

04:07
©1993

ИЗМЕРЕНИЕ СКОРОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ФРОНТА ИОНИЗАЦИИ СТРИМЕРНОЙ КОРОНЫ В ВОЗДУХЕ

Н.И.Петров, В.Р.Аванский, Н.В.Бомбенкова

Исследована стримерная корона в воздухе при нормальных атмосферных условиях, возникающая в разрядном промежутке стержень-плоскость при воздействии аперриодического импульса напряжения положительной полярности. Одной из основных характеристик стримерной короны является скорость ее распространения. Как правило скорость распространения короны измеряется с помощью электронно-оптических устройств, регистрирующих продвижение фронта светимости в оптическом диапазоне. Однако при этом регистрируется лишь излучение в спектральном диапазоне 0.3–0.75 мкм. Поэтому представляет интерес измерение скорости распространения стримерной короны методами, не зависящими от спектра излучения на ее фронте.

В настоящей работе скорость распространения стримерной короны в длинных воздушных промежутках определяется из измерений напряженности электрического поля с помощью электрооптического датчика. В исследованиях стримерной короны в воздухе электрооптический датчик использовался ранее в работе [1]. Датчик представляет собой первичный преобразователь на основе электрооптического эффекта Погкельса, оптически связанный волоконными световодами с источником света и фотоприемником. Преобразователь не содержит проводящих частей, чувствительный элемент выполнен из кристалла силиката висмута. Источник света — полупроводниковый светодиод с длиной волны излучения 0.86 мкм. Порог чувствительности датчика не хуже чем 0.05 кВ/см, полоса регистрируемых частот 50 МГц. Измерения проводились в промежутках стержень-плоскость длиной 4 и 6 м при воздействии аперриодических импульсов напряжения. Импульсы формировались на выходе генератора импульсных напряжений ГИН-9МВ наружной установки. Датчик располагался в воздушном промежутке на различных расстояниях от конца стержня в пределах длины стримерной короны.

Известно [2], что существует минимальная скорость распространения границы стримерной короны, равная 10^7 см/с

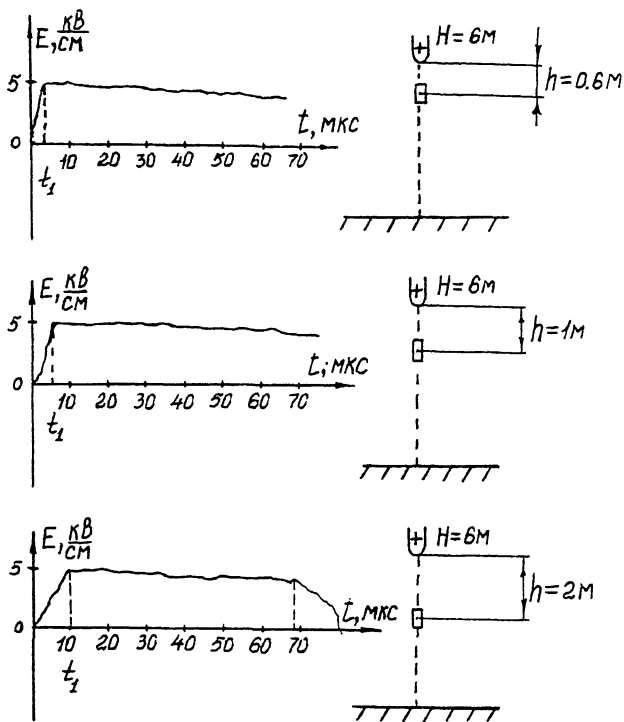


Рис. 1. Осциллограммы напряженности электрического поля внутри стримерной короны в разрядном промежутке стержень — плоскость длиной $H = 6$ м при различных расстояниях h между стержнем и датчиком.

a — $h = 0.6$ м; b — $h = 1.0$ м; c — $h = 2.0$ м.

в воздухе, причем вплоть до значений крутизны фронта импульса напряженности около 50 кВ/мкс эта скорость не чувствительна к изменению длительности фронта воздействующего импульса. В дальнейшем скорость стримерной короны линейно нарастает по мере увеличения крутизны импульса напряженности.

Измерения напряженности электрического поля показывают, что пространственно-временная картина изменения электрического поля в разрядном промежутке определяется динамикой объемного заряда стримерной короны [3,4]. Максимальное значение напряженности электрического поля достигается внутри стримерной короны и равно 5 кВ/см. Момент времени достижения этого максимума для различных положений датчика определяется скоростью распространения фронта ионизации стримерной короны и зависит от расстояния между датчиком и стержнем. Ско-

рость распространения фронта стримерной короны определялась по измерениям электрического поля в трех различных точках внутри стримерной короны. На рис. 1 представлены осциллограммы напряженности электрического поля внутри стримерной короны, возникающей в промежутке стержень-плоскость длиной $H = 6$ м при воздействии аперидического импульса напряжения с соотношением длительностей фронта и импульса $15/7500$ мкс. Длина стримерной короны в момент зарождения лидера в данном случае составляет $l_{\text{стр}} \simeq 2$ м [4]. Датчик располагался на расстояниях $h = 0.6$ м, 1.0 м, 2.0 м от конца высоковольтного электрода на осевой линии разрядного промежутка. Видно, что с удалением датчика от конца стержня время достижения максимального значения напряженности электрического поля t_1 увеличивается и составляет 3, 5 и 10 мкс соответственно. Из осциллограмм следует, что скорость распространения границы стримерной короны практически не изменяется с расстоянием вдоль направления распространения и равна $v_{\text{стр}} \simeq 20$ см/мкс. Напряженность электрического поля за фронтом ионизации стримерной короны также не изменяется с удалением от конца стержня и составляет 5 кВ/см. Отметим, что постоянство напряженности электрического поля по длине стримерной короны приводит к линейной зависимости скорости распространения границы короны от крутизны фронта воздействующего импульса напряжения, которая наблюдалась также в экспериментах [2]. Действительно, падение напряжения на длине стримерной короны можно представить в виде

$$U = \int_0^{l_{\text{стр}}} E_{\text{стр}} dl. \quad (1)$$

Поскольку напряженность электрического поля $E_{\text{стр}}$ не зависит от длины стримерной короны $l_{\text{стр}}$, то для скорости распространения фронта стримерной короны получаем выражение

$$v_{\text{стр}} = \frac{dl_{\text{стр}}}{dt} = \frac{1}{E_{\text{стр}}} \cdot \frac{dU}{dt}. \quad (2)$$

Так, для импульса воздействующего напряжения $15/7500$ мкс крутизна фронта dU/dt приблизительно равна 100 кВ/мкс. Подставляя в (2) значение $E_{\text{стр}} = 5$ кВ/см и $dU/dt = 100$ кВ/мкс, получаем, что скорость $v_{\text{стр}}$ равна 20 см/мкс, т.е. согласуется с измеренным значением. Отметим, что скорость распространения границы стримерной

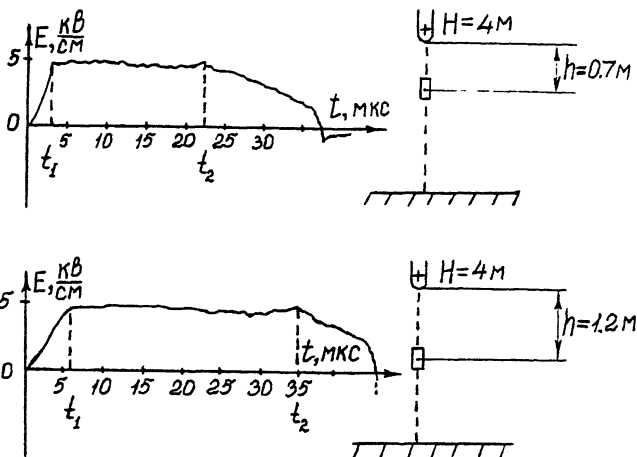


Рис. 2. Осциллограммы напряженности электрического поля в разрядном промежутке длиной $H = 4$ м при воздействии импульса напряжения 15/7500 мкс.

а — $h = 0.7$ м, б — $h = 1.2$ м.

короны, измеренная по движению фронта оптической светимости, также равна этой же величине [2].

Осциллограммы электрического поля содержат также информацию о скорости распространения лидера $v_{л}$. На рис. 2 представлены осциллограммы напряженности электрического поля на различных расстояниях h от конца стержня внутри стримерной короны. Момент времени t_2 совпадает с моментом достижения головкой лидера датчика. Далее напряженность электрического поля начинает уменьшаться. При удалении датчика от конца стержня время t_2 растет. Поэтому по разности времен достижения головкой лидера датчика можно определить скорость распространения лидера $v_{л}$ в свободной стадии его развития. Так, в случае воздействия импульса напряжения 15/7500 мкс из осциллограмм следует, что скорость лидера равна $v_{л} \approx 4.1$ см/мкс. Отсюда же можно оценить время зарождения лидера $t_{з.л.} = t_2 - h/v_{л}$.

Из рисунков следует, что время $t_2 \approx 23$ мкс при $h = 0.7$ м и $t_2 \approx 35$ мкс при $h = 1.2$ м, т.е. время зарождения лидера составляет $t_{з.л.} \approx 5 \div 6$ мкс.

Таким образом, скорости распространения фронта светимости и фронта пространственного заряда стримерной короны совпадают между собой и зависят от крутизны фронта воздействующего напряжения. Напряженность электрического поля внутри положительной стримерной короны составляет 5 кВ/см и сохраняется практически вдоль всей ее длины. Полученные результаты могут быть полез-

ны при разработке физической модели стримерной короны в атмосферном воздухе.

Список литературы

- [1] *Hidaka K., Murooka Y.* // Trans. IEEE of Japan. 1983. V. 103-A. N 5. P. 9-16.
- [2] *Горин Б.Н., Шкилев А.В.* // Электричество. 1974. № 2. С. 29-38.
- [3] *Куцаенко В.В., Лупейко А.В., Петров Н.И., Черное Е.Н.* // Письма в ЖТФ. 1989. Т. 15. № 23. С. 53-56.
- [4] *Chernov E.N., Lupeiko A.V., Petrov N.I.* // Proc. 7-th Int. Symp. on High Voltage Eng. Dresden. 1991. V. 7. P. 141-144.

Поступило в Редакцию
16 сентября 1993 г.
