

04

© 1991

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛОЖИТЕЛЬНОЙ СТРИМЕРНОЙ
КОРОНЫ, ВОЗНИКАЮЩЕЙ МЕЖДУ ЗАЗЕМЛЕННОЙ
ПЛОСКОСТЬЮ И ЗАРЯЖЕННЫМ АЭРОЗОЛЬНЫМ ОБЛАКОМК.В. А н ц у п о в, И.П. В е р е щ а г и н,
Л.М. М а к а л ь с к и й, Н.И. П е т р о в,
В.С. С ы с о е в

Экспериментально исследована стримерная корона в воздухе при нормальных атмосферных условиях, возникающая в разрядном промежутке „облако заряженного аэрозоля-заземленная плоскость“. Облако заряженного аэрозоля формировалось при помощи высокопроизводительного генератора водного аэрозоля [1]. Заземленным электродом являлась металлическая плоскость размером 18x18 м. Генератор создавал облако заряженных аэрозольных частиц диаметром 0.1–0.5 мкм. Величина заряда облака регулировалась изменением тока выноса генератора. Напряженность электрического поля в стримерной короне измерялась с помощью световодного электрооптического датчика. Токковые характеристики разрядов исследовались при помощи коаксиального омического шунта сопротивлением 4 Ом, сигнал с которого фиксировался осциллографом с памятью. Подробное описание экспериментальной установки приведено в [2]. Принципиальная схема установки представлена на рис. 1.

Ниже приводятся результаты экспериментов при отрицательной полярности облака. При токе выноса генератора $I_B \approx 100$ мкА с заземленной плоскости под облаком заряженного аэрозоля возникает длительно существующая (более 10 с) специфическая форма разряда, представляющая собой коническую трубку длиной 0.5–0.8 м [2]. Вершина конической трубки имеет вид ярко светящегося пятна размером около 1 см. Угол раствора конуса составляет приблизительно 30°. В диффузно светящейся трубке можно выделить более яркие нитевидные каналы стримеров. Возникновение и устойчивое существование описанного вида разряда определяется режимом работы генератора, его производительностью по объемному заряду и для конкретного режима работы генератора разряд существует в узком интервале значений тока $I_B - \delta I < I < I_B + \delta I$ (δI составляет приблизительно 5% от тока выноса I_B). В этом случае ток выноса генератора уравнивается потерями заряда на осаждение на заземленные предметы, электростатическое расталкивание, рекомбинацию и поддержание разряда. При уменьшении тока выноса ниже указанной границы трубка исчезает, при значениях I выше верхней границы трубка трансформируется в искровой канал, образующийся внутри нее. После искрового разряда трубка исчезает, возникнув вновь через 1–5 с.

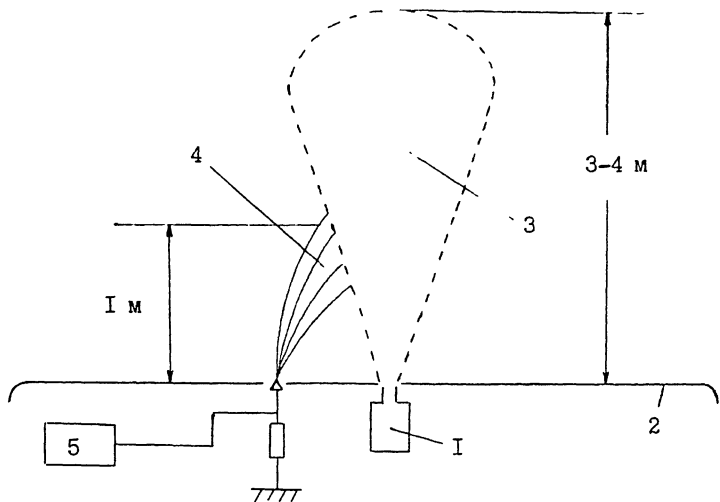


Рис. 1. Принципиальная схема установки. 1 - генератор заряженного аэрозоля, 2 - заземленная плоскость, 3 - заряженное облако, 4 - стримерная корона, 5 - осциллограф.

При достижении заряда облака величины 60–80 мкКл с неоднородностей заземленной плоскости зарождается импульсная стримерная корона. Измерения тока, текущего в разряде, показали, что он представляет собой последовательность импульсов, следующих друг за другом (рис. 2, а). При регистрации в субмикросекундном диапазоне удается разрешить единичные импульсы тока, форма и параметры которого сохраняются от случая к случаю (рис. 2, б). Длительность фронта такого импульса составляет $\tau_{\text{ф}} \approx 0.1$ мкс, длительность на половине амплитуды импульса $\tau_{\text{и}} \approx 0.5$ мкс, амплитуда $I_0 \approx 0.1$ А. Заряд, вынесенный таким единичным импульсом короны, равен $q \approx 5 \cdot 10^{-8}$ Кл. Отметим, что аналогичные импульсы в стримерной короне были зарегистрированы в работе [3]. Можно оценить количество стримеров, которое включает единичный импульс короны. Известно, что заряд одного стримера в воздухе составляет $q_0 \approx 5 \cdot 10^{-10}$ Кл [4]. Тогда число стримеров равно $N_{\text{стр}} \approx 10^2$, т.е. единичный импульс тока включает в себя ток от пачки стримеров, стартующих практически одновременно и не разрешаемых в микросекундном диапазоне.

При увеличении тока выноса генератора частота следования „единичных“ импульсов короны возрастает. Заряд и ток короны при этом также возрастают. Так, при увеличении заряда облака свыше 80–90 мкКл единичные импульсы сменяются пачками импульсов стримерной короны, состоящими из 15–30 импульсов, наложенных на постоянную составляющую тока разряда, равную 0.02–0.06 А. При этом происходит почти 3-х кратное увеличение амплитуды тока в каждом импульсе по сравнению с предыдущей формой заряда.

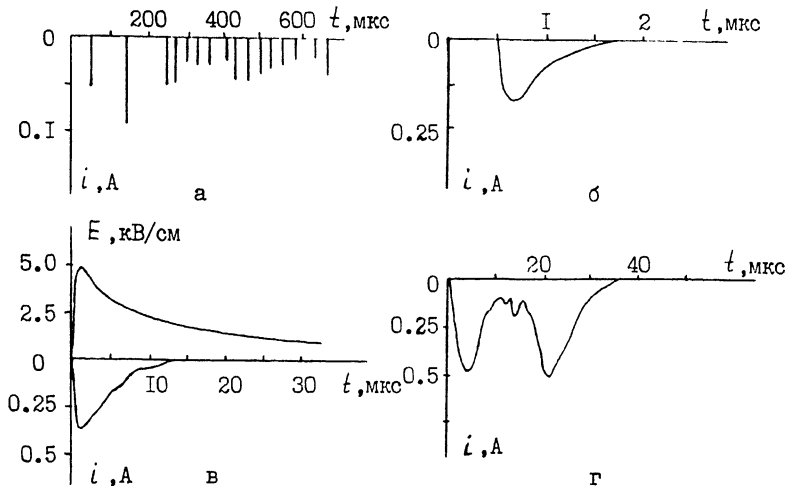


Рис. 2. Осциллограммы тока стримерной короны.

Интервал времени между единичными импульсами тока составляет 0,5–1 мкс, т.е. частота следования импульсов равна $\omega \approx 10^6$ Гц. Период между пачками импульсов составляет десятки микросекунд. Интеграл тока разряда $Q = \int i dt$ равен 3–7 мкКл. Импульсный характер имеет и поведение напряженности электрического поля в стримерной короне. Величина ее резко увеличивается при выносе стримерной короной положительных зарядов и падает с уменьшением тока короны. Однако время спада напряженности электрического поля E существенно больше длительности тока (рис. 2, в), что, по-видимому, связано с большим временем релаксации объемного заряда. Амплитуда напряженности электрического поля в стримерной короне составляет 4–5 кВ/см.

Существенно отличные электрические и временные параметры имеют мощные вспышки стримерной короны, состоящие из двух или более последовательных импульсов тока. Частота следования „единичных“ импульсов достигает при этом величины $\omega \approx 10^7$ Гц. Длительность импульса составляет 10–20 мкс, амплитуда тока 0,5–1 А, постоянная составляющая тока равна 0,1–0,2 А (рис. 2, г). Интервал времени между импульсами составляет 10–30 мкс. Интеграл тока отдельно взятого импульса изменяется в пределах 2–13 мкКл. Оптически данный вид разряда фиксируется как стримерная корона, длина которой достигает 0,8–1 м. Отметим, что характеристики такого импульса тока близки к минимальным значениям параметров так называемой „первой вспышки“ лидерного разряда в длинных воздушных промежутках [5]. Фоторазвертки динамики искрового канала с момента его зарождения показывают, что канальная стадия разряда представляет собою лидерный разряд, развивающийся с плоскости вверх к облаку со скоростью 1–3 см/мкс

Это позволяет сделать вывод о том, что в экспериментах удалось получить устойчивую длительно существующую стримерную корону, аналогичную стримерной зоне лидерного разряда.

Переход от стримерной короны к лидерному разряду происходит при дальнейшем увеличении объемного заряда аэрозольного облака. Значения заряда, внедряемого в промежуток первой вспышки короны составляют 3–13 мкКл при амплитуде тока 0.4–3 А. В лидерной стадии ток практически не изменяется за все время распространения лидера и составляет 0.1–0.3 А. В финальной стадии, сопровождающейся обратным разрядом, нейтрализуется заряд 6–14 мкКл. Общая длительность лидерного разряда составляет 40–55 мкс. Интеграл тока разряда равен 12–44 мкКл. Значения тока и зарядов лидера являются минимальными из зафиксированных в длинных воздушных промежутках. Минимальным является и погонный заряд лидера, который в данном случае составляет 10–20 мкКл/м.

Можно ввести параметры, задающие критическую частоту $\omega_{кр}$ следования „единичных“ импульсов короны и минимальный заряд $Q_{мин}$, при достижении которых осуществляется стримерно-лидерный переход. В данном случае эти параметры соответственно равны $\omega_{кр} = 2 \cdot 10^7$ Гц и $Q_{мин} \approx 3-13$ мкКл.

Таким образом, получена устойчивая форма разряда с заряженного аэрозольного облака при нормальных атмосферных условиях, представляющая собою стримерную зону лидерного разряда. Определены ее основные параметры и условия существования. Установлена зависимость частоты следования импульсов короны от величины тока выноса генератора заряженного аэрозоля. Полученные результаты могут быть полезны при определении оптимальных условий стримерно-лидерного перехода в разрядах в атмосферном воздухе.

С л и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Б а с и е в Т.С. и др. // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. 1982. № 5. С. 118–127.
- [2] В е р е щ а г и н И.П. и др. // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. 1989. № 4. С. 100–106.
- [3] Н и д а к а К. // Trans. IEE of Japan. 1983. V. 103A. P. 241–248.
- [4] Б а з е л я н Э.М., Р а ж а н с к и й И.М. Искровой разряд в воздухе. Новосибирск: Наука, 1988. 165 с.
- [5] L e s R e n a r d i e r e s G r o u p. // Electra. 1977. V. 53. P. 31–153.

Всесоюзный
электротехнический
институт им. В.И. Ленина

Поступило в Редакцию
2 августа 1991 г.