

А.Ю. ЧЕРНУХИН, аспирант, НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ»

ПАРАМЕТРЫ ИМПУЛЬСНОЙ КОРОНЫ НА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СТЕРЖНЯХ В СИЛЬНОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

В работе представлены результаты экспериментального исследования амплитудно-временных параметров стримерной короны. Испытания проведены для молниеприемников различной формы поперечного сечения. Установлены зависимости силы тока короны от напряженности электрического поля и высоты молниеприемника.

Ключевые слова: молниеприемник, электрическое поле, стример, корона, сила тока.

Введение. Как известно, вероятность ориентировки нисходящей отрицательной молнии зависит от интенсивности образования встречного лидера от объектов, попадающих в зону ориентировки [1]. Началу формирования лидера предшествует появление стримеров. По мере приближения грозового облака, за счет сопутствующего электрического поля, на молниеприемнике индуцируется электрический заряд, что обуславливает повышение напряженности поля на вершине молниеприемника и появление коронного разряда. При некотором значении напряженности электрического поля возникают стримерные вспышки.

В качестве устройств молниезащиты широко используются стержневые молниеприемники. Известно [2], что если размеры вершины молниеприемника не превышают критического радиуса, то напряжение пробоя воздушного промежутка для всех форм вершин практически одинаковое (погрешность до 10 %). Однако, важным фактором также является время, за которое произойдет процесс пробоя, так как это может повлиять на место ориентировки молнии.

Кроме упомянутых выше систем, условно называемых «пассивными», в мире предпринимаются настойчивые попытки создания «активных» устройств молниезащиты. К числу таких устройств относятся, так называемые «Early streamer emission air terminals» (ESE), которые должны обеспечивать более быстрое по сравнению с классическим стержневым молниеприемником создание встречного стримера, способствующего перехвату молнии. Изготовители ESE молниеприемников утверждают, что они обеспечивают существенное увеличение размеров зоны защиты при той же высоте установки.

Число различных вариантов ESE молниеприемников, представленных на рынке услуг, из года в год неуклонно растет. На международной выставке «Elcom 2013», прошедшей в Киеве, более 20 компаний предлагали ESE молниеприемники. По информации, размещенной на сайте ILPA, в мире уже ус-

тановлено более полумиллиона таких устройств. Методика аттестации «активных» средств молниезащиты регламентируется стандартом Франции [3]. На основании большого числа экспериментальных исследований доказано [4], что знание средне арифметического значения ΔT не является достаточным для оценки вероятности перехвата молнии ESE молниеприемником.

Поэтому, исследования зависимости параметров стримеров от геометрии молниеприемника и внешних условий, при которых формируются стримеры, представляется актуальной задачей для оценки эффективности систем молниезащиты.

Цель работы. Экспериментальное исследование амплитудно-временных параметров силы тока одиночных стримеров и частоты их возникновения для стержневого молниеприемника в зависимости от напряженности электрического поля, высоты молниеприемника и формы его вершины.

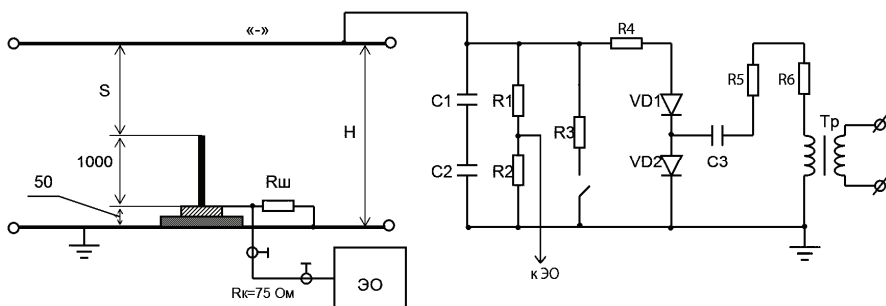
Результаты экспериментальных исследований. Для экспертной оценки «быстродействия» конкретного молниеприемника в работе [5] предложено использовать значения параметров стримеров, которые возникают при размещении молниеприемника в электрическом поле. Результаты исследований на постоянном напряжении, позволяющие оценить характеристики конкретного молниеприемника при подходе грозового облака, представлены в работе [6]. Другая часть исследований связана с изучением процессов образования стримеров в условиях изменяющейся напряженности электрического поля, характерных для поля, сопровождающего прорастающий канал молнии.

Определение критического значения напряженности электрического поля, при котором возникают стримерные вспышки, и характер их поведения при изменении уровня напряженности электрического поля является важным моментом в исследовании молниеприемников. Моделирование процесса осуществлено на высоковольтном испытательном стенде ВВС-1.2 НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ».

Исследования проведены для стержневых молниеприемников, размещавшихся между двумя параллельными металлическими плоскостями. Размеры плоскостей: нижняя – 4,02 x 6,56 м, верхняя – 3,63 x 5,22 м. Схема испытательной установки для исследования характеристик тока короны при постоянном напряжении приведена на рис. 1. В данном варианте нижняя плоскость заземлена. Верхняя – потенциальная, на нее подается высокое напряжение (ВН). Расстояние (S) варьировалось от 0,5 м до 2,5 м. Соответственно, изменялось и начальное значение напряженности электрического поля в промежутке.

Напряжение на потенциальном электроде плавно поднималось до 180 кВ, удерживалось некоторое время (около 30 секунд), достаточное для регистрации силы тока начальной короны, затем осуществлялось отключение источника питания. Далее происходил спад напряжения на конденсаторах в RC цепи источника ВН, а, следовательно, и на исследуемом промежутке. С

помощью шунта сопротивлением 75 Ом и осциллографа регистрировался ток, протекающий в системе молниеприемник - плоскость. На второй канал осциллографа подавалось напряжение с омического делителя, установленного непосредственно на выходе ПВУ.



$C1 = 0,381 \text{ мкФ}$; $C2 = 0,385 \text{ мкФ}$; $C3 = 0,4 \text{ мкФ}$; $R1 = 300 \text{ МОм}$; $R2 = 30 \text{ кОм}$; $R3 = 60 \text{ кОм}$; $R4 = 510 \text{ кОм}$; $R5, R6 = 60 \text{ кОм}$; $Rш = 75 \text{ Ом}$;
 Tr – трансформатор ИОМ 100/25

Рисунок 1 – Схема испытательной установки

На осциллограмме (рис. 2), максимальное значение напряжения, соответствующее горизонтальной линии на нижней кривой, равно 180 кВ. Коэффициент деления примененного делителя равен 10^4 . Соответственно, чувствительность схемы измерения напряжения 50 кВ/дел. Чувствительность схемы измерения силы тока короны 80 мА/дел.

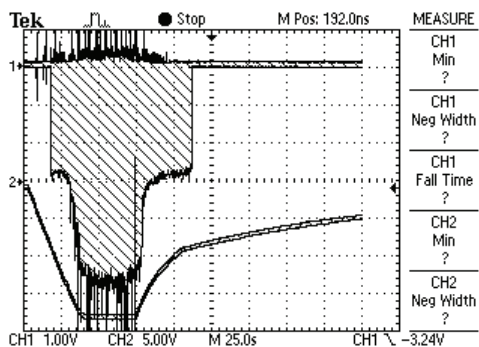


Рисунок 2 – Осциллограмма силы тока коронного разряда при изменении напряжения на потенциальной плоскости

Осциллограмма тока единичного стримера представлена на рис. 3. Влияние уровня напряженности электрического поля на параметры тока короны иллюстрируется осциллограммами, приведенными на рис. 4. Из осцил-

логграмм видно, что с увеличением напряженности электрического поля в промежутке, изменяется характер наблюдаемого процесса коронного разряда.

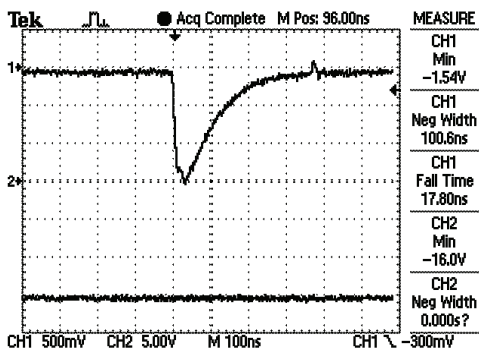


Рисунок 3 – Осциллограмма единичного стримера

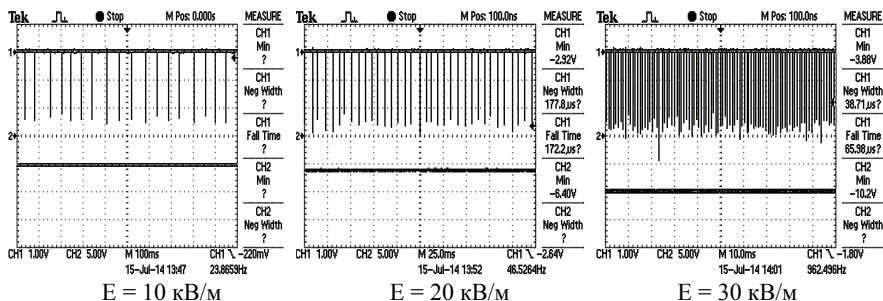


Рисунок 4 – Зависимость частоты следования стримеров от напряженности электрического поля

Амплитуда регистрируемого тока начальной короны не изменяется для данной напряженности, тогда как ток короны, обусловленный изменяющимся электрическим полем, растет с увеличением напряженности E -поля.

Эти результаты важны для правильного понимания получаемой при исследованиях молниеприемников информации. То, что может быть принято за стримерную корону, на больших промежутках ($>2\text{м}$, $E_0 < 60,0\text{ кВ/м}$), фактически ей не является, а есть лишь начальная корона.

Аналогично сила тока стримерной короны зависит от высоты стержня. График такой зависимости представлен на рис. 5. Сила тока определена как средне-арифметическое значения заряда в единичном стримере умноженное на число стримеров во временном интервале равно одной секунде.

Зависимость силы тока короны от напряженности электрического поля в испытательном промежутке для стержня квадратного сечения с плоской вершиной и круглого заостренного показана на рис. 6. Стержневые молниепри-

емники имели высоту 3,4 м, потенциальная плоскость находилась на высоте 5 м над заземленной.

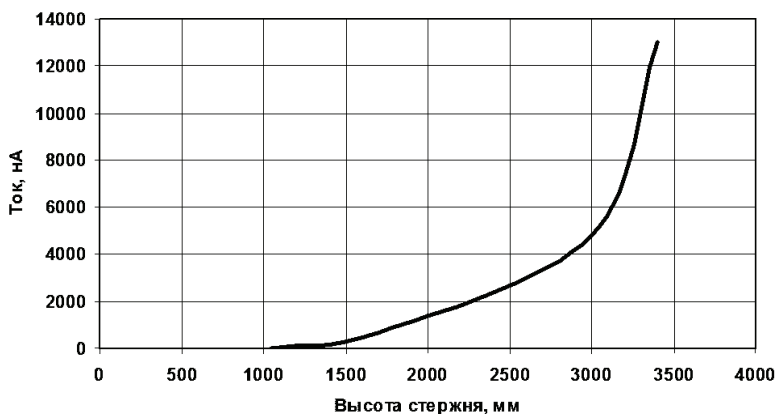


Рисунок 5 – Сила тока стримерной короны в зависимости от высоты стержня (стержень квадратного сечения 12x12 мм²)

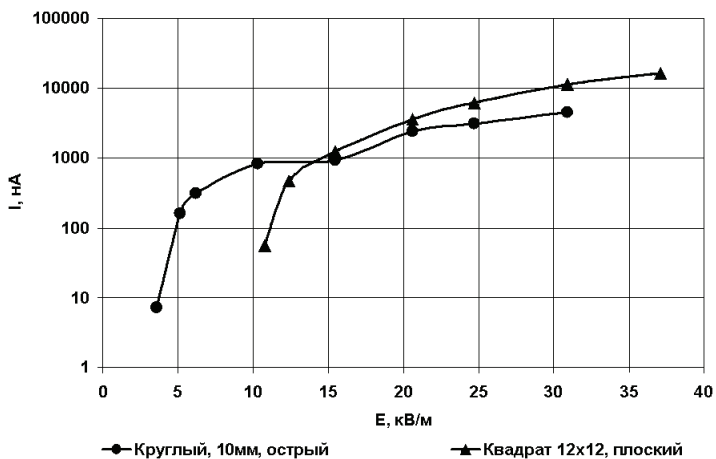


Рисунок 6 – Сила тока короны в зависимости от напряженности электрического поля

Исходные данные для построения зависимости представлены в табл. 1.

Выводы.

1. Определены функциональные зависимости силы тока стримерной короны от величины напряженности электрического поля, в которое молние-приемник помещается.

2. Определены функциональные зависимости силы тока стримерной короны от высоты молниеприемника.

3. Предложен метод исследования параметров тока короны молниеприемников в условиях электрического поля, изменяющегося по экспоненциальному закону.

4. Установлено, что временные параметры одиночного стримера не изменяются более чем на 30%. Число импульсов в единицу времени экспоненциально увеличивается по мере увеличения напряженности электрического поля и высоты молниеприемника.

Таблица 1 – Результаты исследования для стержней высотой 3,4 м

Круглый острый, Ø10мм			
Е, кВ/м	q имп, нКл	N, 1/с	I, нА
3,61	0,24	30	7,2
5,15	0,27	600	162
6,19	0,27	1140	307,8
10,31	0,29	2840	823,6
15,46	0,33	2800	924
20,62	0,79	3000	2370
24,74	0,93	3300	3069
30,93	1,6	2800	4480

Квадрат 12х12мм			
Е, кВ/м	q имп, нКл	N, 1/с	I, нА
10,78	3,06	18	55,08
12,37	3,33	140	466,2
15,46	3,46	360	1245,6
20,62	3,73	960	3580,8
24,74	3,73	1640	6117,2
30,93	3,79	3000	11370
37,11	3,86	4200	16212

Список литературы: 1. Базелян Э.М., Райзер Ю.П. Физика молнии и молниезащиты. – М.: Физматлит, 2001. – 320с. 2. Lightning protection / Ed. By Vernon Coorey // IET Power and Energy Series 58, UK, London.: 2010, P.1070. 3. NF C 17-102: 2011. Lightning protection. Protection of structures and open areas against lightning using early streamer emission air terminals. 4. Князев В.В., Кравченко В.И., Лесной И.П и др. Результаты исследования параметров активных молниеприемников и рассеивателей // Вестник НТУ «ХПИ» «Техника и электрофизика высоких напряжений». – 2008. – Вып. 21. – С. 78-87. 5. Розробка методу оцінки захисних властивостей новітніх видів пристроїв блискавкозахисту – активних блискавкоприймачів та розсіювачів / Звіт про НДР Інв.0212U008336. – Х.: ХПІ, 2012. – 234 с. 6. Князев В.В., Мельников П.Н., Чернухин А.Ю. Характеристики стримерной короны при постоянном напряжении на молниеприемниках с различными формами вершин и поперечных сечений // Вестник НТУ «ХПИ» «Техника и электрофизика высоких напряжений». – 2012. – Вып. 21. – С. 111-117.

Bibliography (transliterated): 1. Bazeljan Je.M., Rajzer Ju.P. / Fizika molnii i molniezashhity. M.: FIZMATLIT, 2001. 320 s. Print. 2. Lightning protection / Ed. By Vernon Coorey // IET Power and Energy Series 58, UK, London.: 2010. P.1070. Print. 3. NF C 17-102: 2011. Lightning protection. Protection of structures and open areas against lightning using early streamer emission air terminals. Print. 4. Knjazev V.V., Kravchenko V.I., Lesnoj I.P i dr. Rezul'taty issledovanija parametrov aktivnyh molniepriemnikov i rasseivatelej, Vestnik NTU «HPI» «Tehnika i jelektrofizika vysokih naprjazhenij», Vyp. 21, 2008, s.78-87. Print. 5. Rozrobka metodu ocinki zahisnih vlastivostej novitnih vidiv pristrojiv bliskavkozahistu – aktivnih bliskavkoprijmachiv ta rozsijuvachiv / Zvit pro NDR Inv.0212U008336. HPI, Harkiv. 2012, 234 s. Print. 6. Knjazev V.V., Mel'nikov P.N., Chernukhin A.Ju. Harakteristiki strimernoj korony pri postojannom naprjazhenii na molniepriemnikah s razlichnymi formami vershin i poperechnyh sechenij, Vestnik NTU «HPI» «Tehnika i jelektrofizika vysokih naprjazhenij», Vyp. 21, 2012, s.111-117. Print.

Поступила (received) 24.10.2014

УДК 621.317.3

Параметри імпульсної корони на металевих стержнях у сильному електричному полі / О.Ю. Чернухін // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХПІ», 2014. – № 50 (1092). – С. 155-160. – Бібліогр.: 6 назв. – ISSN 2079-0740.

У роботі представлені результати експериментального дослідження амплітудно-часових параметрів стримерної корони. Випробовування проведені для блискавкоприймачів різної форми поперечного розтину. Визначено функціональні залежності сили струму стримерної корони від величини напруженості електричного поля, в яке поміщається блискавкоприймач. Визначено функціональні залежності сили струму стримерної корони від висоти блискавкоприймача. Встановлені залежності сили струму корони від напруженості електричного поля та висоти блискавкоприймача.

Ключові слова: блискавкоприймач, електричне поле, стример, корона, сила струму.

УДК 621.317.3

Параметры импульсной короны на металлических стержнях в сильном электрическом поле / А.Ю. Чернухин // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХПІ», 2014. – № 50 (1092). – С. 155-160. – Бібліогр.: 6 назв. – ISSN 2079-0740.

В работе представлены результаты экспериментального исследования амплитудно-временных параметров стримерной короны. Испытания проведены для молниеприемников различной формы поперечного сечения. Определены функциональные зависимости силы тока стримерной короны от величины напряженности электрического поля, в которое молниеприемник помещается. Определены функциональные зависимости силы тока стримерной короны от высоты молниеприемника. Установлены зависимости силы тока короны от напряженности электрического поля и высоты молниеприемника.

Ключевые слова: молниеприемник, электрическое поле, стример, корона, сила тока.

Parameters of pulse corona on metal rods in strength electric field / A. Chernukhin // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Technique and electrophysics of high voltage. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2014. – № 50 (1092). – С. 155-160. – Bibliogr.: 6. – ISSN 2079-0740.

The results of experimental researches of peak-temporal parameters of streamer crown are presented. Studies are undertaken on the lightning rods of different form of cross-sectional. Defined functional dependence of the current streamer corona on the magnitude of the electric field, in which lightning rod is placed. Defined functional dependence of the current on the height of the streamer corona of lightning rod. Dependences of strength of current of crown are set on tension of electric-field and height of the lightning rods. The main components and system installation. Calculated distribution of the magnetic field along the axis and the radius of the device. Held thermal design solenoids.

Keywords: lightning rod, electric field, streamer, corona, strength of current.