

УДК 621.385.6

## РАСЧЕТ ПРОВОДИМОСТИ КОЛЬЦЕВОЙ АНТЕННЫ В ОДНОРОДНОЙ МАГНИТОПЛАЗМЕ

ПАНФИЛОВ И.П., ФЛЕЙТА Ю.В.

Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова

## THE CALCULATION OF CONDUCTIVITY RING ANTENNA IN A HOMOGENEOUS MAGNETOPLASMA

PANFILOV I.P., FLEYTA J.V.

Odessa national academy of telecommunications named after O.S. Popov

**Аннотация.** Получено решение задачи расчета входной проводимости антенны, погруженной в магнитоплазму. Приведены примеры расчета входного импеданса антенны при различных параметрах плазмы.

**Annotation.** Obtain a solution of the problem of calculating the input admittance of the antenna, immersed into a magnetoplasma. There are given examples of calculation of the input antennas impedance at various plasma parameters.

Одним из методов диагностики плазмы при анализе СВЧ приборов является метод СВЧ зондов. В этом методе параметры плазмы (концентрация электронов и частота соударения электронов) определяются по входному сопротивлению антенны, погруженной в плазму. Одним из достоинств этого метода является возможность проводить измерения параметров плазмы, находящейся в магнитном поле. Такие измерения проводились как в ионосферной, так и в лабораторной плазме [1]. Необходимым условием применимости этого метода является необходимость установления связи между параметрами плазмы и входной проводимости антенны, т.е. возможность достаточно точно вычислить входную проводимость, антенны погруженной в плазму. Ранее была вычислена входная проводимость такой антенны в изотропной плазме и это позволило успешно использовать ее для диагностики такой плазмы [2,3]. Однако проблема расчета входной проводимости антенны, погруженной в магнитоплазму до сих пор не решена.

Целью данной статьи является вычисление входной проводимости кольцевой апертурной антенны, возбуждаемой коаксиальной линией (рис.1).

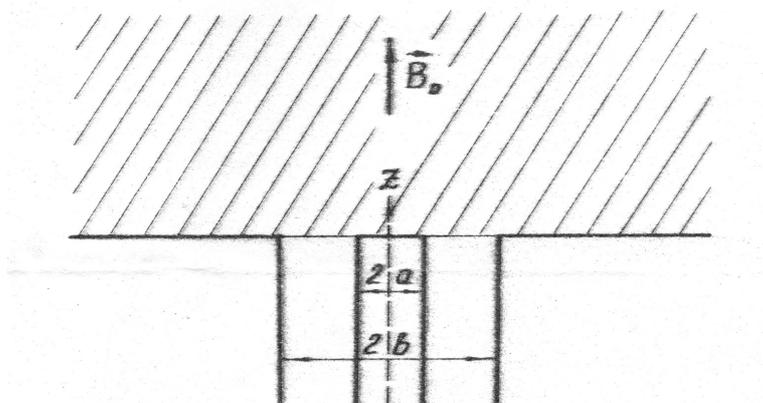


Рисунок 1 – Кольцевая апертурная антенна возбуждаемая коаксиальной линией

Вычислим входную проводимость кольцевой апертурной антенны, возбуждаемой ТЕМ – волной коаксиальной линии и окруженной холодной однородной магнитоплазмой. Нас будет интересовать входная проводимость в высокочастотной области, потому будем считать ионы неподвижными. Высокочастотные колебания плазмы (с временной зависимостью  $\exp(-i\omega t)$ ) будем описывать уравнениями Максвелла и линеаризованными уравнениями гидродинамики для электронов. Будем также считать, что постоянное магнитное поле  $\vec{B}_0$  направлено вдоль оси системы (оси z). С помощью вариационной методики [4] для входной проводимости Y кольцевой апертурной антенны в холодной однородной магнитоплазме можно получить приближенное выражение

$$\frac{Y}{Y_0} = \frac{k_0 \varepsilon_1}{\ln \frac{b}{a}} \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}} \frac{T_0}{\varepsilon_0} \frac{\int_{z_0(k_1 a)}^{z_0(k_1 b)} \frac{1}{k_1} \sqrt{k_1 k_2 - k_1^2 + k_0^2 \varepsilon_1} dz}{k_1 k_2 (k_1 + k_2)} dk_1. \quad (1)$$

Здесь  $Y_0$  – проводимость бесконечной коаксиальной линии, заполненной диэлектриком,  $\varepsilon$  и  $\mu$  – электрическая и магнитная постоянные диэлектрика, заполняющего коаксиальную линию,

$$\varepsilon_1 = 1 - \frac{\Omega_e^2}{(\omega - i\nu)^2 - \omega_e^2}, \quad \varepsilon_2 = \frac{\omega_e^2 \Omega_e^2}{\omega (\omega + i\nu)^2 - \omega_e^2},$$

$$\varepsilon_3 = 1 - \frac{\Omega_e^2}{\omega (\omega + i\nu)}, \quad k_0 = \frac{\omega}{c}, \quad \Omega_e^2 = \frac{Ne^2}{\varepsilon_0 m}, \quad \omega_e = \frac{eB_0}{m},$$

$k_1$  и  $k_2$  – два корня биквадратного уравнения

$$(k_0^2 \frac{\varepsilon_1^2 - \varepsilon_2^2}{\varepsilon_1} - k_1^2 - k_j^2) \sqrt{k_0^2 - \frac{k_1^2}{\varepsilon_3} - \frac{k_j^2}{\varepsilon_1}} - \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1^2} k_0^2 k_j^2 = 0$$

для которых  $\text{Re} k_j \geq 0, \text{Im} k_j \leq 0$ .

Соотношение (1) приближенное, т.к. оно получено в предположении, что распределение электрического поля на апертуре имеет тот же вид, что и в поперечном сечении бесконечной коаксиальной линии. Однако сравнение расчетов, выполненных в этом приближении, с измеренными значениями проводимости [2,3] убеждает нас в том, что такое приближение обеспечивает достаточную точность.

Полученная формула (1) для входной проводимости весьма проста и удобна для расчетов.

Результаты вычислений импеданса кольцевой апертурной антенны в магнитоплазме представлены на рис.2. На рис.2а представлен импеданс антенны в плазме с параметрами  $\Omega_e = 2\pi \cdot 3 \cdot 10^8$  рад/сек,  $\omega_e = 2\pi \cdot 2.5 \cdot 10^8$  рад/сек,  $v/\Omega_e = 10^{-3}$ ; на рис 2б – в плазме с параметрами  $\Omega_e = 2\pi \cdot 3 \cdot 10^8$  рад/сек,  $\omega_e = 2\pi \cdot 6.9 \cdot 10^8$  рад/сек,  $v/\Omega_e = 10^{-3}$ . В обоих случаях

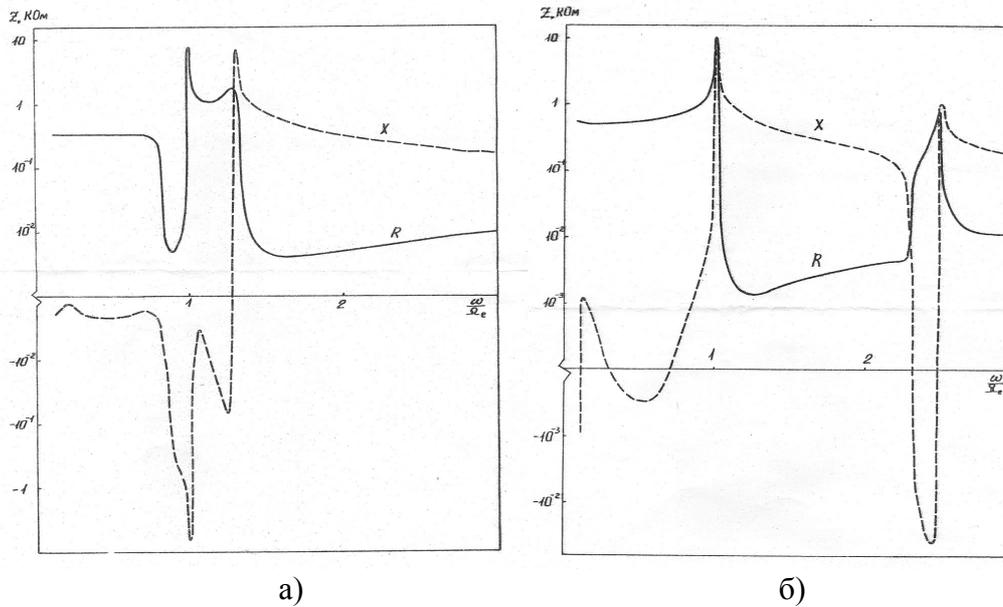


Рисунок 2 – Зависимость импеданса кольцевой апертурной антенны от параметров магнитоплазмы

$a = 2.17$  мм,  $b = 2.3a$ . Импеданс антенны при различных частотах определяется теми типами волн, которые возбуждаются в плазме при этих частотах. Характерной особенностью импеданса антенны в магнитоплазме являются резонансы на плазменной и верхней гибридной частотах. Они имеют место при любом соотношении частот  $\Omega_e$  и  $\omega_e$ . Такое поведение импеданса согласуется с измерениями [5], хотя полного совпадения ожидать нельзя ввиду того, что в [5] использовалась не кольцевая апертурная антенна, а линейная антенна.

Возможность вычислять входную проводимость кольцевой апертурной антенны в магнитоплазме с помощью простой формулы (1) позволяет использовать такую антенну для диагностики магнитоплазмы.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Vafmain K.G. / K.G. Vafmain // Ann. Telecommunic. – 1979. – v.34, №3-4. - p.273.
2. Грязнова Т.А. / Т.А Грязнова, Н.Н. Иванчинов, К.С. Карплюк, Е.Г. Филоненко, И.П. Шашурин / Журнал технической физики. – 1976. - Т.46, №5. - С.1081.
3. Карплюк К.С. / К.С. Карплюк, В.П. Павленко // Радиотехника и электроника. - 1977, Т.22, №1. - С.15.
4. Levin H. / H Levin, C.H. Papas // Journal of Applied Physics. - 1951 – v. 22, №1. - p.29.
5. Sawaya K./ K.Sawaya , T. Ishizone, Y. Mushiake // Radio Science. – 1978. v.13, №1. - p.21.