Методы извлечения фазы из сигналов гетеродинного СВЧ-интерферометра 95 ГГц для определения плотности плазмы в разрядах на стенде ПН-3 [[1]](#footnote-1)\*)

Брагин Е.Ю., Бунин Е.А., Дрозд А.С., Сергеев Д.С., Сухов А.Е., Диас Михайлова Д.Е., Жильцов В.А., Хайрутдинов Э.Н.

НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия, [970107@bk.ru](mailto:970107@bk.ru)

В НИЦ «Курчатовский институт» проводятся плазменные эксперименты на макете геликонного двигателя [1], которым является стенд ПН-3 [2, 3]. Измерения плотности плазмы осуществляются гетеродинным СВЧ-интерферометром [4], зондирование плазмы осуществляется обыкновенными волнами в вертикальном направлении в области диагностического объема. Частота зондирующего излучения составляет 95 ГГц, измерения проводятся на промежуточной частоте в 78 МГц с последующим понижением до 200 кГц, также выводится сигнал с задающего кварцевого осциллятора частотой в 10 МГц.

Величина фазового сдвига при зондировании плазмы обыкновенными электромагнитными волнами пропорциональна плотности прозондированной плазмы [5]. Целью работы является сравнение различных методов извлечения фазы из сигналов СВЧ-интерферометра стенда ПН-3: постобработка оцифрованных сигналов с применением преобразования Гильберта и по пересечению нуля, получение данных с фазового детектора AD8302, постобработка сигналов с квадратурного детектора.

Сигнал с задающего кварца (10 МГц) делился по частоте в 50 раз (референсный 200 кГц) и использовался в качестве опорного. Для уменьшения паразитного взаимного влияния при разветвлении сигналов использовались повторители напряжения на операционных усилителях. Для наладки оборудования и определения точности измерения каждой из методик подавались сигналы от генератора сигналов специальной формы АКИП-3409/3, которые имитировали сигналы гетеродинного СВЧ-интерферометра.

В работе приводятся характерные величины фазовой ошибки при использовании каждого метода без дополнительной фильтрации и после применения фильтра по частотам. Представлены результаты обработки экспериментальных данных линейной плотности плазмы, измеренные с помощью СВЧ-интерферометра на стенде ПН-3. Одновременно велся сбор данных с фазового и квадратурного детекторов, а также сигналы ПЧ2 (200 кГц) и референсный (200 кГц), после чего полученные данные обрабатывались и анализировались. В результате анализа указывается на преимущества и недостатки каждого из используемых методов, а также пути их совершенствования.

Литература

1. Takahashi K. Helicon-type radiofrequency plasma thrusters and magnetic plasma nozzles //Reviews of Modern Plasma Physics. – 2019. – Т. 3. – №. 1. – С. 1-61.
2. Zhil’tsov V.A., Kulygin V.M. Fusion and Space //Physics of Atomic Nuclei. – 2019. – Т. 82. – №. 7. – С. 963-976.
3. Kutuzov D. S. PN-3 helicon plasma device as a testing facility for plasma propulsion study //Space Propulsion Conference. – 2021. – SPC2020\_0301
4. Брагин Е.Ю., Бунин Е.А., Дрозд А.С., Сергеев Д.С., Сухов А.Е. Первые результаты измерений плотности плазмы гетеродинным СВЧ-интерферометром 95 ГГЦ на стенде ПН-3 Сборник трудов VIII Международной конференции «Лазерные, плазменные исследования и технологии ЛаПлаз-2022»: Москва, НИЯУ «МИФИ», 22-25 марта 2022 г., с. 134.
5. Veron D. Submillimeter interferometry of high-density plasmas. NY: Academic Press, 1979.

1. \*) [DOI – тезисы на английском](http://www.fpl.gpi.ru/Zvenigorod/L/Lt/en/FV-Drozd_e.docx) [↑](#footnote-ref-1)