

04;09

Экспериментальные исследования излучения взрывных плазменных струй в СВЧ-диапазоне

© А.Х. Аджиев, В.А. Сошенко, О.В. Сытник

Государственное учреждение „Высокогорный геофизический институт“,
Нальчик
Институт радиофизики и электроники им. А.Я. Усикова НАН Украины,
Харьков
E-mail: ssvp11@ire.kharkov.ua

В окончательной редакции 5 апреля 2007 г.

Обнаружено электромагнитное излучение в СВЧ-диапазоне при возбуждении взрывной плазменной струи сигналом радиочастотного диапазона. Экспериментально исследованы взрывные плазменные струи при возбуждении их частотно-модулированным сигналом. Исследованы свойства сигналов, излученных взрывными плазменными струями. Получены оценки распределения длительностей излученных сигналов по частотному диапазону.

PACS: 52.35.-g, 52.77.Fv

Основные характеристики взрывных плазменных струй (ПС) получены при исследовании процессов, происходящих в каналах магнитогидродинамических генераторов [1]. Использование взрывных ПС в качестве антенн требует проведения дополнительных исследований, поскольку струя формируется в условиях открытого пространства при наличии внешних электромагнитных полей [2]. Нелинейные свойства плазмы [3] позволяют надеяться на возможность использования этого механизма для преобразования спектра возбуждающего сигнала взрывными ПС в высокочастотную область.

Для исследования излучающей способности плазмы в СВЧ-диапазоне была проведена серия экспериментов по возбуждению плазменной струи. Плазменная струя создавалась зарядом взрывчатого вещества (ВВ), которым был заполнен алюминиевый цилиндр диаметром 50 mm, длиной 250 mm при толщине стенок 10 mm.

Одиночный импульсный сигнал для возбуждения взрывной плазменной струи формировался непосредственно с использованием энергии

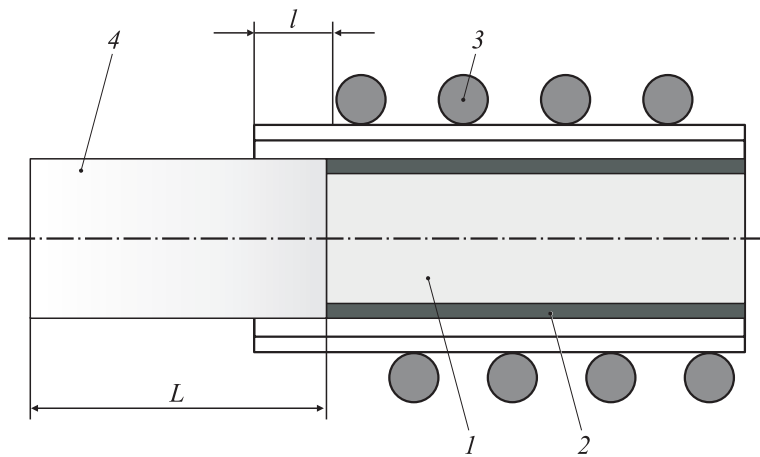


Рис. 1. Схема генератора.

взрыва. Возбуждающий сигнал формировался колебательным контуром, состоящим из катушки индуктивности диаметром 90 мм, расположенной поверх цилиндра с ВВ и подключаемым в процессе работы конденсатором.

На рис. 1 показана конструктивная часть генератора (конденсатор не показан) в момент подрыва ВВ 1, но до начала формирования возбуждающего сигнала. Здесь 2 — алюминиевый цилиндр, заполненный ВВ; 3 — витки катушки, по которой протекает начальный ток; 4 — развивающаяся плазменная струя. По мере развития детонационных процессов за счет деформации цилиндра происходит быстрое уменьшение индуктивности катушки 3, что приводит к развитию значительных амплитуд тока в катушке. На рис. 2 показана зависимость тока в катушке генератора от времени.

Цилиндр и катушка смещены относительно друг друга по оси цилиндра таким образом, что цилиндр выступает относительно последнего витка катушки на 40 мм. Это сделано для того, чтобы обеспечить задержку в формировании возбуждающего сигнала к моменту образования плазменной струи. Изначально конденсатор был заряжен до напряжения 20 кВ. В момент подрыва ВВ деформирующийся (со скоростью примерно 0,9 км/с) под действием детонационной волны цилиндр запускает генератор и формируется сигнал возбуждения, частота которого изменяется от 0,8 до 12 МГц за время порядка 17 мкс (рис. 2).

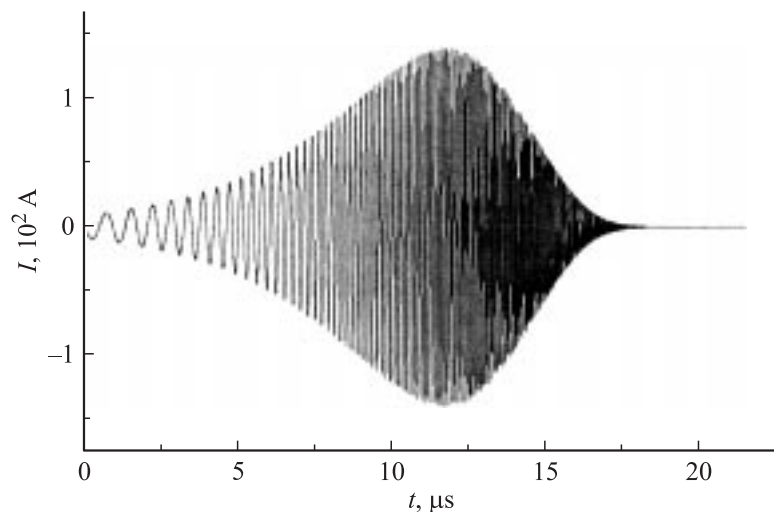


Рис. 2. Зависимость тока в катушке генератора.

Максимальная амплитуда тока, развиваемая в катушке, незначительно превышала 200 А.

Для измерения характеристик сигналов, излучаемых ПС, использовалась система измерителей параметров радиоимпульсов (ИПРИ) [4,5]. Параметры ИПРИ приведены в табл. 1. В ней приняты следующие сокращения: F — центральная частота полосы пропускания, W — энергия сигнала, P — пиковая мощность сигнала, T — длительность сигнала, Δf — полоса пропускания ИПРИ, N — максимальное количество измеряемых импульсов в одном цикле измерений.

Выбор полос анализа в ИПРИ обусловлен необходимостью анализа и регистрации характеристик однократных импульсных сверхширокополосных сигналов согласно диапазонам волн D, E, H, J , принятых в международной практике.

ИПРИ является цифровым прибором, в алгоритме работы которого предусмотрено, что запуск измерений осуществляется при превышении уровнем измеряемого сигнала некоторого порогового значения чувствительности. Пороговые значения спектральной плотности сигнала для ИПРИ приведены в табл. 2.

При изменении длины струи соотношение между мгновенной частотой сигнала генератора (рис. 2) и длиной плазменной антенны 4

Таблица 1.

F , GHz	1.3	2.8	6.55	9.38
W , nJ	0.1 ÷ 10.6	0.02 ÷ 4.8	0.6 ÷ 3.9	0.3 ÷ 3.7
P , W	0.01–0.7	0.02 ÷ 3.2	0.04 ÷ 3.4	0.04 ÷ 2.6
T , μ s	0.8 ÷ 17	0.6 ÷ 18	0.6 ÷ 18	0.7 ÷ 18
Δf , Hz	200	220	450	450
N	16	16	16	16

Таблица 2.

Частота, GHz	Пороговая спектральная плотность сигнала, J/Hz
1.38	$3 \cdot 10^{-22}$
2.8	$5.6 \cdot 10^{-22}$
6.55	$5.3 \cdot 10^{-22}$
9.38	$5.3 \cdot 10^{-22}$

(рис. 1) непрерывно меняется, что приводит к модуляции по амплитуде излучаемого сигнала. Прибор ИПРИ имеет порог срабатывания, определяемый минимальной регистрируемой мощностью сигнала, что приводит к регистрации не непрерывного сигнала, а последовательности импульсов в моменты, когда излучаемый антенной сигнал превышал порог.

Сигналы, излучаемые взрывной плазменной струей, оказались в диапазоне СВЧ, что при однократном характере процесса не позволило осуществить их регистрацию в виде осциллограмм. Результаты измерений представлены в виде гистограмм на рис. 3 и 4. На рис. 3 дано распределение по частоте количества измеренных импульсов, а на рис. 4 — их длительность. Черным фоном отмечены постоянно регистрируемые параметры. Серым фоном на гистограммах показан разброс измерений количества и длительности импульсов, фиксируемый в каждом из экспериментов.

Уточним особенности измеряемых с помощью ИПРИ параметров сигналов и алгоритм работы прибора. При уровне входного сигнала

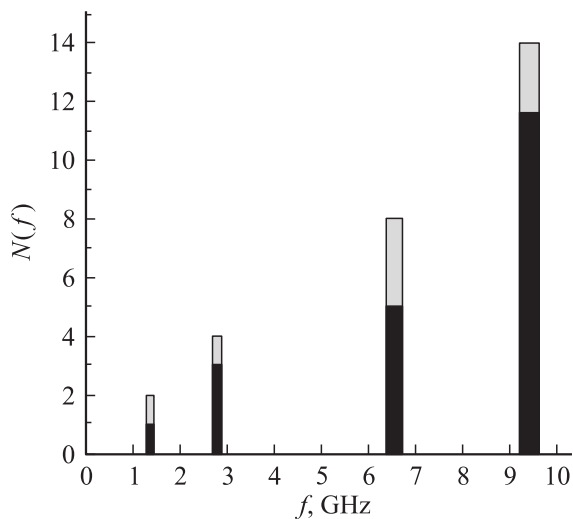


Рис. 3. Распределение импульсов по частоте.

больше порогового значения ИПРИ запускается в режим измерений. При этом на табло индикации выводятся минимальные значения энергии и пиковой мощности сигнала. Минимальная длительность импульса, необходимая для устойчивого запуска компаратора, равна 12 ns. Количество поступивших на вход прибора импульсов и их длительность измеряются в соответствии с характером сигнала.

При отсутствии возбуждающего сигнала каких-либо излучений не зарегистрировано, в то время как при наличии возбуждающего сигнала ИПРИ устойчиво фиксировали СВЧ-сигнал. Длина ПС в наших экспериментах за время существования возбуждающего сигнала увеличивалась примерно от 4 до 20 см, соответственно изменяя длину излучающей поверхности, что приводило к модуляции излучаемого сигнала по амплитуде. ИПРИ в разных частотных каналах регистрировали разное количество импульсов, превысивших порог чувствительности прибора. Чем больше длина струи, тем эффективнее излучаются более низкочастотные сигналы. Поэтому количество и длительность регистрируемых импульсов снижаются с уменьшением частоты. Нелинейные свойства ПС могут служить объяснением появления этих сигналов. Малая

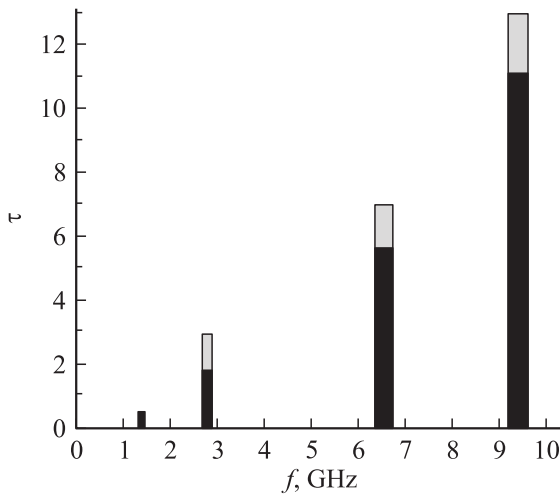


Рис. 4. Распределение длительности импульсов по частоте.

амплитуда излучаемого СВЧ-сигнала обусловлена высоким номером гармоники возбуждающего сигнала (1000 и больше).

Регистрация сигналов на приемных антеннах в СВЧ-диапазоне показала возможность использования взрывных ПС в качестве антенн, позволяющих трансформировать спектр возбуждающего сигнала в СВЧ-область.

Список литературы

- [1] *Фортос Е.В.* Взрывные генераторы мощных импульсов электрического тока. ВМГ. М.: Наука, 2002.
- [2] *Сошенко В.А., Сытник О.В., Тищенко А.С.* // II Междунар. радиоэлектронный форум „Прикладная радиоэлектроника“. Состояние и перспективы развития (МРФ’2005). Харьков, Украина. С. 121–124.
- [3] *Salin H.A., Tripathi V.K., Pandey B.K.* // Plasma Science. 2003. V. 31. P. 324.
- [4] *Altgilbers L.L., Ivanov V.C., Soshenko V.A.* // 11th Intern. Conf. on High-Power Electromagnetics: EUROEM’98. Book of Abstracts. 1998. P. 135.
- [5] *Сошенко В.А., Тищенко А.С.* // Технология приборостроения. 2003. № 2. С. 5–10.