

10;12

Сильноточный плазменный прерыватель тока с запиткой от взрывомагнитного генератора

© А.С. Борискин, П.Н. Буренков, П.И. Голяков, В.А. Демидов,
В.С. Жданов, С.А. Казаков, В.Г. Корнилов, Д.В. Пресняков,
В.Д. Селемир, Д.А. Толшмяков, Е.В. Шаповалов

Российский федеральный ядерный центр — Всероссийский научный
исследовательский институт экспериментальной физики,
Саров, Нижегородской обл.
E-mail: selemir@ntc.vniief.ru

Поступило в Редакцию 31 мая 2006 г.

Представлены результаты эксперимента по реализации разрыва плазменного токового канала (ПТК) в плазменном прерывателе тока (ППТ) при запитке его от взрывомагнитного генератора тока (ВМГ). Критический ток ППТ составил 1.9 ± 0.1 МА, скорость спада тока в момент разрыва достигает величины $\sim 10^{13}$ А/с.

PACS: 52.77.-j

Введение. Эксперименты по исследованию ППТ, описанные в [1], позволили определить режимы работы ППТ при запитке от ВМГ. Экспериментально была показана возможность пропускания тока амплитудой ~ 2 МА через плазменный токовый канал ППТ. Ранее был проведен эксперимент по разрыву тока при запитке ППТ от спирального ВМГ100 с взрывным размыкателем тока (ВРТ). В эксперименте ВМГ100 сформировал в контуре ППТ импульс тока амплитудой 1.5 ± 0.1 МА, что несколько ниже критического тока ППТ, т.е. тока, при котором происходит резкое увеличение сопротивления плазменного слоя, поэтому разрыва плазменного токового канала (ПТК) не произошло.

Поскольку ВМГ100 может передавать в нагрузку (исследуемый узел ППТ), индуктивность которой составляет $40 \dots 45$ нН, ток до ~ 2 МА, а уровень критического тока ППТ достоверно не известен из-за недостаточной изученности явления, в описываемом ниже эксперименте в качестве источника тока использован более мощный ВМГ.

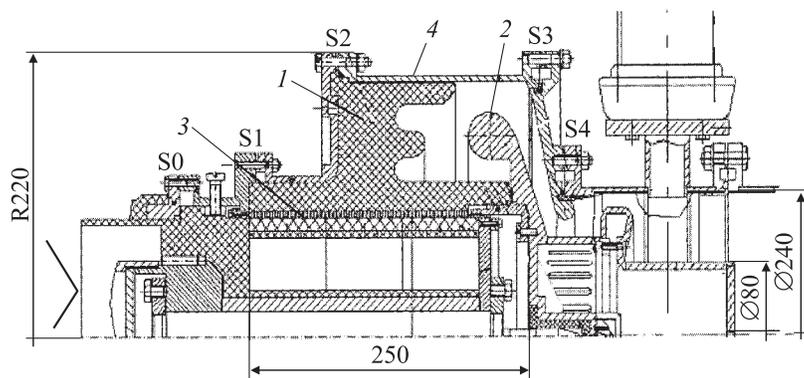


Рис. 1. Схема узла ППТ: 1 — проходной изолятор камеры ППТ, 2 — охранный электрод, 3 — ребристая преграда ВРТ, 4 — корпус камеры, S0–S4 — сечения полостей для измерительных поясов Роговского и дифференцирующих зондов.

По прогнозным оценкам, учитывающим исследования, проведенные на лабораторных установках, и проведенные ранее опыты с ВМГ, величина критического тока находится в диапазоне 1.5... 2.5 МА.

Целью описанного в статье опыта было исследование процесса открывания ППТ в диапазоне токов ~ 2 МА.

Постановка эксперимента. Для исследования работы ППТ в качестве источника энергии применялся спиральный ВМГ с внутренним диаметром статора 200 mm (ВМГ200). Генератор ВМГ200 с взрывным размыкателем тока позволяет реализовать в нагрузке индуктивностью до 50 нН импульс тока амплитудой $I_{\max} \sim 4$ МА с временем нарастания $\sim 1 \mu\text{s}$. Схематичное изображение ППТ приведено на рис. 1. В эксперименте на наружном цилиндрическом электроде плазменной камеры были установлены три газоплазменных инжектора с импульсным напуском газа, аналогичные описанным в [1]. Эти устройства инжектируют плазменные струи диаметром 4 см с плотностью электронов на выходе из инжектора до 10^{16} cm^{-3} в радиальный межэлектродный зазор ППТ. Геометрические параметры плазменной камеры, режимы работы основных узлов установки и количество плазменных инжекторов выбирались

с учетом результатов экспериментов, проведенных ранее на лабораторных установках.

Для регистрации величины и формы импульсов тока применялись интегрирующие пояса Роговского, а для измерений производной тока — дифференцирующие зонды.

Расположение измерительных датчиков в ППТ приведено на рис. 1. В полости в сечении S_0 между спиралью ВМГ и взрывным размыкателем размещены дифференцирующие датчики D_n , предназначенные для регистрации производной тока спирального генератора. В полостях в сечениях S_1-S_3 устанавливались датчики D_1-D_3 для измерения параметров импульса тока, формируемого взрывным размыкателем в плазменном канале ППТ. Рядом с плазменными инжекторами снаружи камеры установлен датчик рентгеновского излучения (СППД).

В каждом сечении размещалось не менее четырех датчиков. В опыте использовалось более 40 каналов регистрации на аналоговых и цифровых осциллографах. Обработка экспериментальных данных показала, что все методики согласуются между собой с точностью до погрешности измерений.

Результаты эксперимента. На рис. 2 изображены характерные осциллограммы тока и производной тока в ППТ и рентгеновского сигнала.

Из приведенных осциллограмм видно, что критический ток через ПТК (максимальный ток стадии накопления) равен 1.9 ± 0.1 МА, максимальная скорость спада тока в стадии разрыва плазменного токового канала составила $\sim 1 \cdot 10^{13}$ А/с, глубина спада тока, равная разности между максимальным (критическим) и минимальным значениями тока в момент разрыва ПТК, составляет ~ 1 МА. Процесс разрыва ПТК начался через 500 ns после начала протекания тока в контуре ППТ. Различный уровень регистрируемых токов в сечениях 3 и 4 после этого момента говорит о возникновении вторичного пробоя в камере ППТ (это подтверждается сигналом с датчика СППД, регистрирующим рентгеновское излучение), что свидетельствует о генерации высоковольтного импульса между центральным электродом и корпусом камеры ППТ при „разрыве“ тока в ПТК. Также следует отметить, что сигналы, зарегистрированные в сечениях S1, S2, S3, S4, хорошо согласуются между собой как по форме, так и по амплитуде, что подтверждает достоверность полученной информации.

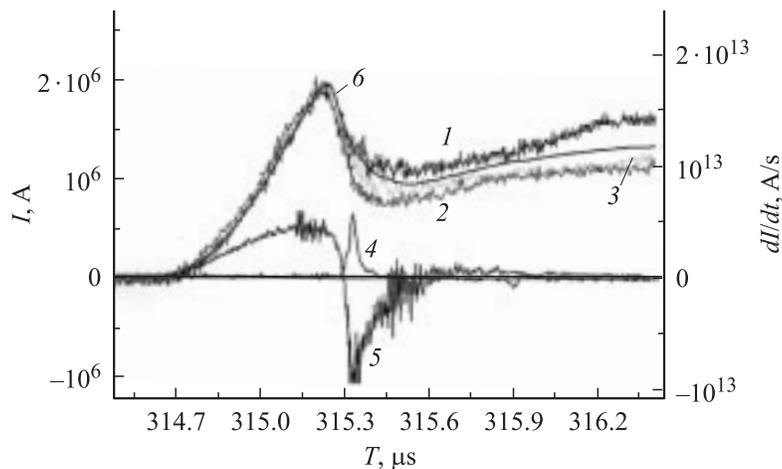


Рис. 2. Осциллограммы тока, производной тока ППТ и рентгеновского сигнала: 1 — сигнал с интегрирующего датчика сечения S3; 2, 3 — сигналы с интегрирующих датчиков сечения S4; 4 — сигнал датчика СППД, 5 — сигнал с дифференцирующего датчика сечения S3, 6 — проинтегрированный по времени сигнал 5.

Заключение. Проведен взрывной эксперимент с запиткой ППТ от спирального ВМГ. В опыте зарегистрирована величина критического тока 1.9 ± 0.1 МА, максимальная скорость спада тока в режиме разрыва плазменного токового канала составила $\sim 1 \cdot 10^{13}$ А/с, зафиксирован рентгеновский сигнал, свидетельствующий о возникновении высокой электродвижущей силы в момент срабатывания ППТ.

Список литературы

- [1] Жданов В.С., Корнилов В.Г., Селемир В.Д. // ЖТФ. 2003. Т. 73. В. 7. С. 125–132.