (1) и (2) результаты физического моделирования в лабораторных условиях при рабочих зарядных напряжениях $U_{C1-3} = -15$ кВ и $U_{C4} = -2,25$ кВ отдельных высоковольтных импульсных конденсаторов четырех указанных выше высоковольтных ГИТ созданного нами мощного генератора ГИТМ-10/350 апериодического импульса тока искусственной линейной молнии нормированной временной формы 10 мкс/350 мкс и амплитуды I_m указывают на то, что они полностью соответствуют III–IV уровням защиты от молнии технических объектов, удовлетворяющих требованиям действующих на сегодня международных и национальных стандартов [1-5].

Выводы.

1. Описан разработанный и созданный в НИПКИ "Молния" НТУ "ХПИ" на основе емкостных накопителей энергии мощный высоковольтный генератор, формирующий на низкоомной активно-индуктивной нагрузке апериодические импульсы тока искусственной молнии временной формы 10 мкс/350 мкс и амплитуды $\pm(100-200)$ кА с нормированными по международному стандарту IEC 62305-1-2010 допусками.

2. Проведенная практическая апробация в октябре 2014 г. генератора ГИТМ-10/350 показала, что данный мощный генератор при рабочем зарядном напряжении 171 конденсатора типа ИК-50-3 трех отдельных генераторов ГИТ-1–ГИТ-3 уровнем $U_{C1-3} = -15$ кВ и рабочем зарядном напряжении 288 конденсаторов типа ИМ2-5-140 четвертого генератора ГИТ-4 уровнем $U_{C4} = -2,25$ кВ позволяет в полевых условиях высоковольтной лаборатории обеспечить получение на электрической нагрузке с активным сопротивлением 0,1 Ом и индуктивностью 1,5 мкГн апериодических импульсов тока положительной (отрицательной) полярности имитированной молнии со временем достижения модуля их амплитуды I_m до 106 кА в $t_m \approx 24$ мкс, длительностью их фронта $\tau_f \approx 15$ мкс и длительностью на уровне $0,5 \cdot I_m$, составляющей $\tau_p \approx 340$ мкс. При этом в первом приближении интеграл действия экспериментально полученного согласно международного стандарта IEC 62305-1-2010 импульса тока искусственной молнии амплитудой $I_m \approx 106$ кА численно

составил $J_a \approx 3,03 \cdot 10^6$ А²·с, а протекший через вышеуказанную нагрузку электрический заряд – $q \approx 52,2$ Кл.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. IEC 62305-1: 2010 "Protection against lightning. – Part 1: General principles".
2. IEC 62305-2: 2010 "Protection against lightning. – Part 2: Risk management".
3. IEC 62305-3: 2010 "Protection against lightning. – Part 3: Physical damage to structures and life hazard".
4. IEC 62305-4: 2010 "Protection against lightning. – Part 4: Electrical and electronic systems within structures".
5. Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р МЭК 62305-1-2010. "Менеджмент риска. Защита от молнии. Часть 1: Общие принципы". – М.: Стандартинформ, 2011. – 46 с.
6. Сухоруков С.А. Помехозащитные устройства ЗАО "ЭМСОТЕХ". – Калуга: 2014. – 72 с.
7. Баранов М.И., Колиушко Г.М., Кравченко В.И. Недельский О.С., Дныщенко В.Н. Генератор тока искусственной молнии для натурных испытаний технических объектов // Приборы и техника эксперимента. – 2008. – №3. – С. 81-85.
8. SAE ARP 5412/ED-84. Нормативный документ США "Рекомендуемая практика авиационно-космических работ. Идеализированные составляющие внешнего тока", 1985. – С. 1-56.
9. SAE ARP 5416/ED-84. Нормативный документ США "Рекомендуемая практика авиационно-космических работ. Условия воздействия молнии на летательные аппараты и соответствующие формы испытательных сигналов", 2005. – С. 1-145.
10. MIL-STD-464A. Военный стандарт США "Электромагнитные и экологические эффекты воздействия молнии. Требования интерфейса и критерии проверки систем". – Изд-во Минобороны, 2002. – С. 1-162.
11. КТ-ВВФ/DO-160D. Квалификационные требования РФ "Условия эксплуатации и окружающей среды для бортового авиационного оборудования. Требования, нормы и методы испытаний". – М.: Госстандарт РФ, 2004. – С. 1-273.
12. Берзан В.П., Геликман Б.Ю., Гураевский М.Н. Электрические конденсаторы и конденсаторные установки. Справочник. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 656 с.
13. Белоруссов Н.И., Саакян А.Е., Яковлева А.И. Электрические кабели, провода и шнуры. Справочник. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 536 с.
14. Баранов М.И., Кравченко В.И. Электротермическая стойкость проводов и кабелей летательного аппарата к поражающему действию импульсного тока молнии // Электричество. – 2013. – №10. – С. 7-15.

REFERENCES

1. IEC 62305-1: 2010 "Protection against lightning. Part 1: General principles".
2. IEC 62305-2: 2010 "Protection against lightning. Part 2: Risk management".
3. IEC 62305-3: 2010 "Protection against lightning. Part 3: Physical damage to structures and life hazard".
4. IEC 62305-4: 2010 "Protection against lightning. Part 4: Electrical and electronic systems within structures".
5. *Nacional'nyj standart Rossijskoj Federacii GOST R MEK 62305-1-2010. "Menedzhment riska. Zashhita ot molnii. Chast' 1: Obshhie principy"* [National Standard of the Russian Federation GOST R IEC 62305-1-2010. Risk management. Protection from lightning. Part 1: General principles]. Moscow, Standartinform Publ., 2011, 46 p. (Rus).
6. Suhorukov S.A. *Pomehozashhitnye ustrojstva ZAO "EMSOTEH"* [Hindrance protective devices of CCA "EMSOTEH"]. Kaluga, 2014. 72 p. (Rus).

7. Baranov M.I., Koliushko G.M., Kravchenko V.I., Nedzelskyi O.S., Dnyschenko V.N. A current generator of the artificial lightning for full-scale tests of technical objects. *Pribory i tekhnika eksperimenta – Instruments and experimental techniques*, 2008, no.3, pp. 81-85. (Rus).
8. SAE ARP 5412/ED-84. *Normativnyj dokument SShA "Rekomenduemaja praktika aviacionno-kosmicheskikh rabot. Idealizirovannye sostavljajushhie vneshnego toka"* [SAE ARP 5412/ED-84. USA regulatory document "Recommended practice aerospace work. Idealized components of the external current"]. 1985, pp. 1-56. (Rus).
9. SAE ARP 5416/ED-84. *Normativnyj dokument SShA "Rekomenduemaja praktika aviacionno-kosmicheskikh rabot. Uslovija vozdejstvija molnii na letatel'nye apparaty i sootvetstvujushhie formy ispytatel'nyh signalov"* [USA regulatory document "Recommended practice aerospace work. Terms of action of lightning on aircraft and corresponding-shaped test signals"]. 2005, pp. 1-145. (Rus).
10. MIL-STD-464A. *Voennyj standart SShA. "Elektromagnitnye i ekologicheskie efekty vozdejstvija molnii. Trebovanija interfejsa i kriterii proverki sistem"* [USA military standard. Electromagnetic and ecological effects of lightning. Requirements interface and testing criteria systems]. Ministry of Defense Publ., 2002, pp. 1-162. (Rus).
11. KT-VVF/DO-160D. *Kvalifikacionnye trebovanija RF "Uslovija ekspluatcii i okruzhajushhej sredy dlja bortovogo aviacionnogo oborudovanija. Trebovanija, normy i metody ispytanij"* [Qualification requirements of the Russian Federation. "Terms of exploitations and environments for a side aviation equipment. Requirements, standards and test methods"]. Moscow, Gosstandart RF Publ., 2004, pp. 1-273. (Rus).
12. Berzan V.P., Gelikman B.Yu., Guraevskij M.N. *Elektricheskie kondensatory i kondensatornye ustanovki. Spravochnik* [The electrical capacitors and condenser options. Directory]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1987, 656 p. (Rus).
13. Belorussov N.I., Saakjan A.E., Jakovleva A.I. *Elektricheskie kabeli, provoda i shnury. Spravochnik* [Electrical cables, wires and cords. Directory]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1988, 536 p. (Rus).
14. Baranov M.I., Kravchenko V.I. Electrothermal resistance wire and cable to the aircraft to the striking action pulsed current lightning. *Elektrichestvo – Electricity*, 2013, no.10, pp. 7-15. (Rus).

Поступила (received) 21.11.2014

Баранов Михаил Иванович¹, д.т.н., с.н.с.,
Колушко Георгий Михайлович¹, к.т.н., с.н.с.,
Кравченко Владимир Иванович¹, д.т.н., проф.,
Рудаков Сергей Валерьевич², к.т.н., доц.,
¹НИПКИ "Молния",

Национальный технический университет
"Харьковский политехнический институт",
61013, Харьков, ул. Шевченко, 47,
тел/phone +38 057 7076841, e-mail: eft@kpi.kharkov.ua
²Национальный университет гражданской защиты Украины,
61023, Харьков, ул. Чернышевского, 94,
тел/phone +38 057 7073438, e-mail: serg_73@i.ua

M.I. Baranov¹, G.M. Koliushko¹, V.I. Kravchenko¹, S.V. Rudakov²
¹Scientific-&Research Planning-&-Design Institute "Molniya",
National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute",
47, Shevchenko Str., Kharkiv, 61013, Ukraine.

²National University of Civil Protection of Ukraine,
94, Chernyshevska Str., Kharkiv, 61023, Ukraine.

A powerful high-voltage generator of aperiodic impulses of current of artificial lightning with the peak-temporal parameters rated on an International Standard IEC 62305-1-2010.

Created in accordance with the requirements of international standard of IEC 62305-1-2010 powerful high-voltage generator, forming on the low-resistance actively-inductive loading the aperiodic impulses of current of artificial lightning of the rationed temporal form 10 μs/350 μs and amplitudes of ±(100–200) kA with a foregoing standard by admittances set is presented and described. The results of practical approbation in the laboratory terms of this generator at the in-use electric loading with active resistance of 0.1 Ohm and inductance of 1,5 μH are presented. References 14, figures 8.

Key words: generator of aperiodic impulses of current of artificial lightning, powerful capacity store of energy, low-resistance electric loading.