

ОТРАБОТКА МЕТОДИКИ РЕГИСТРАЦИИ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ РАЗВЕРТКИ СВЕЧЕНИЯ ПЛАЗМЫ Z-ПИНЧА

Барышников Максим Дмитриевич (msibragimov@vniief.ru), Ибрагимов Марат Шавкатович, Репин Павел Борисович

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

В докладе сообщается о разработке методики регистрации пространственно-временной картины свечения плазмы, образующейся при имплозии многопроволочных лайнеров на лабораторной электрофизической установке, с помощью фотохронографического регистратора СФЭР-6. Приведено описание элементов методики и результаты ее отработки на лабораторной электрофизической установке.

При помощи разработанной методики зарегистрирована картина токовой имплозии многопроволочного лайнера. Измерена скорость имплозии.

Ключевые слова: фотохронографический регистратор СФЭР-6, Z-пинч, пространственно-временная развертка свечения.

RECORDING TECHNIQUE OF SPATIAL-TIME DYNAMICS OF Z-PINCH PLASMA GLOW

Baryshnikov Maksim Dmitrievich (msibragimov@vniief.ru), Ibragimov Marat Shavkatovich, Repin Pavel Borisovich

FSUE «RFNC-VNIIEF», Sarov Nizhny Novgorod region

The development of the recording technique of spatial-time dynamics of plasma glow by means of the streak-camera is described in the paper. The plasma is formed at the implosion of multi-wire arrays on the laboratory electro-physical facility. The technique details and the results of its performance on the laboratory electro-physical facility are described in the paper.

The current implosion of the multi-wire array is recorded by means of the developed method. The implosion velocity is measured.

Key words: streak-camera, Z-pinch, spatial-time dynamics.

Введение

В настоящее время в РФЯЦ-ВНИИЭФ реализуется программа по созданию мощных источников мягкого рентгеновского излучения (МРИ) [1]. Генерация МРИ в разрабатываемых источниках осуществляется при термализации на оси системы плазмы, образованной при электрическом взрыве цилиндрических многопроволочных сборок – лайнеров, и ускоренной в осевом направлении магнитным полем протекающего по ней тока. При этом динамика сжатия плазмы на стадии, предшествующей появлению импульса МРИ, представляет большой интерес, и поэтому разработка методики регистрации про-

странственно-временно картины свечения плазмы явилась важной задачей. В случае лабораторных установок для регистрации плазменной динамики успешно применяются электронно-оптические регистраторы с щелевой разверткой – СФЭР-6 [2–3]. Ранее существовала световодная версия данной методики, основанная на принципе передачи формируемого изображения плазменного объекта – т.н. Z-пинча, посредством оптоволоконного кабеля. Но минусом ее была дискретность, и поэтому возникла необходимость формирования изображения плазменного объекта напрямую – с помощью системы объективов и щели на фотокатод СФЭР-6.

Описание методики регистрации

Обработка данной методики проводилась на электрофизической установке «СарМАТ», силовая часть которой обеспечивает в нагрузке ток амплитудой до 2,5 МА со временем нарастания ~1 мкс. В качестве нагрузки используются цилиндрические и планарные многопроволочные лайнеры различных диаметров и высот.

Структурная схема методики представлена на рис. 1. Основными элементами методики являются система построения изображения, регистратор с щелевой разверткой и система синхронизации. Система синхронизации обеспечивает запуск регистратора СФЭР-6 в нужный момент времени (за ~2 мкс до начала тока в нагрузке).

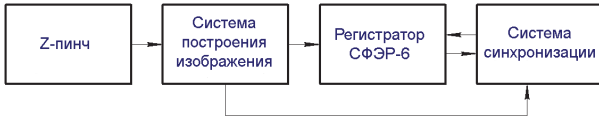


Рис. 1. Структурная схема методики

Изображение плазменного объекта строится на фотокатоде фотохронографического регистратора СФЭР-6 с помощью объективов ТАИР-3 4,5/300А, Юпитер-3 1,5/50 и щели УФ-2, защищенных от боковой подсветки светоизолированной трубой. Полученное изображение фиксируется ПЗС-камерой и передается на ПК.

Оптическая схема методики представлена на рис. 2. Она состоит из лайнера $\varnothing 60$ мм 1, стоек обратного токопровода 2, окна вакуумной камеры 3, объектива ТАИР-3 4,5/300А 4, щели УФ-2 5, объектива Юпитер-3 1,5/50 6 и фотохронографического регистратора СФЭР-6 7. Такая совокупность объективов, при подобранных расстояниях, обеспечивает фокусировку объекта исследования на достаточно небольшом фотокатоде регистратора.

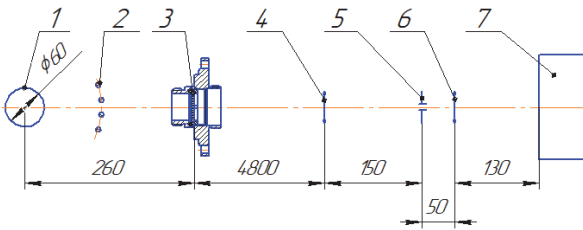


Рис. 2. Оптическая схема методики

Результаты экспериментов

Была проведена серия экспериментов с цилиндрическим многопроволочными лайнерами диаметром 60 мм и высотой 31 мм, состоящими из 45 вольфрамовых проволочек $\varnothing 10$ мкм и из 90 вольфрамовых проволочек $\varnothing 7,8$ мкм, одинаковыми между со-

бой по массе. Изображения, полученные с помощью фотохронографического регистратора СФЭР-6 (СФЭРограммы), приведены на рис. 3–5. Для удобства анализа на СФЭРограммы нанесена пространственная миллиметровая шкала и временная шкала, полученная с помощью блока меток СФЭР-6, выдающего стандартный собственный сигнал с частотой 8 МГц, соответственно получаем период временных меток 125 нс.

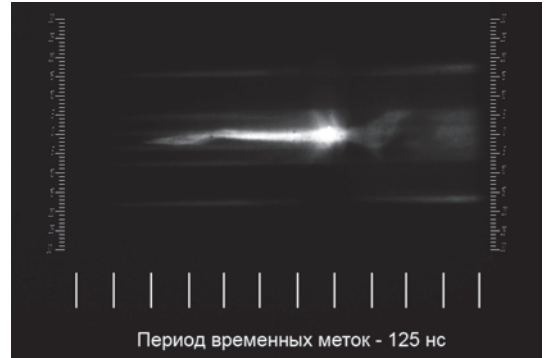


Рис. 3. СФЭРограмма в эксперименте с 45-проволочным лайнером

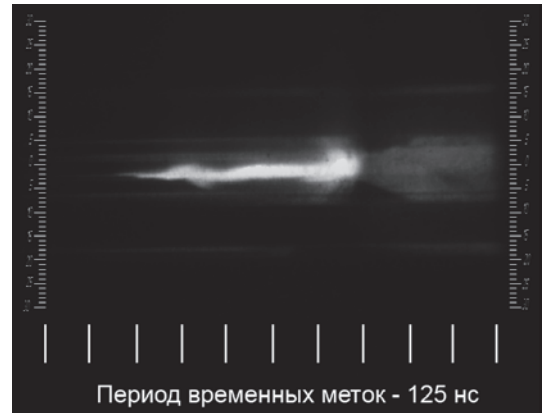


Рис. 4. СФЭРограмма в эксперименте с 45-проволочным лайнером

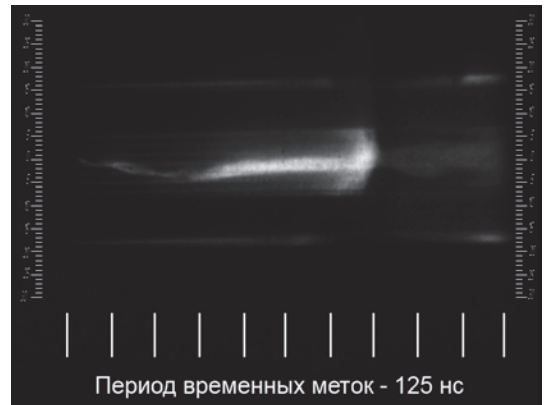


Рис. 5. СФЭРограмма в эксперименте с 90-проволочным лайнером

Из рис. 3–5 видно, что спустя ~ 1 мкс после начала токового импульса процесс электровзрыва лайнера вступает в завершающую стадию – стадию имплозии еще оставшегося на начальном радиусе лайнера вещества проволочек. Одной из задач данной методики является определение скорости имплозии при анализе полученных изображений. Скорость имплозии определялась путем построения дополнительных линий на участке СФЭРограммы – т.н. «конусе». Так как время имплозии достаточно мало, то можно посчитать скорость имплозии как отношение катетов прямоугольного треугольника (см. рис. 6): $V_{\text{импл.}} = 0,008 \text{ м} / 0,000000045 \text{ с} \approx 178 \text{ км/с}$.

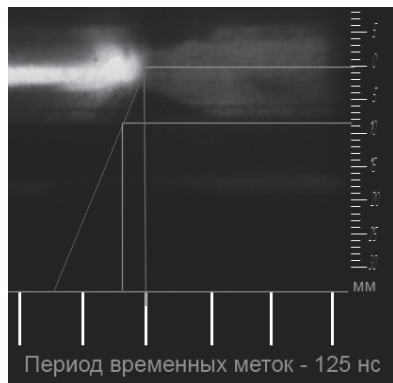


Рис. 6. Вычисление скорости имплозии

Заключение

Таким образом, была успешно разработана методика регистрации пространственно-временной развертки свечения плазмы Z-пинча на основе электронно-оптического регистратора, проведена ее обработка на электрофизической установке «СарМАТ». Получено значение скорости имплозии.

Список литературы

1. Селемир В. Д., Демидов В. А., Репин П. Б. и др. Исследование генерации мягкого рентгеновского излучения в Z-пинчах с запиткой от спиральных взрывамагнитных генераторов // Физика плазмы 2007. Т. 33, № 5. С. 424–434.
2. Calamy H., Hamann F., Lassalle F., et al. Characteristics of microsecond wire array Z-pinches on SPHINX machine // Transactions On Plasma Science. 2006. Vol. 34, N 5. P. 2279–2285.
3. Beg. F. N., Lebedev S. V., Bland S. N., et al. The effect of current prepulse on wire array Z-pinch implosions // Physics Of Plasmas. 2002. Vol. 9, N 1. P. 375–377.