

РАДИОИЗЛУЧЕНИЕ ЛАВИНО-СТРИМЕРНОГО РАЗРЯДА

В.С. Сысоев¹, Ю.А.Кузнецов¹, Д.И.Сухаревский¹, М.Ю.Наумова¹, Н.М.Лепехин¹
Л.М.Макальский², А.В.Кухно²

¹ Российский Федеральный Ядерный Центр-ВНИИ технической физики им. академ. Забабахина, ВНИЦ 900, г. Истра, РФ

² НИУ Московский энергетический институт (ТУ), Москва

E-mail: v.s.sysoev@vniitf.ru

Стримерный разряд является формой электрического разряда, присутствующий в газах высокого давления. Реализуется в виде стримерной короны в устройствах высокого напряжения, высоковольтных линиях, при пробое длинных воздушных промежутков (в виде стримерной зоны канала лидера, обеспечивающего пробой). Присутствует как характерная форма разряда в линейных и высотных молниях, факельной форме коронного разряда, озонаторах и т.д.

Именно со стримерного разряда начинается зарождение и развитие разрядных процессов в грозовых облаках. Возникновение и развитие молниевое разряда (в том числе и межоблачного) связано также с этой формой электрического газового разряда.

Известно, что стримеры, предшественником которых являются электрические лавины, генерируют радиоизлучение (в мега и гигагерцовом диапазоне). Это излучение используется в системах грозопеленгации. Экспериментальное изучение радиоизлучения стримерных разрядов большой длины в естественных условиях (при грозе) сталкивается с большими техническими трудностями. Поэтому возможность изучения радиоизлучения стримеров в лабораторных условиях предоставляет большие экспериментальные возможности.

В работе для этих целей используется специально разработанный высоковольтный генератор лавино-стримерных разрядов [1], который позволяет получать стримерные разряды длиной до 15 см в импульсно-периодическом режиме. Применение специальной измерительной радиотехники (в диапазоне от единиц МГц до десятка ГГц) позволяет проводить измерения спектра излучения в этом диапазоне при развитии лавин и стримеров. При этом одновременно измеряются электрические и оптические характеристики стримерного разряда, что позволяет получить взаимосвязи между ними и генерируемым радиоизлучением.

В табл. 1 приведены некоторые характерные параметры стримерных разрядов для различных промежутков. На рис. 1 приведены фото электрических разрядов со стримерной формой в различных промежутках.

Созданный на Испытательном Центре ВНИИТФ ВНИЦ (г.Истра) (<http://www.vniitf.ru/velk-business>) стенд для проведения научных исследований в области высоковольтной изоляции, физики молнии, молниезащиты стенд позволяет проводить такие экспериментальные исследования по исследованию характеристик стримеров в лабораторных условиях. На нем возможна также калибровка и испытание различные системы грозопеленгации, в которых, как правило, для определения координат разряда канала молнии, используется радиоизлучение стримеров (диапазон 10÷300 МГц).

На стенде имеются три установки, на которых можно создавать стримерные разряды разной длины и исследовать их радиоизлучение:

1. генератор импульсных напряжений Маркса с амплитудой до 6 МВ, позволяющий создавать многометровые искры, в процессе развития которых возникает так называемая стримерная зона, состоящая из множества стримеров (длиной до 10 м),
2. физическая модель грозовой ячейки, позволяющая получать одноэлектродные искровые разряды из облака заряженного водного аэрозоля, в том числе длинные стримеры (до 2м).
3. высоковольтный наносекундный генератор, позволяющий получать стримерные разряды (положительной полярности) длиной до 15 см в импульсно-периодическом режиме.

Параметры разряда стримерной формы	Длина	Скорость	Ток	Электр. поле в промежутке	Промежуток
Источник стримеров					
1. Молниевый разряд (стримерная зона лидера молнии)	10 – 100 м	более 100см/мкс		до 3 кВ/см	промежуток грозовое облако - земля
2. Искровой пробой длинных воздушных промежутков положительной полярности (стримерная зона лидера)	1-10 м	10-100 см/мкс	Ток лидера 0,1- 5 А	5 кВ/см	промежуток стержень- плоскость
3. Разряды с заряженного водного аэрозоля (модель грозовой ячейки)	0,5 ÷ 5 м	10÷100 см/мкс	0,1÷1 А	до 15 кВ/см	промежуток заряженный аэрозоль - плоскость
4. Факельный (лавино-стримерный) коронный разряд	1 – 15 см	10- 20 см/мкс			Провод – плоскость



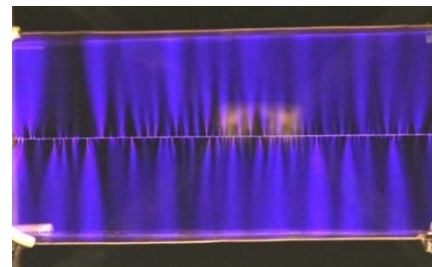
а)



б)



1. молниевый разряд



2. Длинная искра (1-30 м)

3. Модель грозовой ячейки (0,1-3м)

4. Лавино-стримерный разряд 0,05-0,15 м

Рис.1. Разряды со стримерной формой в промежутках различной длины.

На первом этапе эксперименты по регистрации радиоизлучения стримерного разряда проводились для варианта 4 (табл.1) с длиной стримеров 7 см в импульсно-периодическом режиме. Применяемые измерительные приборы позволяли проводить синхронные измерения электрических (ток, напряжение), оптических (цифровой фотоаппарат, скоростная камера 4 Picos, электронно-оптический преобразователь, фотоумножители).

Применение специальных измерительных радиотехнических приборов (в диапазоне от единиц МГц до 10 ГГц)

- анализатора спектра Agilent E4407B, 9 kHz ÷ 27 GHz,
- измерительного приемника Tektronix RSA306, 9 kHz ÷ 6,2 GHz),

позволяет измерять характеристики стримерного радиоизлучения синхронно с записями их электрических и оптических характеристик. Отметим, что это позволяет устанавливать взаимосвязи между параметрами радиоизлучения стримеров и их электрическими и оптическими характеристиками.

На рис.2 представлена блок схема экспериментальной установки, на рис.3 – некоторые результаты измерений.

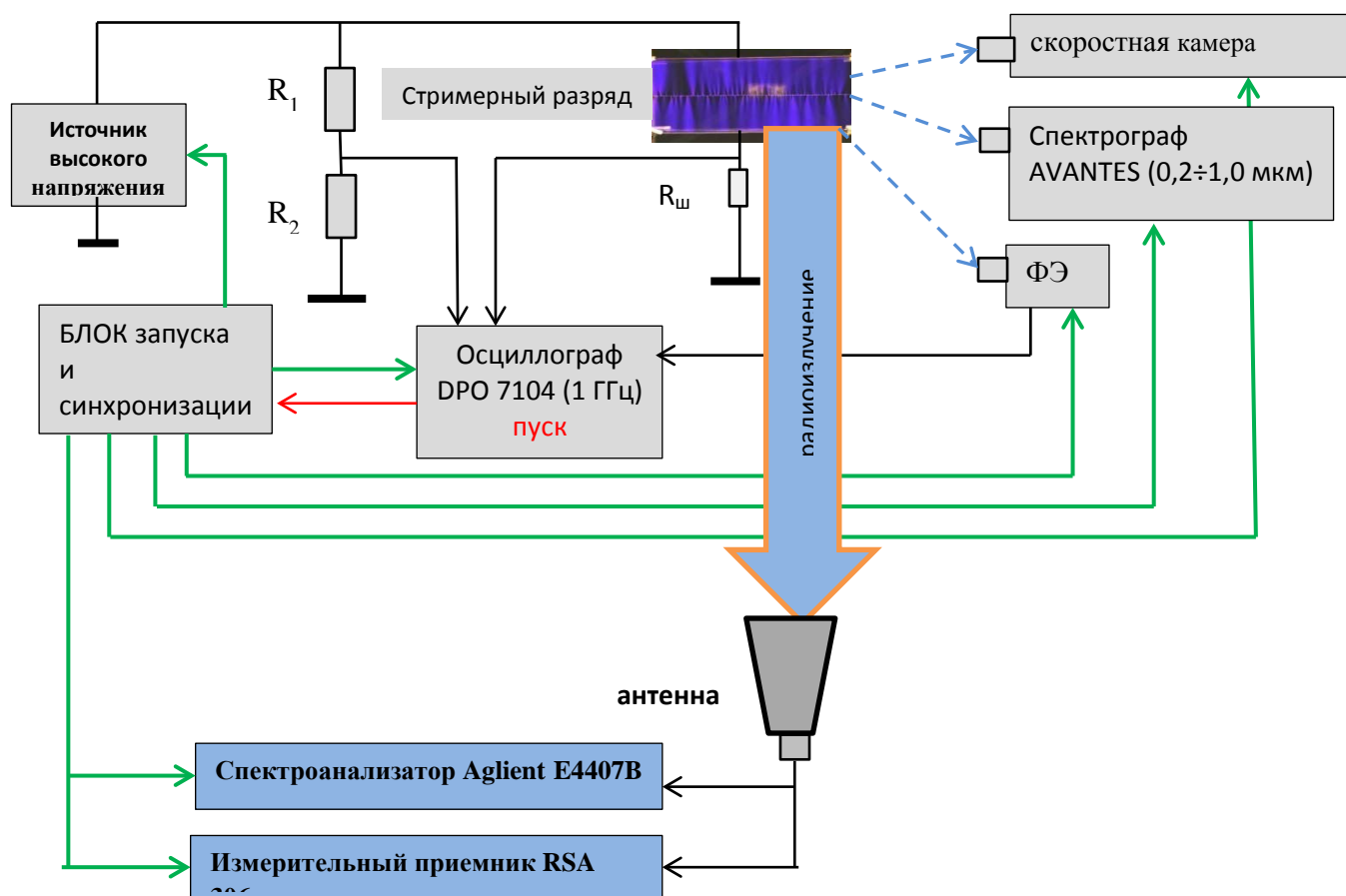
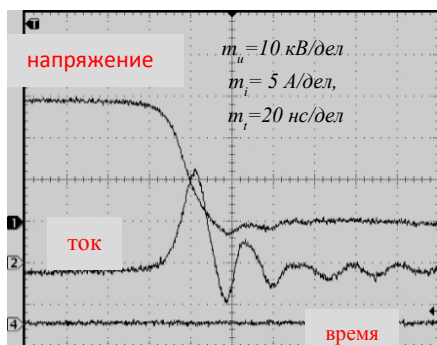


Рис. 2. Блок - схема экспериментальной установки

Примеры результатов измерений электрических и оптических характеристик стримерного разряда даны на рис. 3



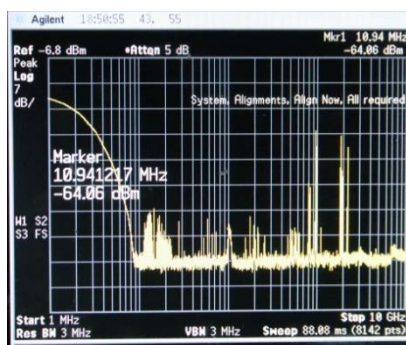
а)



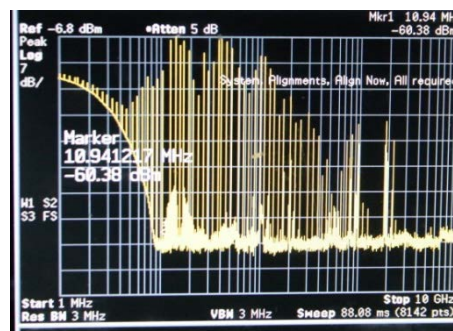
б)

Рис.3. а) -электрические параметры, б) -оптический спектр стримерного разряда

На рис.4 приведен пример измерения с помощью анализатора спектра Agilent E4407B (в диапазоне 10 МГц ÷ 10ГГц). Рис. 4а - фоновый режим (импульсы большой амплитуды слева - сотовые радиостанции). Рис.4б –при включении лавино- стримерного разряда [1] в импульсно-периодическом режиме. Частота лавино-стримерного разряда составляла 1 кГц. Напряжение в промежутке + 45 кВ.



а)



б)

Рис.4. Измерения на спектроанализаторе Agilent. а) фоновое излучение и собственные шумы, б) радиоизлучение лавино-стримерного разряда.

Измерения показали, что максимальная мощность радиоизлучения лавино-стримерного разряда лежит в диапазоне 10 ÷ 500 МГц. При этом наблюдается достаточно сильное излучение и в диапазоне 1 ÷ 3 ГГц. Полученные результаты согласуются с данными [3].

Работа выполнена на Уникальной научной установке «Комплексный высоковольтный стенд» <http://www.ckp-rf.ru/usu/73578/> при поддержке Российского научного фонда (грант 19-19-00501).

Литература

1. В.С.Сысоев, Ю.А.Кузнецов, М.У.Булатов и др. Экранирующее воздействие плазмы электрического лавино-стримерного разряда на электромагнитное излучение в СВЧ диапазоне. XIII Международная конференция «Забахинские научные чтения». 20÷24 марта 2017г., Снежинск, Челябинская область, Россия, 3-42, с.145÷146.
2. Болотов В.Н., Ткач Ю.В. // Электромагнитные Явления, 2003, Т.3, № 2 (10), С.236÷255.
3. Feng Shi, Ningyu Liu, Joseph R.Dwyer, Kevin M.A.Ihaddadene. VHF and UHF Electromagnetic Radiation Produced by Streamers in Lightning. Doi:10.1029/2018GL080309.