

УДК 533.9.082.7, 537.856

DOI: 10.17223/00213411/62/7/116

В.А. КОКШЕНЕВ, Н.Е. КУРМАЕВ, Р.К. ЧЕРДИЗОВ

ПЛАЗМЕННЫЕ СТРУИ СИЛЬНОТОЧНОГО РАЗРЯДА В КАПИЛЛЯРЕ И ИХ РАСПРОСТРАНЕНИЕ ПОПЕРЕК МАГНИТОИЗОЛИРОВАННОЙ ЛИНИИ *

Приведены характеристики источников плазмы на основе сильноточного разряда в капиллярах из полиэтилена, тефлона и керамики, позволяющие формировать высокоскоростные плазменные потоки высокой плотности. Показано влияние начального напряжения на капилляре, скорости роста тока и его амплитуды на параметры формируемых плазменных сгустков и на срок службы капилляров из исследованных диэлектриков. Представлены экспериментальные результаты по распространению таких сгустков в скрещенных электрическом и магнитном полях магнитоизолированной передающей линии.

Ключевые слова: плазменный сгусток, сильноточный разряд в капилляре, магнитоизолированная передающая линия.

Введение

Существует проблема защиты элементов мощных импульсных генераторов прямого действия, передающих энергию непосредственно в нагрузку типа Z-пинча по вакуумным магнитоизолированным линиям. Для достижения поставленной цели предлагается использовать режим кроубара – шунтирование контура разрядной цепи на определенном участке вакуумной магнитоизолированной передающей линии (МИПЛ) с помощью плазменного коммутатора [1]. Проведенное численное моделирование работы 12-модульного генератора ГИТ-12 на нелинейную Z-пинч нагрузку позволило оценить возможные величины магнитных и электрических полей на участках МИПЛ, где может быть установлен плазменный коммутатор для реализации режима кроубара. При амплитуде тока в Z-пинч нагрузке 4 МА и вложенной в нее энергии до 150 кДж напряженность магнитного поля в каждой из 12 передающих вакуумных коаксиальных линий составляет $H = 6.6$ кА/см (8.3 кЭ, $B \sim 0.8$ Тл). На отрезке передающей линии сборного электрода диаметром 1.5 м – $H = 8.5$ кА/см (10.7 кЭ, $B \sim 1$ Тл). Изменение режима переходного процесса разрядной цепи с включением разрядника-кроубара на входе 12 вакуумных коаксиальных линий позволяет уменьшить реверс напряжения на емкостном накопителе примерно с 45 до 30 %, что соответствует уменьшению остаточной энергии в емкостном накопителе почти в 2 раза. Установка разрядника-кроубара перед Z-пинч-нагрузкой уменьшает величину выделяемой в ней энергии после формирования пинча и генерации рентгеновского излучения примерно с 560 кДж (разрядник-кроубар на входе 12 линий) примерно до 200 кДж, т.е. в 2.8 раза.

Реализация плазменного коммутатора связана с решением двух задач. Во-первых, создание плазменного источника, способного генерировать направленные высокоскоростные потоки плазмы высокой плотности, и, во-вторых, исследование распространения этих потоков в поперечном неоднородном электромагнитном поле МИПЛ. Из одномерной модели взаимодействия неограниченного в поперечных размерах плотного плазменного потока плотностью ρ и начальной скоростью v_0 с однородным магнитным полем напряженностью H_0 следует, что торможение плазмы с переходом поступательного движения во вращательное имеет место при условии $\rho v_0^2 = H_0^2/8\pi$ на длине, равной среднему геометрическому из ларморовских радиусов иона и электрона [2]. Очевидно, что эта модель весьма далека от того, что имеет место при инжекции отдельных ограниченных в поперечных размерах плазменных сгустков не только в межэлектродный зазор МИПЛ (где скрещенные неоднородные поля), но и в однородное магнитное поле. Даже в последнем простом случае существует проблема описания проникновения плазмы в магнитное поле при условии $\rho v_0^2 < H_0^2/8\pi$ и возникновения электрического поля поляризации $E \sim vH/c$ в объеме сгустка [3–5]. Важно отметить, что при движении плазмы в поперечном магнитном поле в экспериментах наблюдается сепарация ионов: плазменный поток значительно обедняется легкими ионами, а тяжелые хорошо проникают через поле [4]. В этой связи основные усилия в данной работе были на-

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-08-00568-а).

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>