

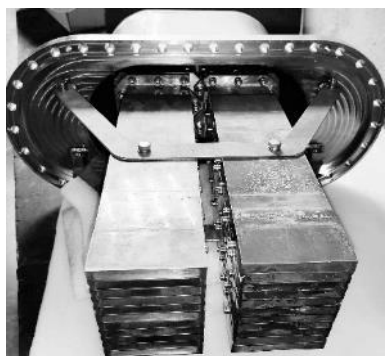
РАЗРАБОТКА МНОГОВОЛНОВОДНОЙ АНТЕННЫ MULTIJUNCTION ТИПА НА ЧАСТОТУ 2,45 ГГц ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ТОКАМАКЕ ГЛОБУС-M2 ^{*)}

Алтухов А.Б., Варфоломеев В.И., Гурченко А.Д., Гусаков Е.З., Дьяченко В.В.,
Ирзак М.А., Коновалов А.Н., Мареев А.С., Нечаев С.А.

ФТИ им. А.Ф. Иоффе, С.-Петербург, Россия, a.altuhov@mail.ioffe.ru

В современных токамаках системы дополнительного нагрева и генерации тока (ГТ), использующие СВЧ-волны являются необходимой составной частью. ГТ в термоядерной плазме с помощью медленной ниже-гибридной (НГ) волны с использованием многоволноводных антенн (МВА) multijunction (MJ) типа [1-3] является эффективным методом, хотя и локализована на периферии и имеет ограничения по плотности плазмы. МВА предназначена для возбуждения волн, замедленных вдоль тороидального магнитного поля и распространяющихся в направлении электронного тока. Спектр продольных замедлений $N_{||}$ возбуждаемых волн определяется свойствами плазмы, но обеспечивается конструкцией МВА, в которой используется определенная последовательность фазировки между волноводами. МВА, как и вся система ГТ, строится по модульному принципу, в котором каждый канал запитывается клистронным генератором мощностью 200 кВт, и с целью наращивания мощности легко поддается масштабированию. Для токамака Глобус-M2 подготовлена двухканальная система ГТ НГ-волнами на частоте 2.45 ГГц с мощностью 400 кВт.

На основе численных расчетов был разработана и изготовлена экспериментальная МВА



MJ-типа, представленная на рисунке 1. В каждом из двух модулей антенны волновод сечения $90 \times 45 \text{ мм}^2$ разделяется на два волновода того же сечения, затем каждый из них в Н-плоскости с помощью ножевых делителей расщепляется на 4 канала и на выходе образуется две последовательности из 4 активных излучающих волноводов сечением $90 \times 9.75 \text{ мм}^2$, с установленными по краям тремя заглушенными на четвертьволновой глубине пассивными волноводами. Внутренние вставки обеспечивают между смежными волноводами в МВА сдвиг фазы $\pi/2$, что за счет многопроходности, реализуемой в волноводной системе,

эффективно снижает уровень обратно отраженной от поверхности плазмы СВЧ-мощности. Созданный модуль предназначен для отработки новой для России технологии создания MJ-антенны, поэтому с одной стороны проверялась возможность его разработки для условий Т-15МД, а с другой закладывалась возможность тестирования на Глобус-M2. Согласно расчетам для условий Т-15МД разработанная МВА обеспечивает в спектре продольных замедлений максимум вблизи $N_{||} = 2.8$, при этом для $N_{||} > 2.2$ НГ-волны удовлетворяют критерию доступности и способны проникать в центральную зону разряда, коэффициент отражения мощности на входе антенны $R = 4\%$, а коэффициент направленности спектра $D = 43\%$. Из-за меньшего магнитного поля на Глобус-M2 в центральные области проникают волны с $N_{||} > 3.3$. Для того же антенного модуля, лишь наиболее коротковолновая часть спектра удовлетворяет этому условию, при этом $R = 6.3\%$, $D = 53\%$.

Разработка МВА выполнена при поддержке Государственного задания ФТИ им. А.Ф. Иоффе по теме FFUG-2022-0002, а численные расчеты – по теме FFUG-2024-0028.

Литература

- [1]. Bibet P., Litaudon X., Moreau D., Nucl. Fusion, 1995, 35, 1213.
- [2]. Kim J., Han J., Wang S., et al., Fusion Eng. Des., 2019, 144, 29.
- [3]. Li M.H., Liu L., Tang Y.Y., et al., Fusion Eng. Des., 2019, 147, 111250.

^{*)} DOI – тезисы на английском