Дисперсионный интерферометр для контроля плотности плазмы в токамаке Глобус-М2

Соломахин А.Л., Гринемайер К.А., Зубарев П.В., Иваненко С.В., Коваленко Ю.В., Пурыга Е.А., Савкин В.Я., Хильченко А.Д.

Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН, г. Новосибирск, Россия, A.L.Solomakhin@inp.nsk.su

Одной из главных целей, которую пытаются достичь современные исследования по термоядерному синтезу, является обеспечение непрерывного режима работы термоядерного реактора или источника нейтронов на основе токамака. В ФТИ им. А.Ф.Иоффе на токамаке Глобус-М2 после модернизации планируется достичь времени разряда плазмы 0,7 с [1] в режимах с безындукционным поддержанием тока. Это возможно только при использовании специальных методов управления параметрами плазмы во время разряда.

Для реализации этого метода разработана система, которая в режиме реального времени управляет параметрами плазмы при помощи автоматизированного комплекса, состоящего из дисперсионного интерферометра на основе СО2 лазера, системы регистрации и обработки данных, вычисляющей в режиме реального времени текущее значение плотности плазмы, и системы газонапуска, управляемой при помощи вычисленных параметров.

Важнейшими качествами интерферометра являются его компактность и слабая чувствительность к вибрациям оптических элементов. Благодаря выбору оптимальной для современных плазменных установок длины волны зондирующего излучения, на работу данного интерферометра практически не оказывают влияния явления рефракции и вращения плоскости поляризации в магнитном поле. Подобный интерферометр используется на установках: ГДЛ [2], W-7X [3], LHD [4], а также ранее использовался на TEXTOR [5]. При разработке данной модели дисперсионного интерферометра были учтены все недостатки предыдущих моделей на установках ГДЛ и TEXTOR. В частности, был установлен стабилизированный лазер, приняты дополнительные меры для развязки лазерного резонатора от оптической схемы, уменьшена чувствительность схемы к поперечным смещениям уголкового отражателя, а также увеличена температурная стабильность элементов оптической схемы интерферометра. Разработка новой автоматизированной системы регистрации и обработки данных основывалась на прошлых наработках в этом направлении, но в ней используется принципиально новый алгоритм восстановления плотности плазмы, основанный на преобразовании Фурье и применении CORDIC процедур. Сигнал, зарегистрированный фотоприемником, оцифровывается быстродействующим АЦП и передаётся в узел цифровой потоковой обработки данных для реализации алгоритма восстановления фазы в режиме реального времени. Этот узел построен на основе программируемой вентильной матрицы (FPGA). Для обеспечения обратной связи и управления плотностью плазмы, результаты измерений передаются удаленному модулю цифро-аналогового преобразователя, встраиваемому в технологические подсистемы газонапуска. Важной частью этой работы является определение оптимальной методики управления газонапуском в вакуумную камеру в условиях меняющегося во время разряда рециклинга газа со стенок вакуумной камеры и инжекции мощных атомарных пучков.

Литература

1. V.B. Minaev et al. 2017 Nucl. Fusion 57 066047.
2. А.Л.Соломахин и др. 2005 Приборы и техника эксперимента 5 96.
3. J. Knauer et. Al. 43rd EPS Conference on Plasma Physics P4.017.
4. T. Akiyama et al. 2015 JINST 10 P09022.
5. Dreier et al. 2011 Rev. Sci. Instrum. 82 063509.