

УДК 533.952

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВАКУУМНОГО ДУГОВОГО РАЗРЯДА В КАЧЕСТВЕ НАГРУЗКИ ДЛЯ СИЛЬНОТОЧНОГО ГЕНЕРАТОРА ХРГ-1

А. С. Жигалин, А. Г. Русских, В. И. Орешкин, А. В. Шишлов,
С. А. Чайковский

Предпринята попытка использовать в качестве нагрузки сильноточного генератора вакуумный дуговой разряд. Идея состоит в следующем: в микрозазор узла нагрузки генератора тока с помощью вакуумного дугового разряда впрыскиваются пары металла. При протекании по парам металла тока генератора такая нагрузка начинает сжиматься, как в классическом Z-пинче. При сжатии происходит развитие Рэлей–Тейлоровских неустойчивостей, приводящее к образованию перетяжек и формированию горячих точек. Мощность излучения горячей точки может в 1.5–2 раза превосходить мощность излучения при использовании в качестве нагрузки X-пинча. Разброс амплитуды сигналов существенно меньше, чем при использовании X-пинча. Спектр и размеры горячей точки могут изменяться подбором массы и типа металла, впрыскиваемого в область разряда.

Ключевые слова: дуговой разряд, пары металла, пинч.

В 2006 году в Институте сильноточной электроники СО РАН был разработан генератор тока ХРГ-1 [1, 2], предназначенный для работы в составе радиографа на основе использования X-пинча.

Несмотря на очевидные сильные стороны рентгеновского радиографа, основанного на использовании X-пинча, у него существуют и некоторые недостатки, связанные с неудобством установки многопроволочной нагрузки и необходимостью перед каждым экспериментом вскрывать вакуумную камеру сильноточного генератора, являющегося

Институт сильноточной электроники СО РАН, Россия, г. Томск, 634055, пр. Академический 2/3;
e-mail: Zhigalin@ovpe2.hcei.tsc.ru.

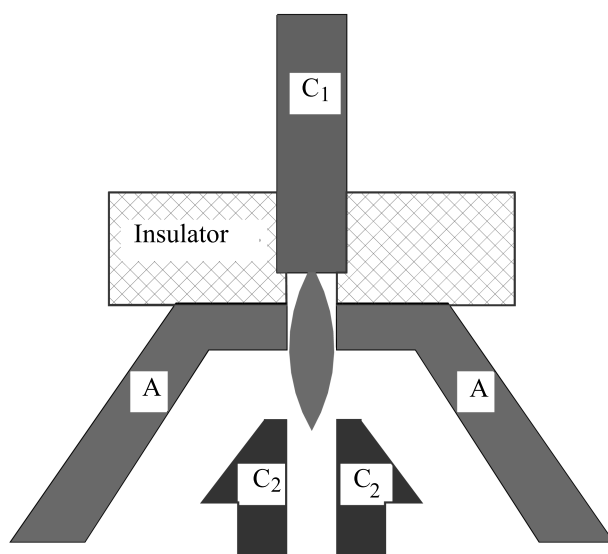


Рис. 1: Схема узла нагрузки сильноточного генератора XPG-1.

драйвером для X -пинча. В связи с этим нами был разработан источник рентгеновского излучения, который может быть использован многократно без вскрытия вакуумной камеры сильноточного генератора.

В разработанном источнике импульсного рентгеновского излучения (PZP) использован принцип Z -пинча: излучающая горячая плазма создается при сжатии струи металлического пара силой Лоренца, возникающей при протекании тока. Для создания струи металлических паров использовался вакуумный дуговой разряд. При зажигании вакуумного дугового разряда в зазор сильноточного генератора впрыскивалась струя металлических паров с массой, достаточной для того, чтобы такой “точечный Z -пинч” (PZ -пинч) сжался вблизи максимума тока генератора. В этом случае наблюдается образование достаточно яркой точки, излучающей в рентгеновском диапазоне. Образование горячей точки происходит за счет развития “сосисочной” перетяжки. Для того чтобы на длине лайнера развивалась только одна такая перетяжка, высота межэлектродного зазора должна быть минимальной.

Проведенное авторами данной работы исследование показало, что действительно существуют режимы сжатия PZ -пинча, при котором за время сжатия лайнера переключение межэлектродного промежутка плазмой не происходит, а на середине межэлектродного промежутка возникает горячая точка малых размеров, излучающая в рентгеновском диапазоне.

Работа такого устройства проиллюстрирована на рис. 1. Вакуумный дуговой разряд загорается между высоковольтным электродом C_1 , который является катодом, и электродом A . Образующееся на поверхности электрода C_1 катодное пятно испаряет материал катода. Образующийся при этом металлический пар, расширяясь и проходя через отверстие в аноде A , попадает в межэлектродный зазор сильноточного генератора. После того, как в межэлектродном зазоре сильноточного генератора “ $A-C_2$ ” создается столб паров металла с необходимой погонной массой, на электрод C_2 подается импульс напряжения сильноточного генератора. Ток, протекающий по изначально ионизованным парам металла, создает силу Лоренца, которая сжимает образующийся столб плазмы, а развитие плазменной неустойчивости типа “перетяжка” обеспечивает образование горячей точки, излучающей в области мягкого рентгена.

Проведенные нами эксперименты по разработке точечного источника рентгеновского излучения на основе использования вакуумного дугового разряда показали, с одной стороны, перспективность данного направления, с другой стороны, определенную техническую сложность данной задачи.

При проведении данных экспериментов, межэлектродное расстояние варьировалось в пределах от 0.9 до 1.5 мм. Оптимальное расстояние между электродами в данной геометрии было определено как 1.3 мм.

Расчет массы впрыснутого вещества по времени сжатия лайнера и реальной осциллограмме тока свидетельствует о том, что, используя несколько пароплазменных струй вакуумного дугового разряда, можно формировать лайнеры с массой в сотни микрограмм на сантиметр длины. С помощью данной технологии можно формировать лайнеры как цилиндрической, так и планарной конфигурации. Отсутствие вещества в различных фазовых состояниях может помочь преодолеть многие проблемы, присущие многопроволочным лайнерам (потение проводников и развитие страт), а значительная начальная проводимость может помочь преодолеть многие проблемы, присущие газовым лайнерам (проблема холодного старта).

Работа поддержана грантами Российского фонда фундаментальных исследований, гранты N 08-08-00163-а, 08-08-90418 Укр-а, 09-08-00734-а и Программой Президиума РАН “Проблемы физической электроники, пучков заряженных частиц, генерации электромагнитного излучения в системах большой мощности”.

Л И Т Е Р А Т У Р А

- [1] Н. А. Ратахин, В. Ф. Федущак, А. А. Эрфорт и др., Известия ВУЗов. Физика **50**(2), 87 (2007).

- [2] A. G. Roussikh, V. I. Oreshkin, S. A. Chaikovsky, et al., *Physics of Plasmas* **15**, 102706 (2008).

По материалам 3 Всероссийской молодежной школы-семинара “Инновационные аспекты фундаментальных исследований по актуальным проблемам физики”, Москва, ФИАН, октябрь 2009 г.

Поступила в редакцию 10 декабря 2009 г.