

Радиоизлучение стримерной составляющей электрического пробоя в длинных воздушных промежутках

Сысоев В.С.¹, Наумова М.Ю.¹, Швец Н.Н.^{1,3}, Басов Е.В.^{2,3}, Орлов А.И.¹, Сухаревский Д.И.¹, Лепехин Н.М.¹, Кузнецов Ю.А.¹, Макальский Л.М.⁴

¹ ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ», ВНИЦ, Истра, Россия

² ВЭИ - филиал ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ», Москва, Россия

³ МГИМО (Университет) МИД России, Москва, Россия

⁴ НИУ «Московский энергетический институт», Москва, Россия

Исследования взаимодействия электромагнитного излучения УВЧ и СВЧ диапазона с ионизованными зонами в атмосфере Земли (грозовые облака, молния, ионосфера) имеют большое значение для лучшего понимания процессов распространения радиоволн. Результаты таких исследований важны для практических приложений, таких как радиосвязь, радиолокация, радионавигация и являются актуальными. Ослабление сигналов, хаотические изменения их амплитуды, фазы, поляризации и направления распространения, обусловленные как объемными эффектами в среде, так и возникающими из-за электроразрядной активности среды радиопомехами, приводят к нарушению работы приемно-передающих радиосистем разного назначения.

Проведение экспериментальных исследований непосредственно в грозовых облаках сопряжено с серьезными техническими трудностями. Поэтому ценность, наряду с натурными измерениями, представляют данные по этому направлению, полученные в лабораторных модельных экспериментах. Лабораторное моделирование является крайне перспективным подходом, однако для проведения таких экспериментальных исследований, помимо специальной приемной радиоаппаратуры высокочастотного диапазона, необходимы специализированные исследовательские установки, обеспечивающие физическое моделирование ионизованных зон в сильнозаряженных средах грозовых облаков. Как правило, такие ионизованные зоны создаются стримерными разрядами.

Области пространства, заполненные стримерными разрядами, ослабляют СВЧ сигналы в сантиметровом и миллиметровом диапазоне. При этом в атмосфере в условиях электроразрядной активности грозовых облаков также возникает СВЧ радиоизлучение, которое определяется стримерными процессами во всей их динамике [1].

Известно [2], что разрядные стримерные процессы, генерируют собственное высокочастотное радиоизлучение, максимум которого находится в диапазоне 10-700 МГц.

Также экспериментально установлено, что стримеры, возникающие в среде с сильнозаряженными дисперсными частицами, характерными для облака, способны генерировать радиоизлучение в форме сверхкоротких (наносекундных) импульсов с частотным спектром, простирающимся до 10 ГГц [3]. Эти данные получены в лабораторных исследованиях благодаря применению специальной регистрирующей аппаратуры, включая импульсные измерительные преобразователи электромагнитного поля и осциллографическую технику с полосой до 12,5 ГГц.

Отметим, что источниками радиопомех служат не только стримерные разряды в грозовых облаках, но и разрядные процессы, возникающие непосредственно на объектах радиосвязи – например, на антеннах при высокой электрической активности в атмосфере, а также при электризации летательных аппаратов.

Таким образом, информация о радиоизлучении стримеров в высокочастотном диапазоне является важной с точки зрения обеспечения надежности радиоканалов, поиска путей подавления или предупреждения возникновения помех из-за электроразрядной активности, диагностики состояния атмосферы и объектов техники по их радиоизлучению.

В работе приведены результаты измерений радиоизлучения стримерных разрядов, возникающих из сильнозаряженных дисперсных сред (водяных капель) и при развитии длинной электрической искры в лабораторных условиях.

Эксперименты проводились на двух уникальных научных установках исследовательского стенда [4], описание которых приведено в работах [3,5].

На первой установке [5], исследовалось СВЧ излучение разряда в форме искры длиной до 15 м на установке генератор Маркса ГИН-6МВ, моделирующей лидер молнии. Установка позволяет в лидерной фазе пробоя длинной искры реализовать стримерные области в несколько метров длиной. Эксперименты позволили получить данные по СВЧ излучению такой длинной искры, в том числе от стримерной зоны лидерной фазы (см. рисунок).

На второй специализированной компактной лабораторной установке, моделирующей грозовую ячейку, проведено экспериментальное исследование свойств радиоизлучения стримерного разряда, возникающего из сильнозаряженной дисперсной фазы. Измерения проводились с помощью специальной осциллографической техники (с полосой до 12,5 ГГц) и измерителями электрического и магнитного поля наносекундного диапазона [3]. Получены спектры стримерных разрядов длиной 1,5 м, в которых наблюдаются составляющие вплоть до 10 ГГц.

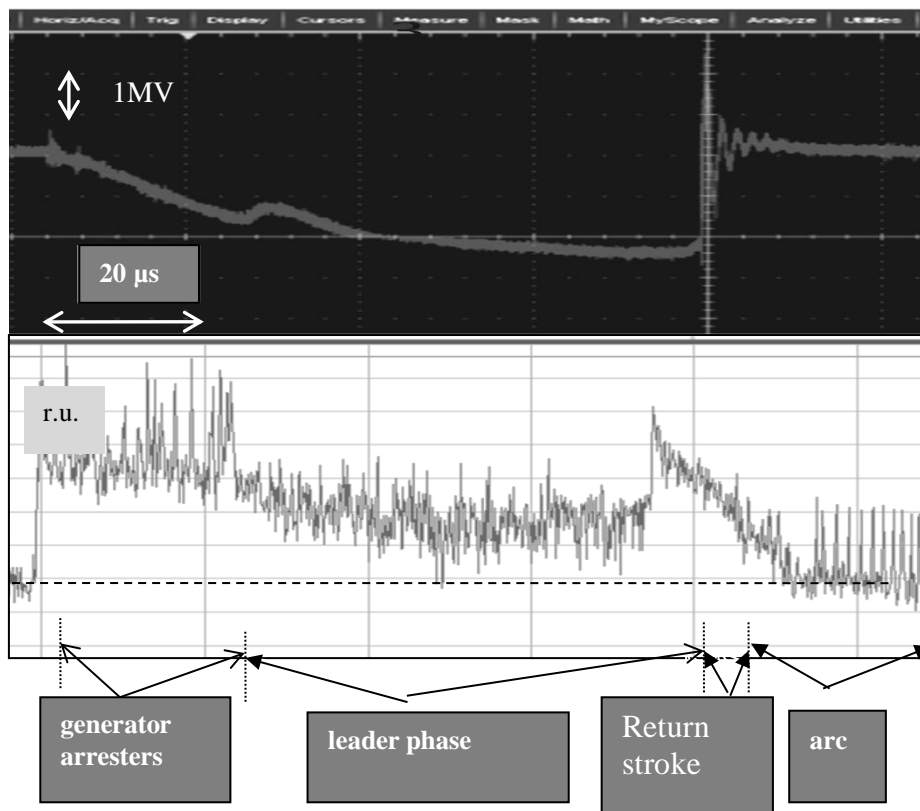


Рисунок. Осциллограммы радиоизлучения, зафиксированные измерительным приемником RSA 306 (ширина полосы 40 МГц) из длинной отрицательной искры в промежутке стержень–плоскость длиной 6 м. Синхронные измерения радиоизлучения на частоте 300 МГц. Верхняя кривая – напряжение на промежутке, нижняя – осциллограмма радиоизлучения в разных фазах разряда. Развертка по времени 20 $\mu\text{s}/\text{div}$. Взято из [5].

Показано, что возникающее радиоизлучение при разряде в форме длинной искры из заряженной дисперсной фазы может иметь форму сверхкоротких импульсов. Установлено, что интенсивные СВЧ сигналы возникают от стримеров на стадии формирования длинной искры и нарастания тока; эти сигналы имеют форму сверхкоротких наносекундных импульсов электромагнитного излучения. Получено, что наиболее интенсивные СВЧ сигналы имеют характер широкополосных электромагнитных импульсов, возникающих на фронте нарастания тока при переходе пробоя в лидерную стадию. Момент появления СВЧ импульсов с шириной частотного спектра до 4–6 ГГц соответствует встрече стримеров, распространяющихся сверху (от заряженного облака) и снизу (от заземленного электрода) при формировании ступенчатого лидера.

Таким образом, собственное электромагнитное излучения стримерных разрядов может создавать сильную помеху для СВЧ каналов в полосе частот до 1–6 ГГц, что имеет большое значение для решения вопроса надежного распространения сигнала средств связи в диапазоне СВЧ через грозовые облака. Стримерный разряд сопровождается электромагнитным излучением в широком частотном диапазоне. Учет этого факта важен

для решения прикладных задач по обеспечению устойчивой работы средств связи в диапазоне от десятков МГц до десяти ГГц.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 19-19-00501).

Список литературы

1. Rakov V. A., Uman M. A. Lightning: Physics and effects. — Cambridge: University Press, 2003. 687 p.
2. Сысоев В.С., Макальский Л.М., Кузнецов Ю.А. Наумова М.Ю. Параметры электрических разрядных процессов в сверхдлинных воздушных промежутках, влияющих на процесс генерации в них СВЧ излучения. Забабахинские научные чтения: сборник материалов XV Международной конференции 27 сентября – 1 октября 2021г. Снежинск: Издательство РФЯЦ – ВНИИТФ, 2021г. – 302 с. ил. (2021 г.)
3. Gushchin M.E., Korobkov S.V., Zudin I.Yu., Nikolenko A.S., Mikryukov P.A., Syssoev V.S., Sukharevsky D.I., Orlov A.I., Naumova M.Yu., Kuznetsov Yu.A., Belov A.S. ,Shvets N.N. and Mareev E.A. Nanosecond electromagnetic pulses generated by electric discharges: observation with clouds of charged water droplets and implications for lightning/ Geophysical Research Letters ,2021,том 48,вып. 7
4. www.ckp-rf.ru/usu/73578/
5. Сысоев В.С., Кузнецов Ю.А., Наумова М.Ю., Орлов А.И., Сухаревский Д.И., Лепехин Н.М., Швец Н.Н., Макальский Л.М., Кухно А.В., Гущин М.Е., Мареев Е.А. Стенд для исследования радиоизлучения длинной электрической искры. Письма в ЖТФ, 2022, том 48, вып. 8.

Авторы:

Сысоев Владимир Степанович – начальник группы, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, ФГУП «Российский Федеральный Ядерный Центр – Всероссийский научно – исследовательский институт технической физики им. академ. Е.И. Забабахина» (РФЯЦ-ВНИИТФ), г. Истра, Россия, тел.: 8(903)1546651, e-mail: v.s.sysoev@vniitf.ru.

Наумова Мария Юрьевна – радиоинженер, ФГУП «Российский Федеральный Ядерный Центр – Всероссийский научно – исследовательский институт технической физики им. академ. Е.И. Забабахина» (РФЯЦ-ВНИИТФ), г.Истра, Россия, тел.: 8 9031546650, e-mail: vladis5349@mail.ru

Швец Николай Николаевич – советник директора, доктор экономических наук, ФГУП «Российский Федеральный Ядерный Центр – Всероссийский научно – исследовательский институт технической физики им. академ. Е.И. Забабахина» (РФЯЦ-ВНИИТФ), г.Истра, Россия, тел.: 8(910)440-70-38

Басов Евгений Валерьевич – главный специалист, кандидат технических наук, Всероссийский электротехнический институт (ВЭИ) – филиал ФГУП «Российский Федеральный Ядерный Центр – Всероссийский научно – исследовательский институт технической физики им. академ. Е.И. Забабахина» (ВЭИ - филиал РФЯЦ-ВНИИТФ), г. Москва, Россия, тел.: 8(903)1546651

Орлов Александр Иванович – научный сотрудник, кандидат технических наук, ФГУП «Российский Федеральный Ядерный Центр – Всероссийский научно – исследовательский институт технической физики им. академ. Е.И. Забабахина» (РФЯЦ-ВНИИТФ), г. Истра, Россия, тел.: 8 963 993 4772

Сухаревский Дмитрий Иванович – старший научный сотрудник, ФГУП «Российский Федеральный Ядерный Центр – Всероссийский научно – исследовательский институт технической физики им. академ. Е.И. Забабахина» (РФЯЦ-ВНИИТФ), г. Истра, Россия, тел.: 89031171004

Лепёхин Николай Михайлович – начальник отдела, кандидат технических наук, ФГУП «Российский Федеральный Ядерный Центр – Всероссийский научно – исследовательский институт технической физики им. академ. Е.И. Забабахина» (РФЯЦ-ВНИИТФ), г. Истра, Россия, тел.: 8(910)440-70-38, e-mail: n.m.lepehin@vniitf.ru

Кузнецов Юрий Александрович – ведущий научный сотрудник, кандидат технических наук, Всероссийский электротехнический институт (ВЭИ) – филиал ФГУП «Российский Федеральный Ядерный Центр – Всероссийский научно – исследовательский институт технической физики им. академ. Е.И. Забабахина» (ВЭИ - филиал РФЯЦ-ВНИИТФ), г. Москва, Россия, тел.: 8(916)8765354.

Макальский Леонид Михайлович, доцент, кандидат технических наук, Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва, Россия, тел. 89037378258, e-mail: mak1306@mail.ru