

ИЗМЕРЕНИЕ ТОКА ДИСКОВОГО ВЗРЫВОМАГНИТНОГО ГЕНЕРАТОРА ФРАГМЕНТИРОВАННЫМ ФАРАДЕЕВСКИМ ДАТЧИКОМ

В. В. Грушко, А. Н. Моисеенко, А. В. Филиппов, О. М. Таценко, С. А. Казаков

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

Введение

В настоящее время достигнуты высокие результаты в экспериментах по получению мягкого рентгеновского излучения, генерируемого при токовой имплозии цилиндрических лайнеров в геометрии Z-пинча. Этот вид излучения можно использовать для зажигания термоядерных мишеней. Известно, что для зажигания мишени необходимо сформировать в нагрузке импульс тока амплитудой ~ 60 МА с временем нарастания менее 1 мкс [1]. В РФЯЦ-ВНИИЭФ такие токи обеспечиваются дисковыми взрывомагнитными генераторами (ДВМГ). Так, например, с помощью генератора ДВМГ-480 получен ток ~ 100 МА с характерным временем нарастания 6,5 мкс [2].

Измерения тока на электрофизических установках проводятся, как правило, с помощью гальванических (шунтов) и индукционных (дифференцирующих и интегрирующих) датчиков. Но на мощных импульсных установках существует проблема обеспечения гальванической развязки датчиков тока с регистрирующей аппаратурой. Проблема вызвана необходимостью защиты дорогостоящих регистраторов от воздействия высоких потенциалов, развивающихся как на самих датчиках, так и при работе установки. Кроме того, из-за высокой чувствительности гальванических и индукционных датчиков, их возможности ограничены при измерениях сверхвысоких (10^7 – 10^8 А) токов.

Проблема обеспечения измерений мультимегаамперных токов в опытах с ДВМГ снимается при использовании магнитооптических датчиков, работа которых основана на использовании эффекта Фарадея [3]. Однако и в этом случае имеются технические сложности. Ранее такие измерения проводились, когда магнитооптические датчики располагались в виде колец в полостях вокруг цилиндрического токопровода, по которому протекает ток. Особенностью ДВМГ является то, что они успешно работают на низкоиндуктивные нагрузки. Поэтому в экспериментах с ДВМГ и лайнерными системами количество и размеры полостей для размещения датчиков ограничены из-за необходимости снижения величины паразитной индуктивности в цепи нагрузки. Отсюда количество измерений импульса тока в нагрузке ДВМГ магнитооптическим методом, как правило, ограничено одним-двумя. В случае механического повреждения хрупких оптоволоконных световодов (что иногда происходит при проведении монтажных работ с изделием в поли-

гонных условиях) существует риск частичной или полной потери информации о параметрах импульса тока.

Информативность измерений можно повысить, не изменяя индуктивности контура, если использовать несколько магнитооптических датчиков, размещенных в одной полости. В отличие от кольцевого магнитооптического датчика, каждый из датчиков выполняется в виде фрагмента кольца. Фрагментированный датчик регистрирует только часть полного тока. Полный ток определяется методом интегрирования по всему контуру. Предложенный метод регистрации можно использовать для изучения симметричности растекания тока в контуре ДВМГ. В докладе представлены результаты измерений тока в индуктивной нагрузке дискового взрывомагнитного генератора ДВМГ-480 кольцевым и фрагментированным фарадеевскими датчиками.

Экспериментальная установка и схема измерений

Генератор ДВМГ-480 является источником энергии во взрывной электрофизической установке ЭМИР, предназначенной для генерации импульса мягкого рентгеновского излучения при схлопывании многопроволочного лайнера, который будет использоваться для зажигания термоядерных мишеней. Схема генератора ДВМГ-480 показана на рис. 1.

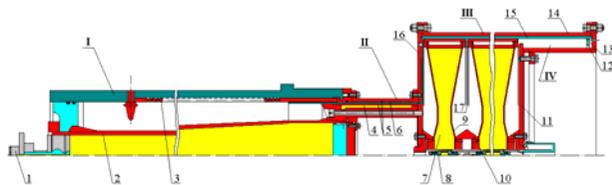


Рис. 1. Схема генератора ДВМГ-480 с предусилителем энергии ВМГ-240: I – предусилитель; II – узел отключения предусилителя; III – ДВМГ; IV – нагрузка; 1 – электродетонатор; 2 – центральная труба с зарядом ВВ; 3 – спираль; 4 – заряд ВВ; 5 – электрод; 6 – изолятор; 7 – дисковый заряд ВВ; 8 – устройство иницирования дисковых зарядов; 9 – дисковая оболочка; 10 – конус; 11, 16 – торцевые стенки; 12 – оптический датчик; 13 – индукционный датчик; 14 – корпус; 15, 17 – изоляторы

Устройство запитывается от предусилителя I – спирального ВМГ, – и включает в себя узел отключения предусилителя II, пять дисковых элементов III,

и нагрузку IV. При срабатывании ДВМГ сжимаемый магнитный поток вытесняется в нагрузку через передающую линию, т. е. через зазор между дисковыми элементами и наружным корпусом 14 генератора. Магнитооптические датчики из специального измерительного оптоволоконного световода типа LB 600 размещались в нагрузке ДВМГ на токопроводе 12. В нагрузке также размещалось несколько индукционных дифференцирующих датчиков, регистрирующих производную тока ДВМГ.

Оптическая схема измерения тока представлена на рис. 2.

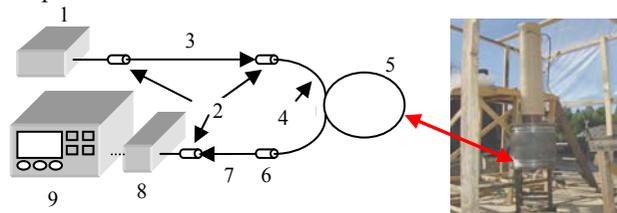


Рис. 2. Оптическая схема измерения тока: 1 – лазер; 2 – оптический адаптер; 3 – одномодовый световод ПАНДА; 4 – измерительный световод LB 600; 5 – токопровод ДВМГ480; 6 – анализатор; 7 – многомодовый световод 100/140; 8 – фотоприемник; 9 – осциллограф

Свет от лазера 1 передавался с помощью одномодового световода 3 типа ПАНДА, сохраняющего плоскость поляризации зондирующего света, на измерительное волокно LB600 – 4. Это волокно изменяет плоскость поляризации зондирующего света при воздействии магнитного поля. Одномодовое оптоволокно ПАНДА использовалось для передачи света на датчик, сохраняя плоскость поляризации зондирующего света, а также для достижения наименьшей дисперсии светового пучка. Свет, проходя через датчик 4, анализатор 6 и отводящий многомодовый световод 7, попадал в фотоприемник 8. Сигнал с фотоприемника регистрировался при помощи осциллографа 9.

Рассмотрим отдельно некоторые элементы оптической системы. Оптоволоконный датчик, работающий на эффекте Фарадея, представлял собой свернутый в кольцо световод типа LB600. Использовались три датчика (рис. 3).

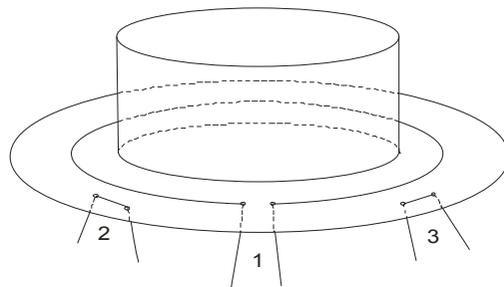


Рис. 3. Схема размещения магнитооптических датчиков тока: 1 – датчик общего тока; 2, 3 –фрагментированные датчики

Первый датчик представлял собой полный виток вокруг токопровода диаметром 531 мм (+ 4,5 мм каркас для датчика) и измерял общий ток. Таким образом, длина составляла 1680 мм. Два других были петлями с прямыми участками длиной по 50 мм и представляли собой фрагментированные фарадеевские датчики тока. Из этого следует, что показания с первого датчика должны быть в 33 раза больше показаний с датчиков 2 и 3.

В качестве источника зондирующего излучения использовались три типа лазеров: 1 – полупроводниковый лазер с длиной волны 0,66 мкм, 2 – He-Ne лазер с длиной волны 0,63 мкм, 3 – полупроводниковый лазер с длиной волны 0,85 мкм.

Данные с фотоприемников регистрировались осциллографом TDS 3054. Данный осциллограф имеет временное разрешение 2 нс, что соответствует условиям эксперимента.

Экспериментальные данные

На рис. 4 представлена осциллограмма изменения интенсивности света, зарегистрированная фотоприемником для датчика общего тока, а на рис. 5 – для фрагментированного датчика. Результаты обработки осциллограмм представлены на рис. 6.

К сожалению, датчик 3 был выведен из строя при монтаже установки, поэтому данные с него получить было невозможно.

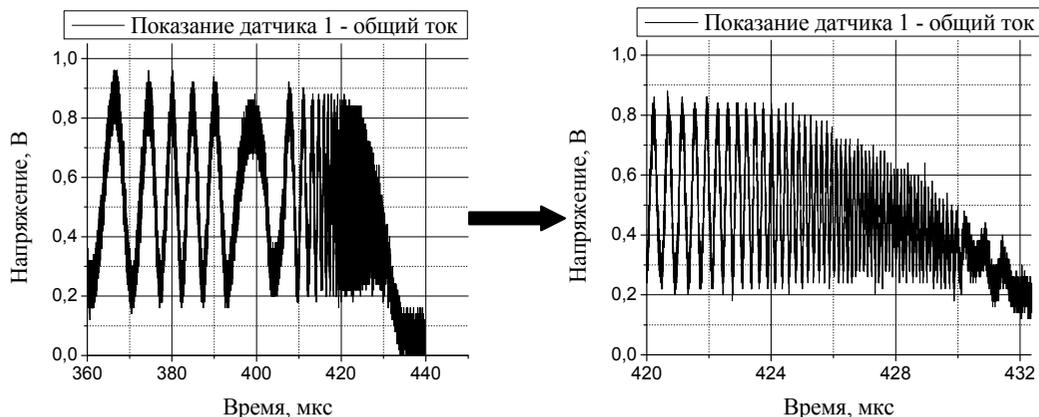


Рис. 4. Данные с фотоприемника для датчика общего тока

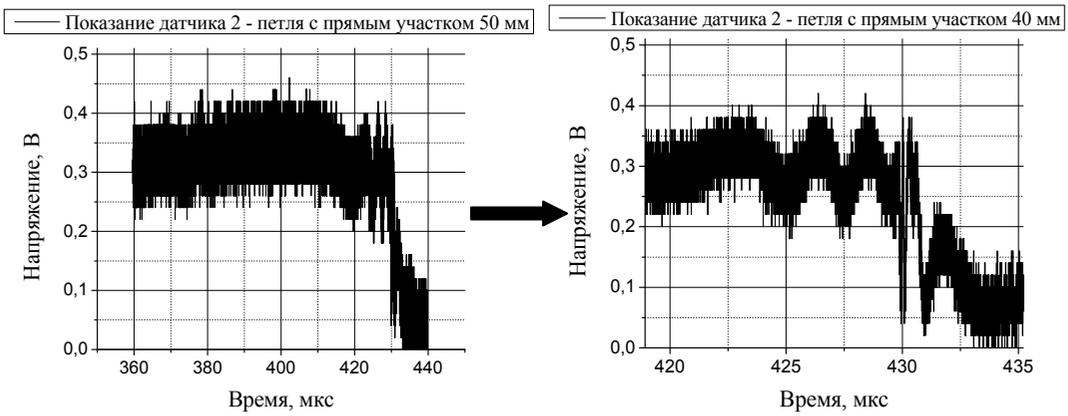


Рис. 5. Данные с фотоприемника для фрагментированного датчика

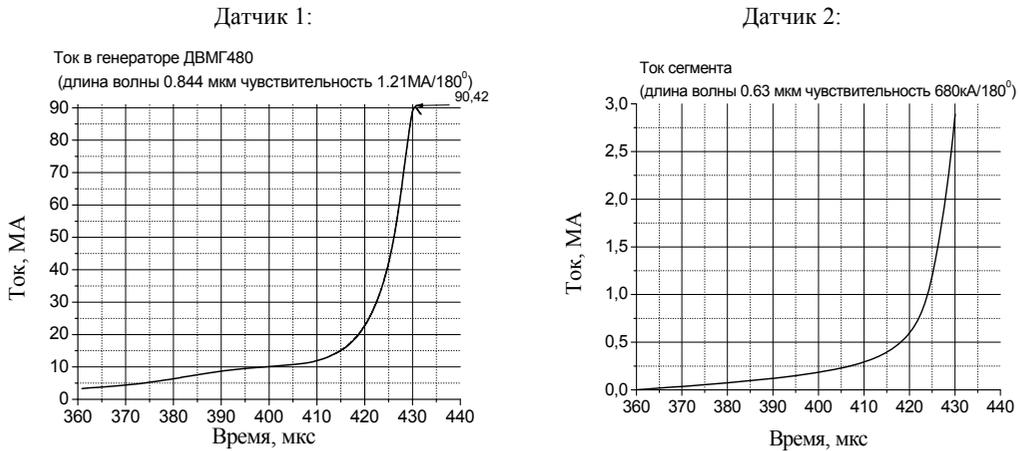


Рис. 6. Зависимость тока в генераторе ДВМГ480 от времени, измеренная оптическим методом с помощью одномодового световода: слева – датчик общего тока, справа – фрагментированный датчик

Для сопоставления результатов токовые зависимости, полученные с помощью датчиков 1 и 2, совмещенные по времени, представлены на рис. 7. Видно, что по характеру изменения тока показания с обоих датчиков практически одинаковы. Это свидетельствует о принципиальной возможности применения

фрагментированных фарадеевских датчиков для измерений тока в опытах с ДВМГ. Более того, показания фрагментированного датчика и датчика общего тока совпадают и показывают значение 90,4 МА, что практически соответствует результатам измерений индукционными датчиками (~ 94 МА).

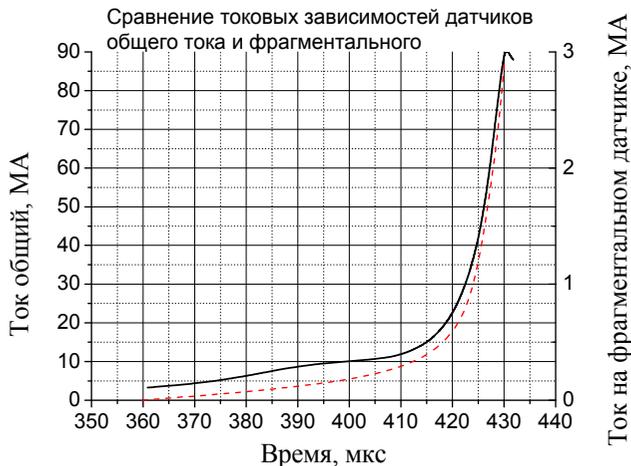


Рис. 7. Сравнение токовых зависимостей датчиков общего тока и фрагментального

В эксперименте с пятиэлементным дисковым взрывомагнитным генератором с зарядом взрывчатого вещества диаметром 480 мм при повышенной запитке от предусилителя энергии проведены измерения тока кольцевыми и фрагментированными магнитооптическими датчиками, работающими на эффекте Фарадея. Результаты измерений сравнивались с результатами измерений, проведенными с помощью индукционных датчиков. Показания фрагментированного датчика и датчика общего тока совпадают и показывают значение 90,4 МА, что практически соответствует результатам измерений индукционными датчиками (~ 94 МА). В дальнейшем будет рассмотрена и воспроизведена схема с большим количеством фрагментальных датчиков для определения равномерности протекания тока в установке. Предложенный метод регистрации тока позволяет расширить диагностические возможности во взрывных опытах.

1. Stygar W. A., Cuneo M. E., Headley D. I., Ives H. C. et al. Architecture of petawatt-class z-pinch accelerators. *Physical Review Special Topics – Accelerators and Beams*. 2007. Vol. 10, 030401.
2. Демидов В. А., Селемир В. Д., Борискин А. С., Казаков С. А. и др. Испытание дискового взрывомагнитного генератора диаметром 480 мм при повышенной запитке // XIII Международная конференция по генерации мегагауссных магнитных полей и родственным экспериментам: Доклад на Международную конференцию «Мегагаусс-13». Китай. 6–10 июля 2010 г.
3. Моисеенко А. Н., Долотенко М. И., Маркевцев И. М., Савченко Р. В., Таценко О. М., Козлов М. Б. Оптические измерения тока магнитокумулятивного генератора МК-1 // Отчет о НИР ВНИИЭФ. 2001, № 4/10187. С. 18.