

Возбуждение изолированной штыревой антенны сильноточным РЭП

Н.И. Гапоненко, А.М. Горбань, Д.В. Горожанин, В.И. Курилко,
С.М. Латинский, Ю.Ф. Лонин, И.Ф. Харченко

Институт плазменной электроники и новых методов ускорения
ННЦ "Харьковский Физико-Технический Институт",
Украина, 61108, г. Харьков, ул. Академическая, 1

Содержание

1. Введение	79
2. Экспериментальная часть	79
3. Выводы	81

Abstract

This paper considers a possibility of generation and emission of nanosecond pulse-width electromagnetic signals via direct excitation of the antenna systems by high-current relativistic electron beam (REB). An experimental study is made on the emission characteristics during REB interactions with flagpole antennas of different lengths. This antenna excitation technique shows much promise in efficiency generation of highintensity ultrawide band signals.

1. Введение

Проблема генерации и излучения высокоинтенсивных электромагнитных импульсов, в том числе мощных сверхширокополосных сигналов (СШП), является актуальной для целого ряда приложений. В частности, СШП-сигналы могут быть эффективно использованы для приповерхностной интроскопии Земли, геологоразведке морского шельфа, радиолокации и т.п. [1], где традиционное высокочастотное зондирование малоэффективно.

Методы генерации мощных короткоимпульсных СВЧ-сигналов, основанные на традиционных схемах преобразования энергии релятивистских электронных пучков (РЭП) в энергию электромагнитного поля (ЭМП), характеризуются достаточно низкой эффективностью [2-4]. В середине 80-х годов экспериментально была показана возможность непосредственного преобразования энергии РЭП в энергию ТЕМ-волны коаксиальной структуры [5]. Предложенный способ генерации позволил осуществить излучение СВЧ сигнала с эффективностью порядка 40 – 50% путем трансформации энергии ТЕМ-волны в энергию электромагнитного поля,

излучаемого в свободное пространство.

Продолжением этих работ явилось исследование возможности прямого преобразования энергии РЭП в энергию излучения при возбуждении антенных устройств без промежуточной электродинамической структуры [6]. Такая схема представляется привлекательной для генерации и излучения интенсивных электромагнитных сигналов в СШП-диапазоне.

Целью данной работы является экспериментальное и теоретическое исследование возможности излучения мощных наносекундных импульсов ЭМП при возбуждении антенно-фидерного устройства (в частности, штыревой антенны) короткоимпульсным СРЭП, без предварительной его модуляции.

2. Экспериментальная часть

Экспериментальные исследования возбуждения штыревой антенны короткоимпульсным сильноточным релятивистским электронным пучком были проведены на установке, позволяющей формировать импульсы тока пучка с параметрами: $E = 0,5 - 1,5$ МэВ, $I = 5 - 15$ кА, длительностью до 15 нс, с фронтом $\sim 0,5 - 1$ нс.

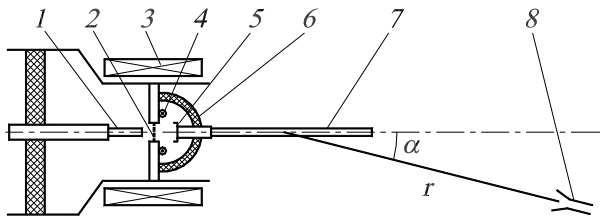


Рис. 1.

В экспериментах использовались штыревые антенны с длинами 1 – 3 м и диаметрами 10 – 20 мм. Поле излучения регистрировалось ТЕМ-рупором, расположенным на расстоянии около 5 м от середины излучающей антенны.

Схема эксперимента представлена на рисунке 1. Электронный поток вытягивается из катода (1) при подаче ускоряющего напряжения на анод-катодный промежуток. В качестве анода (2) использовалась нержавеющая сетка с прозрачностью 85%. Ток пучка регистрировался поясом Роговского (4). Для повышения электрической прочности и подформирования потока электронов использовалось магнитное поле напряженностью 0.5 – 1.5 кЭ, создаваемое катушками (3). Ток пучка замыкался на графитовый цилиндрический коллектор (5), расположенный на расстоянии 20 мм от анодной сетки и установленный на изоляторе полусферической формы, обеспечивающем необходимую электрическую прочность. Непосредственно к коллектору присоединялась штыревая антенна (7), длина которой в ходе эксперимента изменялась от 1 м до 3 м.

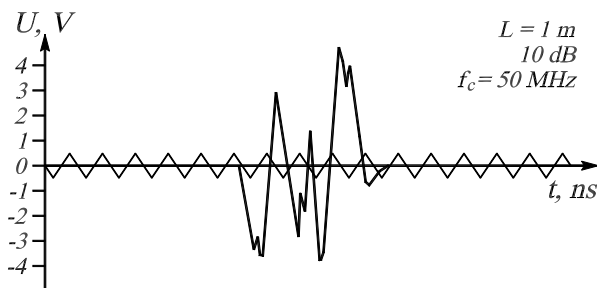


Рис. 2.

На раскрыве приемной антенны (8) входной импеданс равен 377 Ом, в области присоединения кабеля – 77 Ом, угол между осями излучающей и приемной антенн составлял 25 – 30°.

Целью проведенных экспериментов являлось исследование зависимости характеристик принимаемого сигнала от длины излучающей штыревой антенны. На рис. 2-4 представлены осциллограммы регистрируемых приемной антенной сигналов соответственно для длин штыря 1 м, 2 м, 3 м., на рис. 5 приведена осциллограмма тока пучка на кол-

ллектор. Для определения временного масштаба на рис. 2-5 показан калибровочный сигнал с периодом 20 нс.

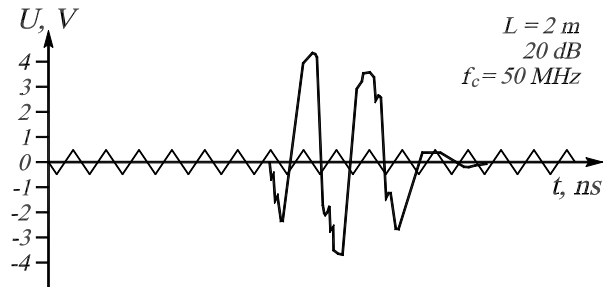


Рис. 3.

Как видно из рис. 2-4 регистрируемый приемной антенной сигнал представляет собой нерегулярные колебания с характерным периодом, по порядку величины соответствующим длительности тока пучка. Отчетливо видна зависимость характерного периода и амплитуды сигнала от длины излучающего штыря. Следует отметить, что регистрируемый сигнал аналогичен оптимальному сигналу для СШП-локации с $\mu = \delta f / f \approx 4 / N = 0.66$ [7]. Измеренное значение напряженности поля на раскрыве приемной антенны для 3-х метрового излучающего стержня составляет $\sim 10 - 30 \text{ В} \cdot \text{см}^{-1}$, а амплитуды сигналов, излучаемых антеннами с длинами 2 м и 3 м по сравнению с 1 м разнятся на 10 дБ и 15 дБ, соответственно. При этом наблюдается также увеличение характерного периода колебаний в соотношении $\tau_2 / \tau_1 \approx 1.3$ и $\tau_3 / \tau_2 \approx 1.3$, где τ_1, τ_2, τ_3 – характерные периоды сигналов, излучаемых антеннами с длинами 1 м, 2 м, 3 м, соответственно. Длительность излучения достаточно короткая, что характерно для видеоимпульсов.

Для анализа экспериментальных данных, была использована модель, предполагающая дипольный характер излучения. Такое приближение основывается на том, что в эксперименте характерная длина волны излучения много больше длины антенны $\lambda \gg L$. Тогда, используя измеренное значение напряженности электрического поля штыря в раскрыве приемной антенны, оценим характерное зна-

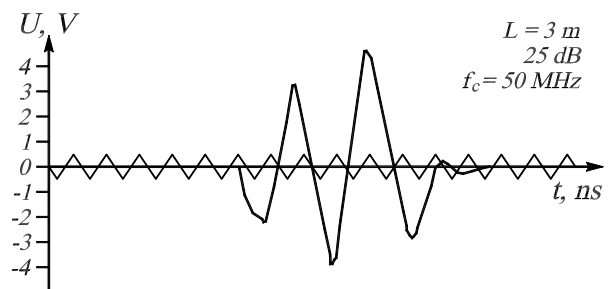


Рис. 4.

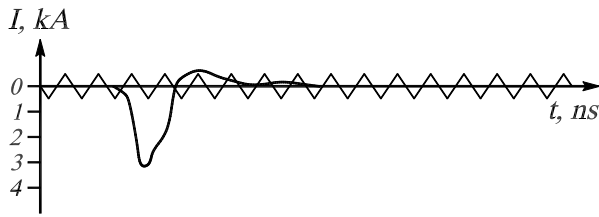


Рис. 5.

чение тока по штырю и излучаемую мощность. Выражения компонент напряженностей электрического и магнитного полей дипольной антенны для данного случая, лежащих в плоскости раскрыва приемной антенны, могут быть записаны в виде:

$$E = \frac{1k^2IL}{4\pi\omega\epsilon_0r} \sin \vartheta e^{i\omega t - ikr}$$

$$H = \frac{1k^2IL}{4\pi} \vartheta e^{i\omega t - ikr}$$

где I – ток в штыревой антенне, r – расстояние от центра штыря до приемной антенны, ϑ – угол между осями штыря и приемной антенны, ω и $k = 2\pi/\lambda$ – характерные частота и волновой вектор излучения штыря. Тогда, исходя из значений параметров $r \approx 4$ м, $\lambda \approx 12$ м, $\vartheta \approx 25^\circ$ для случая $L = 3$ м получаем, что характерный ток в штыревой антенне будет около 1 кА. Полная излучаемая мощность для указанных параметров составляет значение 10 – 20 МВт.

3. Выводы

Впервые экспериментально показана возможность формирования интенсивных электромагнитных импульсов наносекундной длительности при прямом возбуждении изолированной штыревой антенны мощным короткоимпульсным сильноточным РЭП. При этом, наблюдается рост характерного периода и амплитуды сигнала с увеличением длины излучающего штыря при сохранении длительности излучения.

Для выяснения механизма данного эффекта и определения оптимальных условий генерации необходимо проведение комплекса экспериментальных и теоретических исследований, которые планируются в дальнейшем.

Принято к публикации
24 июня 2000 года.

Список литературы

[1] Harmut H.F. Nonsinusoidal Wave for Radar and Radio Communications. New York / London/Toronto/Sydney/San-Francisco: Academic Press. - 1981.

[2] Сулакшин А.С. // ЖТФ. - 1983. - Т. 53, Вып. 11. - С. 56

[3] Диденко А.Н., Юшков Ю.Г., Мощные СВЧ-импульсы наносекундной длительности. // - М.: Энергоатомиздат. - 1984.

[4] Gadetskij N.P., Magda I.I., Naisteter S.I., Prokopenko Yu. V. and Chumakov V.I., // Plasms Phys. Rep. - 1993. - V. 19. - P. 273

[5] Friedman M., Krall J., Lau J.J., Serlin V. // Rev. Soc. Instr. - 1990.- V. 61, N 1. - P. 171.

[6] Гапоненко Н.И., и др. // ВАНТ. Серия "Ядерно-физические исследования". - 1997. - Вып. 4,5 (31,32). - С. 151

[7] Астанин Л.Ю., Костылев А.А., Основы сверхширокополосных радиолокационных измерений - М.: Радио и Связь. - 1989.