Сравнение цифрового и аналогового методов фазовых измерений Коттон-Мутон поляриметра на установке Т-11М

А.А. Петров, В.Г. Петров, Д.А. Скопинцев

Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований, г. Троицк, Московская область, Россия, [scopintsev.d.a@triniti.ru](mailto:scopintsev.d.a@triniti.ru)

В докладе представлены результаты, полученные при сравнении цифрового и аналогового методов фазовых измерений в Коттон-Мутон поляриметре [1] на установке Т-11М.

Широко применяемые в интерферометрии плазмы аналоговые преобразователи фаза-напряжение имеют точность порядка 1%. Это вполне удовлетворительная величина в случае обычной интерферометрии, в которой фазовый набег за время разряда установки как правило составляет несколько полос. В Коттон-Мутон поляриметре, применяемом для измерения плотности на токамаке Т-11М, измеряемые фазовые сдвиги обычно не превышают величины 2π. Это обеспечивает «бессбойность» фазовых измерений. Такая методика полезна при измерении плотности на крупных установках, например в ИТЭР, где фазовые набеги в обычном классическом варианте интерферометра составляют много полос. Уменьшение диапазона фазовых измерений до 2π, с другой стороны, предъявляет достаточно высокие требования к точности и линейности фазовых измерений. По этой причине целесообразно перейти к цифровому методу измерения фазы, вместо применяющейся в настоящее время в поляриметре аналоговой системы фазовых измерений. Суть применённого метода заключается в прямой оцифровке сигналов промежуточной частоты измерительного и опорного каналов (частота несущей — 465 кГц), и в последующем определении набега фазы между ними вычислительными методами. При этом нелинейности преобразователя фаза-напряжение исключаются.

Вначале программным способом определялся набег фазы для модельных сигналов (с разными уровнями сигнал/шум), и проводилась оптимизация и отладка алгоритма определения фазы. Затем производились одновременные измерения фазы цифровым методом с помощью выработанного алгоритма и аналоговым методом с помощью стандартных аналоговых фазометров поляриметра Т-11М.

Для оцифровки сигналов промежуточной частоты применялось быстрое АЦП (12 бит, 100 МГц с буферной памятью 2 ГБ). Время сбора составляло 240 мс. Оцифровка с шагом 10 нс позволила применить предварительную цифровую фильтрацию анализируемых сигналов на основе вейвлет-преобразования [2] для избежания сдвига фазы при фильтрации. В аналоговых фазометрах поляриметра применялись полосовые фильтры с шириной ~5 кГц.

Проведенное сравнение полученных данных показало хорошее соответствие временной эволюции и значений фазы, измеренных аналоговым фазометром и с помощью цифрового метода. При этом цифровой метод обеспечивает более высокое временное разрешение и лучшую точность определения фазы.

Литература

1. Петров В.Г., Петров А.А., Малышев А.Ю. и др. Физика плазмы, т. 30, №2, **2004**. C. 129.
2. Смоленцев Н.К. Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в MATLAB. – М.:ДМК, **2005**.