

УДК 621.385.7

ИМПУЛЬСНО-ПЕРИОДИЧЕСКИЙ ГЕНЕРАТОР НА ОСНОВЕ РАЗРЯДА С ПОЛЫМ КАТОДОМ И АНТЕННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ИЗЛУЧЕНИЯ МОЩНЫХ РАДИОИМПУЛЬСОВ

© 2011 г. С. В. Булычев, А. Е. Дубинов, Д. В. Вялых, И. Л. Львов,
С. А. Садовой, С. К. Сайков, В. Д. Селемир

Российский федеральный ядерный центр – ВНИИ экспериментальной физики
Россия, 607188, Саров Нижегородской обл., просп. Мира, 37

Поступила в редакцию 15.02.2011 г.

Разработаны и испытаны генератор на основе разряда с полым катодом и излучающая система на основе угольной антенны для излучения периодической последовательности мощных в.ч.-радиоимпульсов. Параметры генерируемых и излучаемых радиоимпульсов: несущая частота 120 МГц, пиковая мощность 300 кВт, длительность импульса 1.2 мкс, частота следования импульсов 500 Гц.

В импульсных высоковольтных разрядах низкого давления в газоразрядных камерах с полым катодом может происходить полная модуляция разрядного напряжения на частоте, приходящейся на диапазон несколько десятков мегагерц. Это явление можно использовать для генерации мощных радиоимпульсов.

В статьях [1–3] (авторы из “Технион”, Израиль) представлены результаты первых разработок и исследований мощных генераторов радиоимпульсов на основе газоразрядных камер с полым катодом. Лучшие результаты (полученные, конечно же, в разных режимах) таковы: максимальная длительность радиоимпульсов 11.5 мкс, максимальная мощность 121 кВт, несущая частота 35–39 МГц, частота следования импульсов – до 100 Гц (Xe, при давлении 19–21 мТорр) [3].

Примерно с 2004 г. подобные генераторы начали разрабатываться и в РФЯЦ–ВНИИЭФ (Россия, Саров). Первые генераторы описаны в [4, 5], в них пиковая мощность радиоимпульсов дости-

гала уже мегаваттного уровня. Статья [6] представляет широкий обзор российских исследований, направленных на улучшение характеристик генераторов в.ч.-импульсов с полым катодом и на уточнение физических механизмов их работы. В ней описано целое семейство разборных газоразрядных камер разных размеров. На одной из камер при использовании воздуха в качестве рабочей среды получены следующие результаты (также в разных режимах): максимальная длительность радиоимпульсов 1.8 мкс, мощность 8 МВт, несущая частота 100–140 МГц, частота следования импульсов – до 1 кГц. В работах [7, 8] описаны отпаянные газоразрядные камеры с полым катодом, которые могут быть использованы в подобных генераторах радиоимпульсов.

Генераторы [1–8] работали на нагрузку в виде активного сопротивления. В данной работе описывается новый генератор радиоимпульсов на основе разряда с полым катодом, в котором в качестве нагрузки используется излучающая антенна.

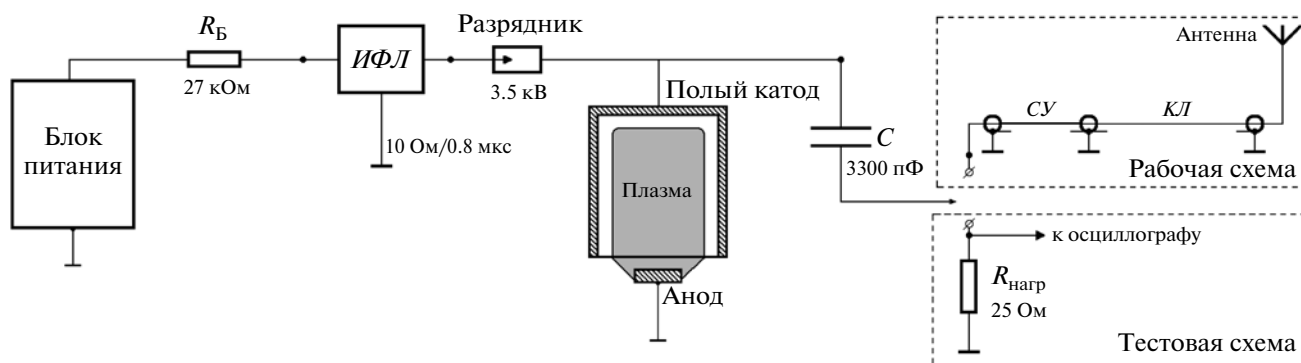


Рис. 1. Схемы подключения генератора к нагрузке (на вставках). ИФЛ – искусственная формирующая линия, СУ – согласующее устройство, КЛ – коаксиальная линия.

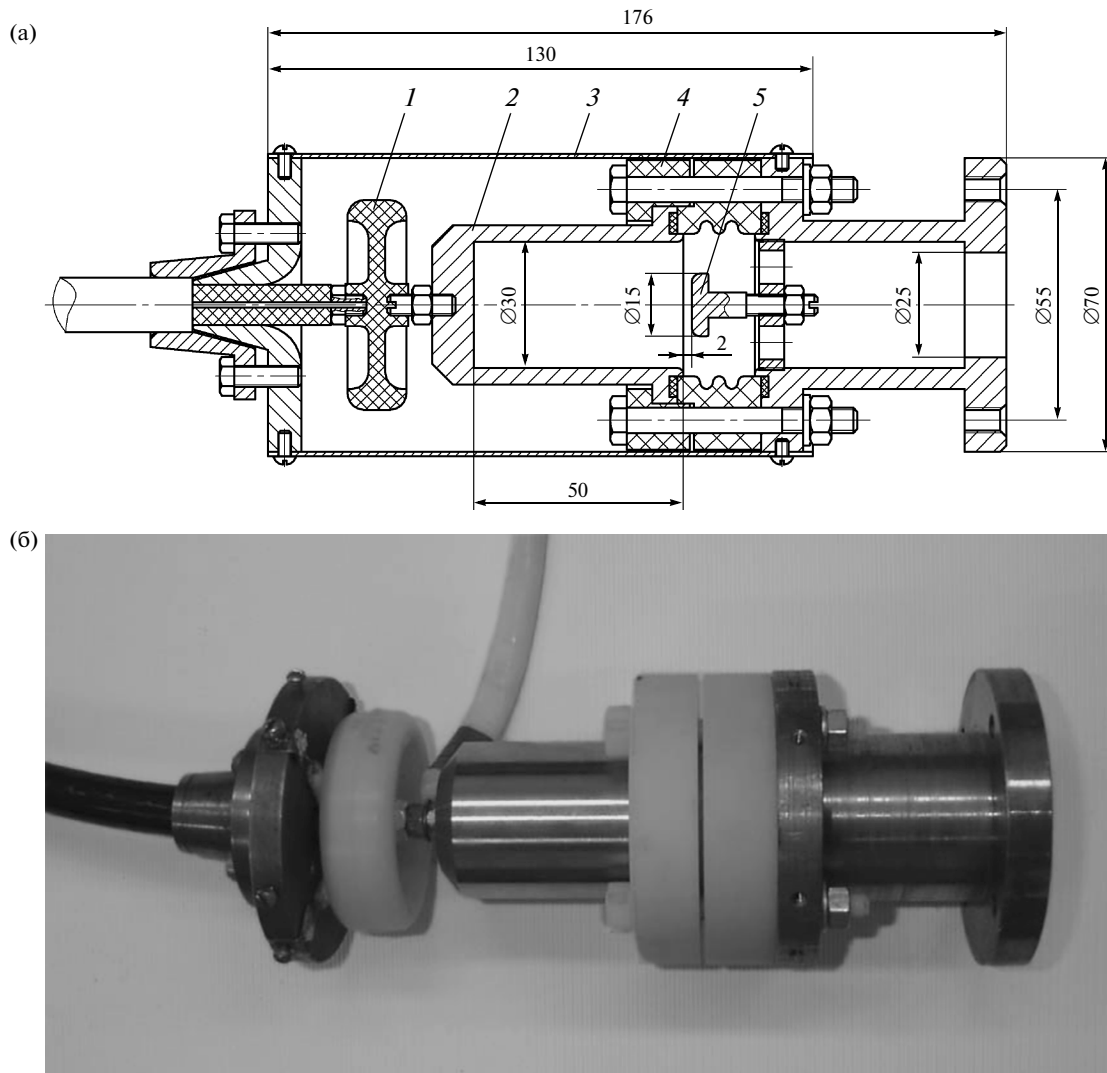


Рис. 2 а – конструкция газоразрядной камеры с полым катодом: 1 – разделительный конденсатор; 2 – полый катод; 3 – защитный кожух; 4 – высоковольтный изолятор; 5 – анод (размеры в мм); б – внешний вид камеры (защитный кожух снят).

Генератор испытывался в двух схемах подключения нагрузки: тестовая схема – генератор подключался к активной нагрузке; рабочая схема – генератор нагружался на излучающую антенну. Принципиальные схемы подключения генератора к активной нагрузке и к антенне представлены на рис. 1.

Общая часть в обеих схемах представляет собой последовательную цепочку: источник высоковольтного питания; импульсный амперметр; балластный резистор (номинал указан на рис. 1); искусственная формирующая линия *ИФЛ* (состоящая из 16 *LC*-звеньев), рассчитанная на волновое сопротивление 10 Ом и длительность импульса 0,8 мкс; высоковольтный разрядник ЕРСОС 3500; газоразрядная камера; разделительный высоковольтный конденсатор КВИ-3 (номинал указан на рис. 1).

Режим работы генератора в обоих случаях импульсно-периодический с частотой повторения импульсов 500 Гц.

Основу нового генератора составляет разборная газоразрядная камера с полым катодом, спроектированная для генерации радиоимпульсов с несущей частотой 120 МГц. Ее конструкция с указанием наиболее важных размеров и внешний вид показаны на рис. 2а, б. Камера состоит из катода 2, выполненного в виде полого цилиндрического стакана, анода 5 – в виде дискового электрода, размещенного вблизи открытого края катода. Оба электрода изготовлены из нержавеющей стали 12Х18Н10Т и отделены друг от друга высоковольтным изолятором. Рабочее давление воздуха в камере поддерживалось форвакуумным насосом вблизи 0,1 Торр.

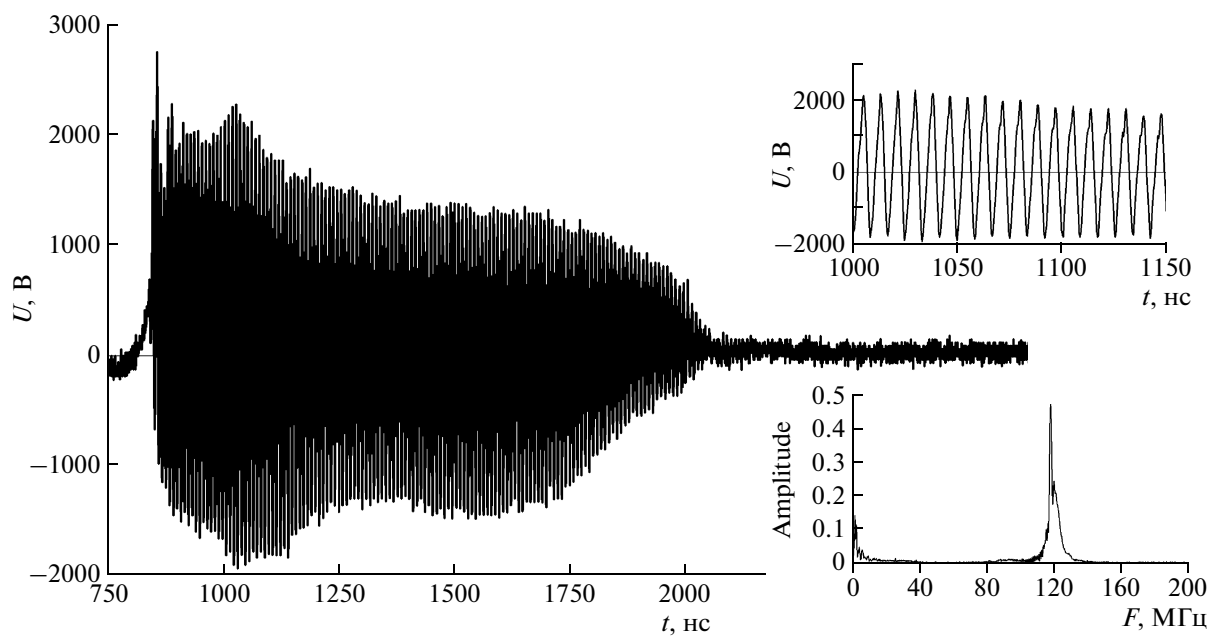


Рис. 3. Осциллограмма радиоимпульса на активной нагрузке (на вставке сверху – фрагмент радиоимпульса, внизу – его фурье-образ).

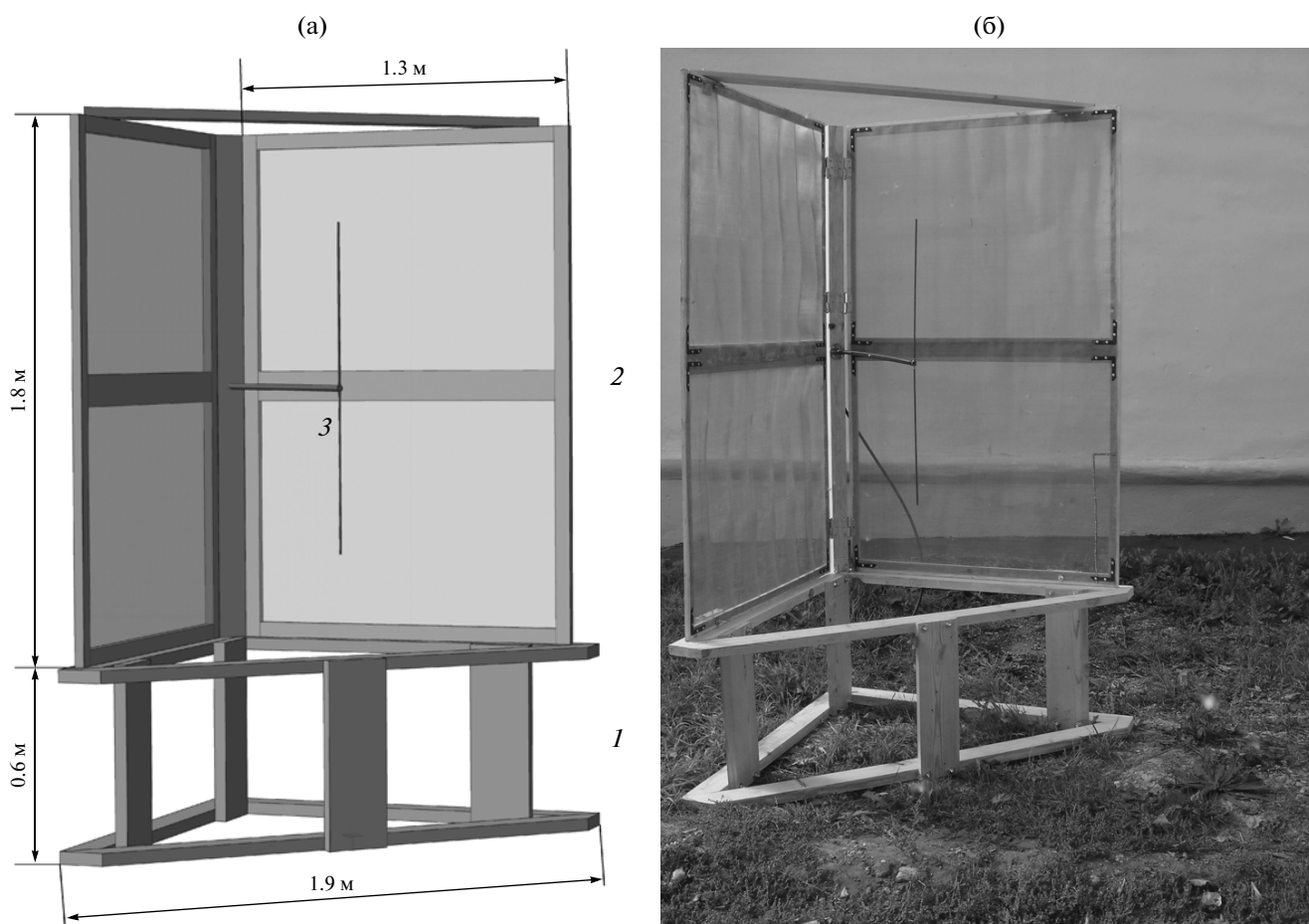


Рис. 4. а – конструкция угловой антенны (1 – подставка, 2 – угловой отражатель, 3 – облучатель); б – внешний вид антенны.

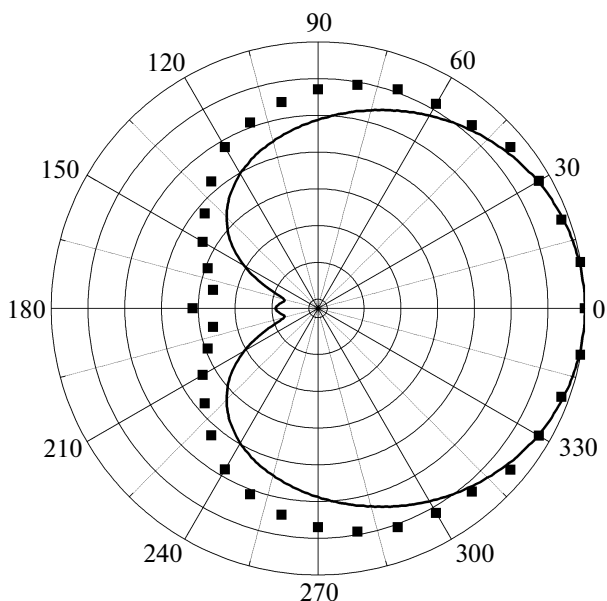


Рис. 5. Диаграмма направленности уголкового антенны: линия – расчет, точки – измерение.

Работает генератор следующим образом. После включения источника питания начинается зарядка искусственной формирующей линии и соответственно рост напряжения на разряднике. Когда напряжение на линии превысит рабочее напряжение разрядника, на электроды газоразрядной камеры поступит импульс напряжения, и в ней начнет формироваться газовый разряд с полым катодом (рабочее напряжение разрядника, как правило, в 2–3 раза превышает напряжение самопробоя в газоразрядной камере). В результате неустойчивости разряда напряжение разрядки

формирующей линии модулируется. Это приводит к формированию в нагрузке радиоимпульса большой мощности.

Установлено, что выходное сопротивление разряда составляло ≈ 3 Ом. При работе генератора по тестовой схеме включения он выдавал периодическую последовательность радиоимпульсов с пиковой мощностью до 300 кВт, которая определяется сопротивлением активной нагрузки (25 Ом) и напряжением срабатывания разрядника (3.5 кВ). Длительность радиоимпульса равна ~ 1.2 мкс, что превышает длительность разрядки формирующей линии. Типичная осциллограмма радиоимпульса на резистивной нагрузке и его фурье-образ показаны на рис. 3.

При включении генератора по рабочей схеме используется разработанная излучающая уголково-антенна и система согласования генератора с антенной.

Конструкция уголкового антенны и ее внешний вид показаны на рис. 4. Она, как принято (см. [9–11]), содержит уголкового рефлектора, изготовленный из двух плоских пластин из латунной сетки (с размерами ячейки 1×1 мм²), образующих угол раскрытия полотна рефлектора ψ , и вибратор, расположенный в плоскости биссектрисы этого угла.

Предварительно с помощью программы MMANA-GALA [12] проводилось численное моделирование и оптимизация антенны для работы в диапазоне частот 120–140 МГц.

В результате вычислений основные геометрические параметры оптимизированной антенны получились следующими:

- высота рефлекторов $H = 1.8$ м;
- длина рефлекторов $L = 1.3$ м;

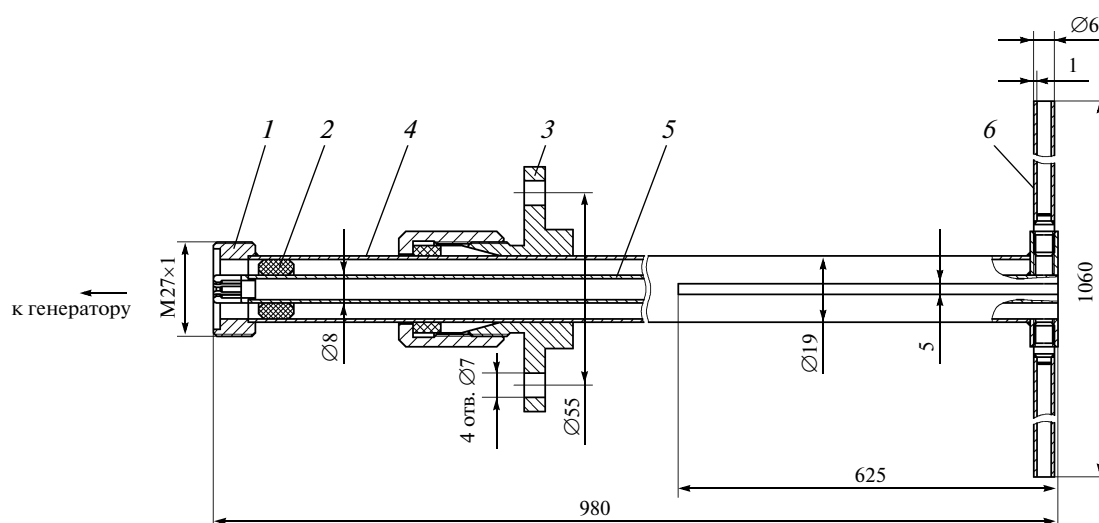


Рис. 6. Конструкция в.ч.-симметрирующего устройства и облучателя: 1 – в.ч.-разъем; 2 – диэлектрическая втулка; 3 – держатель; 4 – внешняя трубка; 5 – внутренняя трубка; 6 – облучатель (симметричный диполь).

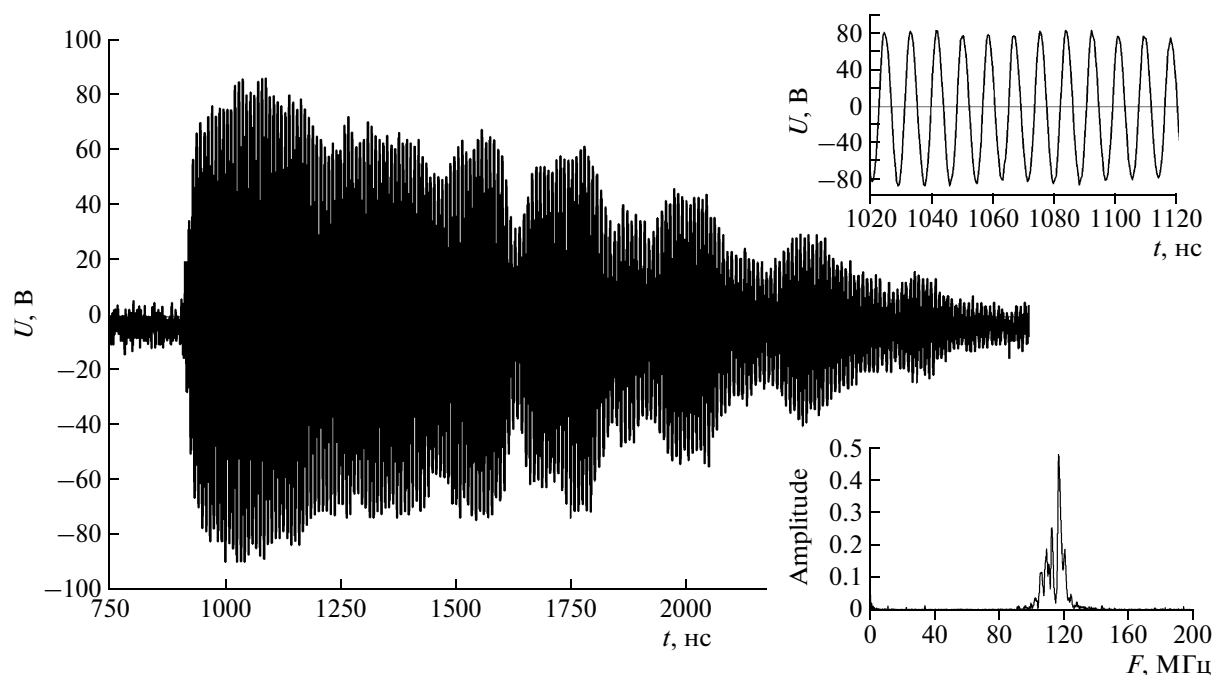


Рис. 7. Осциллограмма радиоимпульса на приемной антенне в дальней зоне (на вставке сверху – фрагмент радиоимпульса, внизу – его фурье-образ).

– расстояние от вибратора до вершины рефлектора $S = 0.82$ м;

– угол раскрытия полотна рефлектора $\psi = 90^\circ$.

Расчетная и измеренная диаграммы направленности антенны представлены на рис. 5. Входное сопротивление антенны в указанном частотном диапазоне составило ~ 50 Ом, к.с.в.н. < 1.5 , коэффициент усиления – 13 дБ (в приближении идеальной подстилающей поверхности). Видно, что результаты измерений диаграммы направленности близки расчетам.

Конструкции в.ч.-симметрирующего устройства и облучателя приведены на рис. 6.

Для исследования совместной работы разработанного генератора и антенны они подключались друг к другу через согласующее устройство – $\frac{1}{4}$ -волновой трансформатор, изготовленный из фидера ФКП с волновым сопротивлением 12 Ом и длиной 41 см. Цель исследований заключалась в определении напряженности электрического поля в дальней зоне излучающей антенны при ее работе с генератором. Для измерений использовалась откалиброванная дипольная антенна, рассчитанная на работу на частоте 120 МГц и имеющая эффективную длину 0.4 м. Сигнал, получаемый с приемной антенны, расположенной на расстоянии 10 м от излучающей антенны на оси ее диаграммы направленности, показан на рис. 7.

Итак, разработана и испытана излучающая система на основе импульсно-периодического генератора в в.ч.-радиоимпульсов и уголкового антенны.

Подобные генераторы могут быть использованы, например, для исследований воздействия электромагнитного излучения на радиоэлектронные приборы в полевых условиях.

Работа поддержана грантом РФФИ № 10-02-00137.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Arbel D., Bar-Lev Z., Felsteiner J. et al. // Phys. Rev. Lett. 1997. V. 78. № 1. P. 66.
2. Felsteiner J., Ish-Shalom S., Slutsker Ya.Z. // J. Appl. Phys. 1998. V. 83. № 6. P. 2940.
3. Bliokh Yu.P., Felsteiner J., Slutsker Ya.Z., Vaisberg P.M. // IEEE Trans. Plasma Sci. 2001. V. 29. № 6. P. 895.
4. Вялых Д.В., Дубинов А.Е., Львов И.Л. и др. // ПТЭ. 2005. № 1. С. 86.
5. Дубинов А.Е., Львов И.Л., Садовой С.А. и др. // Изв. вузов. Радиофизика. 2006. Т. 49. № 4. С. 300.
6. Булычев С.В., Вялых Д.В., Дубинов А.Е. и др. // Физ. плазмы. 2009. Т. 35. № 11. С. 1019.
7. Дубинов А.Е., Львов И.Л., Садовой С.А. и др. // ПТЭ. 2011. № 1. С. 161.
8. Dubinov A.E., Kornilova I.Yu., L'vov I.L. et al. // IEEE Trans. Plasma Sci. 2010. V. 38. № 11. С. 3105.
9. Белоцерковский Г.Б. Антенны. М.: Наука, 1956.
10. Айзенберг Г.З. Антенны ультракоротких волн. М.: Связьиздат, 1957.
11. Wilson A.C., Cottony H.V. // IRE Trans. on Ant. & Prop. 1960. V. 8. № 3. P. 144.
12. <http://dl2kq.de/mmana/4-1.htm>