

09;10
©1994

ГЕНЕРАЦИЯ МОЩНЫХ НАНОСЕКУНДНЫХ ИМПУЛЬСОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

*В.П.Губанов, С.Д.Коровин, И.В.Пегель, В.В.Ростов,
А.С.Степченко, М.Р.Ульмаскулов, В.Г.Шпак,
С.А.Шунайлов, М.И.Яландин*

Сильноточные ускорители электронов достаточно давно используются для генерации мощного микроволнового излучения [1]. Одним из основных элементов таких ускорителей является генератор высоковольтных импульсов напряжения, с помощью которого в вакуумном диоде ускорителя создается электрическое поле, ускоряющее электроны сильноточного пучка. В наносекундных релятивистских СВЧ генераторах энергия в вакуумный диод передается обычно в виде ТЕМ волны, которая преобразуется в энергию электронов пучка, а затем в энергию микроволнового излучения. В таких генераторах длительность импульса излучения $\tau_m \approx \tau_v$, где τ_v — длительность импульса высоковольтного напряжения [2]. Минимальная ширина полосы спектра микроволнового излучения $\delta f_m \approx 1/\tau_m \ll f_m$, где f_m — основная или несущая частота импульса СВЧ излучения. Эффективность преобразования энергии ТЕМ волны в энергию электромагнитного излучения в релятивистских СВЧ генераторах невелика, в лучшем случае она достигает 10–20% [2].

В то же время энергия ТЕМ волны высоковольтного генератора может быть преобразована в энергию электромагнитного излучения без использования электронного пучка посредством прямого излучения широкополосной антенной. Свойства импульса электромагнитного излучения, полученного таким способом, существенно отличаются от свойств импульса микроволнового излучения такой же длительности. Прежде всего нужно отметить, что относительная ширина спектра такого излучения может быть достаточно большой $\delta f_m \approx f_p \approx 1/\tau_v$, а характерные частоты излучения f_p при доступных для сильноточных устройств длительностях импульсов $\tau_v \approx 0.1$ –10 нс могут лежать в диапазоне 0.1–10 ГГц.

Импульсы электромагнитного излучения с близкими спектральными характеристиками относятся к сверхширокополосным (СШП) сигналам [3] и используются в импульс-

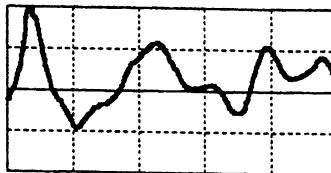
ной локации, геологоразведке и других областях [4]. В данном случае интерес представляет возможность генерации СШП импульсов электромагнитного излучения с достаточно большим уровнем мощности ($\approx 0.1-10$ ГВт), недоступным традиционным методам, а также возможность реализации импульсно-периодического режима работы источников излучения со средней мощностью вплоть до 1-100 кВт. В данной работе приведены первые результаты экспериментальных исследований по генерации СШП излучения с помощью высоковольтных импульсно-периодических высоковольтных генераторов, а также излучению и приему таких сигналов в наиболее простых лабораторных условиях.

В проведенных исследованиях источником высоковольтных импульсов являлась длинная коаксиальная формирующая линия (ФЛ) с газовым разрядником. Нагрузкой для ФЛ служила неоднородная передающая линия, совмещенная с антенной системой. Зарядка ФЛ осуществлялась с помощью трансформатора "Тесла" с разомкнутым ферромагнитным сердечником, встроенным в ФЛ [1]. Высоковольтный генератор позволял формировать на входе в передающую линию однополярный импульс напряжения с амплитудой ≈ 200 кВ (что соответствовало потоку мощности ≈ 1 ГВт), длительностью ≈ 3 нс и частотой повторения до 400 Гц.

В качестве излучающей системы использовался вибратор, в котором увеличение рабочей полосы излучения достигалось увеличением диаметра центрального проводника. Геометрические параметры системы были выбраны после проведения численных расчетов с помощью программы КАРАТ [5]. Численное моделирование позволяло определять амплитуду и форму отраженного от антенной системы сигнала, а также характеристики излучаемого импульса для различных значений геометрических параметров антенны. Наименьшие отражения от антенны ($\sim 20\%$ энергии) получены при выполнении условия $\pi d \approx \lambda \approx 2ct_v$, где d -диаметр центрального проводника вибратора, $\lambda = c/f_p$. Такая антенна имеет круговую диаграмму направленности и, согласно [6], волновое сопротивление ≈ 100 Ом в полосе частот $\delta f_p \approx f_p \approx 0.2$ ГГц. При разработке антенны особое внимание уделялось повышению ее электрической прочности. С этой целью часть антенной системы заполнялась трансформаторным маслом, а масляный объем отделялся от внешней среды полиэтиленовым высоковольтным изолятором.

Излучение и прием электромагнитных импульсов осуществлялись в лабораторных помещениях, содержащих большое количество объектов с различной отражающей способностью. В качестве приемной антенны использовалась ши-

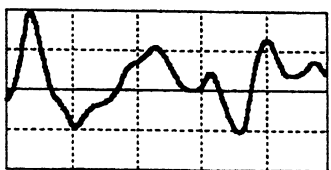
200 В



5 10 15 20 нс

а

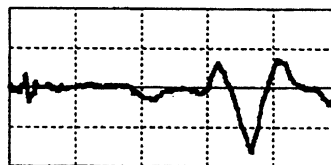
200 В



5 10 15 20 нс

б

100 В



5 10 15 20 нс

в

Рис. 1.

а — сигнал, принимаемый антенной на расстоянии 12 м от излучателя, б — добавлен отражающий объект, в — разность сигналов.

рокополосная диско-конусная антенна. Регистрация сигналов проводилась с помощью осциллографа С7-19. С экрана осциллографа информация вводилась в компьютер для дальнейшей обработки. На рис. 1,а приведена типичная осциллограмма сигнала, принятого антенной, расположенной на расстоянии 12 м от излучателя. Как видно, сигнал имеет довольно сложную структуру, что связано с наличием большого количества отражающих поверхностей вблизи излучателя и приемной антенны. На рис. 1,б приведена осциллограмма сигнала, полученного при размещении в помещении металлической пластины площадью 1 м^2 . Осциллограмма на рис. 1,в соответствует разности двух первых и представляет собой электромагнитный импульс, отраженный от металлической пластины.

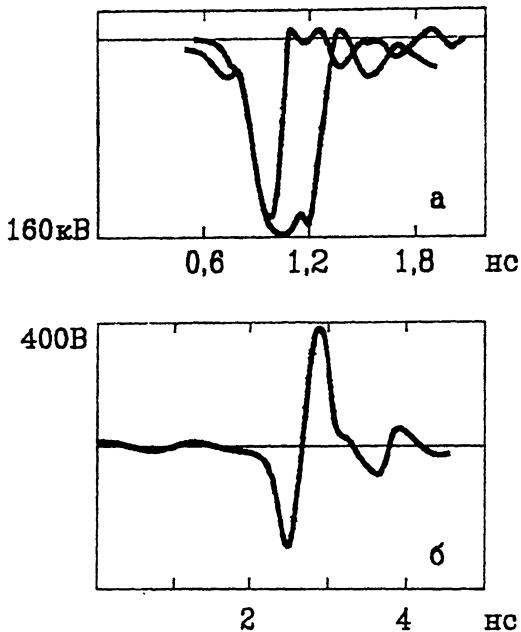


Рис. 2.

a — осциллограммы высоковольтных импульсов для двух режимов работы обострителя, *б* — типичный сигнал с приемной антенны.

В другом эксперименте была предпринята попытка создания СШП источника субнаносекундных импульсов. В качестве высоковольтного генератора был использован наносекундный генератор РАДАН 303А [7], позволяющий формировать на согласованной нагрузке импульсы напряжения с амплитудой 200 кВ, длительностью 5 нс и частотой повторения 25 Гц (в кратковременном режиме до 100 Гц). К выходу генератора был подключен специально разработанный обостритель импульсов, представляющий собой блок коммутаторов с четырехэлектродным обостряющим и двухэлектродным срезающим разрядниками. Рабочий газ — азот под давлением 40 атм. Обостритель позволял плавно регулировать амплитуду и длительность формируемых импульсов с помощью изменения зазоров в разрядниках. Наименьшая длительность полученных импульсов составляла 150–200 пс с временем нарастания 50–100 пс. В качестве излучающей антенны использовалась неоднородная симметричная полосковая линия, аналогичная описанной в [8]. Коаксиальный выход обострителя соединялся с антенной с помощью слабо неоднородного перехода

коаксиал-полосковая линия. Аналогичную геометрию имела приемная антенна. Измерения частотных характеристик показали, что их полоса пропускания лежит в диапазоне 0.2–1.2 ГГц.

На рис. 2,а показаны типичные осциллограммы высоковольтных импульсов для двух режимов работы обострителя. На рис. 2,б представлен сигнал, полученный с помощью приемной антенны, расположенной на расстоянии 4 м от излучателя. Средняя частота спектра СПШ импульса в данном случае составляет 1 ГГц ($\delta f_p \approx f_p$) и определяется длительностью импульса напряжения. Изменение режимов работы обострителя позволяло изменять среднюю частоту СПШ импульса в пределах от 0.2 до 1 ГГц. В экспериментах было зарегистрировано перемещение отражающих объектов на расстояние ≥ 10 см.

Таким образом, проведенные эксперименты показали возможность генерации СПШ импульсов с помощью сильноточных высоковольтных генераторов с высокой частотой повторения, а также с регулируемой средней частотой излучения. В лабораторных условиях зарегистрированы отражения от перемещаемых металлических предметов. В последующем предполагается проведение натуральных экспериментов по определению отражающих свойств различных объектов, расположенных на максимально возможном удалении от излучателя.

Список литературы

- [1] Ельчанинов А.С., Загулов Ф.Я., Коровин С.Д., Месяц Г.А., Ростов В.В. В кн.: Релятивистская высокочастотная электроника. Вып. 2. Горький, 1981. С. 5–21.
- [2] Коровин С.Д., Ростов В.В., Сморгонский А.В. // Изв. вузов. Радиофизика. 1986. Т. 29. В. 10. С. 1278–1280.
- [3] Zucker O., McIntyre I.A. // IEEE MMT-S. Intern. Microwave Symp. Digest. 1992. V. III. P. 1601–1604.
- [4] Стрюков Б.А., Лукьянчиков А.В., Маринец А.А., Федоров Н.А. // Зарубежная радиоэлектроника. 1989. В. 8. С. 42–59.
- [5] Al'terkop B.A., Mikhailov V.M., Rukhadze A.A., Sokulin A.Yu., Tarakanov V.P. // Proc. of the VIII Intern. Conf. on High-Power Particle Beams. 1990. V. 2. P. 1167–1172.
- [6] Старр А.Т. // Радиотехника и радиолокация. М., 1960. 668 с.
- [7] Шпак В.Г., Шунайлов С.А., Яландин М.И., Дядьков А.Н. // ПТЭ. 1993. В. 1. С. 149–155.
- [8] Астанин Л.Ю., Костылев А.А. // Основы сверхширокополосных радиолокационных измерений. М., 1992. 192 с.

Институт сильноточной электроники
Томск
Институт электрофизики
Екатеринбург

Поступило в Редакцию
11 апреля 1994 г.