

# Вестник МОСКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

№ 1 — 1965

Ю. В. ГОРОХОВ, В. П. МОДЕНОВ, С. В. ПРОКОФЬЕВА

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОХОЖДЕНИЯ ВОЛНЫ $H_{11}$ ЧЕРЕЗ ОГРАНИЧЕННУЮ ПЛАЗМУ В КРУГЛОМ ВОЛНОВОДЕ

Экспериментально изучалась зависимость коэффициента прохождения электромагнитной волны типа  $H_{11}$  в круглом волноводе от свойств газоразрядной плазмы, заполняющей конечный участок его длины. Наблюдался эффект объемного резонанса высших типов колебаний в волноводе с газоразрядной плазмой, закритичном для основного типа распространяющейся волны, при толщине плазмы много меньшей длины волны в волноводе.

В работе [1] приводятся результаты расчета коэффициента отражения волны  $H_{11}$  в круглом волноводе от локального гиротропного заполнения, соответствующего однородной намагниченной плазме без потерь. Экспериментальные данные качественно согласуются с результатами численного решения задачи на электронной машине.

Эксперимент ставился в условиях, близких к расчетным. К исследуемому волноводу с плазмой были предъявлены основные требования: 1) волновод должен быть регулярным; 2) форма плазмы — цилиндр с радиусом, близким к радиусу волновода; 3) плазма должна быть возможно более однородна; 4) потери в плазме — минимальны. Лучшее всего им удовлетворяет способ получения плазмы СВЧ разрядом, создаваемым импульсным магнетронным генератором (мощность  $\sim 50$  Квт). Поскольку высокочастотные потери в плазме должны быть сведены до минимума, измерения проводились в стадии деионизации, когда температура электронов уменьшается практически до комнатной. Исследования проводились в трехсантиметровом диапазоне.

Блок-схема установки представлена на рис. 1, а. Высокочастотная измеряемая мощность от генератора 1 через аттенуатор 2 и антенный переключатель 3 поступала в исследуемый волновод с плазмой 4. Импульс, поджигающий разряд, подавался с магнетронного генератора 7. Антенные газоразрядные переключатели 3 и 6 использовались для защиты измерительных и индикаторных устройств от перегрузки мощностью магнетронного генератора. Благодаря антенному переключателю блокировки магнетронного генератора 5 высокочастотная мощность, прошедшая через разряд, полностью отвечала в детекторе 9. Сигнал с детектора подавался на импульсный осциллограф 8. Синхронизация осциллографа и модулятора магнетронного генератора осуществлялась с помощью запускающего генератора 10. Время восстановления газоразрядных антенных переключателей имело порядок  $10^{-5}$  сек (на 1—2 порядка меньше времени восстановления исследуемого разряда). Общий вид конструкции волновода представлен на рис. 1, б. В волновод помещались специальной формы стеклянные баллоны с тонкими стенками и внешним диаметром, близким к внутреннему диаметру волновода. Основное требование к газу — химическая устойчивость и большое время деионизации. Использовался неон при давлении 4—5 мм рт. ст. Время деионизации  $10^{-3}$ — $10^{-4}$  сек.

На частоте измерительного генератора  $f = 9400$  мГц наблюдалась зависимость квад-

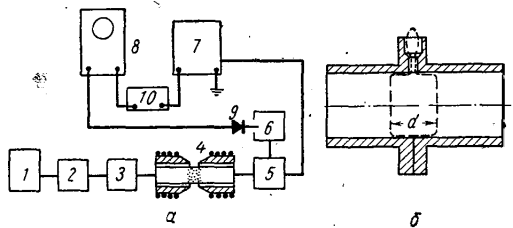


Рис. 1

рата коэффициента прохождения  $T$  от концентрации  $N^*$ . Качественные наблюдения показали, что при наложении продольного магнитного поля зависимость  $|T(N)|^2$  не является монотонной. Кривая имеет экстремумы. Положение экстремумов определяется величиной магнитного поля и концентрацией электронов в плазме.

На рис. 2, а представлена зависимость коэффициента проходящей мощности от концентрации для фиксированного магнитного поля. Здесь  $q = \frac{\omega_{пл}}{\omega}$  и  $\sigma = \frac{\omega_H}{\omega}$  — безразмерные величины, зависящие от концентраций электронов в плазме и величины маг-

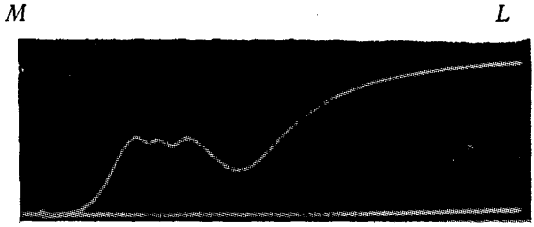
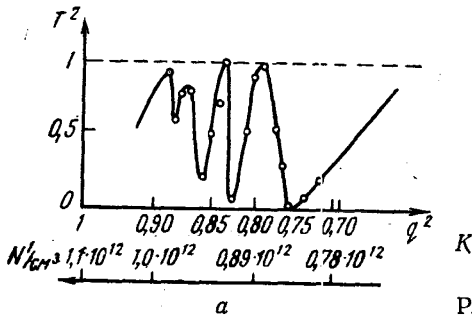


Рис. 2

нитного поля соответственно ( $\omega_{пл}$  — плазменная частота,  $\omega_H$  — циклотронная частота,  $\omega$  — частота падающей волны) \*\*.

На рис. 2, б представлена осциллограмма мощности, прошедшей через плазму. Началу стадии деионизации (точка К) соответствует максимальная концентрация электронов.

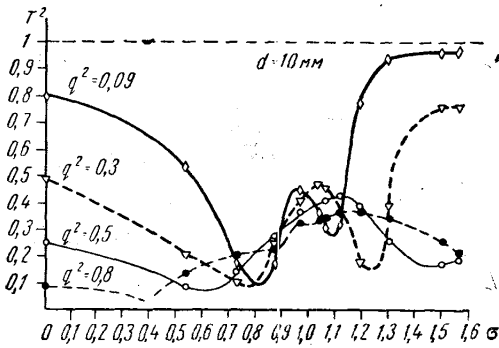


Рис. 3

на этом является за критическим для основного типа волны  $H_{11}$ . С уменьшением концентрации слева направо величина прошедшей мощности увеличивается до уровня  $ML$ .

Резонансные экстремумы (рис. 2, а) на осциллограмме менее резко выражены по сравнению с расчетной кривой. Это можно объяснить наличием высокочастотных потерь в плазме и неоднородностью плазмы.

На основе экспериментальных осциллограмм построены графики зависимости  $|T(\sigma)|^2$  коэффициента прошедшей мощности от величины магнитного поля для различных значений концентрации электронов.

На рис. 3 представлена зависимость коэффициента прошедшей мощности от величины магнитного поля для различных значений концентрации (толщина плазмы  $d = 10$  мм, длина волны в волноводе  $\lambda_B = 55,4$  мм). Из графика видно, что коэффициент  $T^2$  монотонно уменьшается с увеличением магнитного поля до некоторого значения  $\sigma_0$ , при котором коэффициент прохождения имеет наименьшее значение, что соответствует обращению в нуль диэлектрической проницаемости плазмы ( $\epsilon = 0$ ). Значение  $\sigma_0$  является точкой отсечки основного типа распространяющейся волны квази- $H_{11}$ . При  $\sigma > \sigma_0$  ( $\epsilon < 0$ ) зависимость  $|T(\sigma)|^2$  коэффициента прошедшей мощности от величины магнитного поля носит явно выраженный резонансный характер, который может быть объяснен объемным резонансом высших типов волн. При больших значениях  $\sigma$  ( $\sigma > 1$ ) резонанс не наблюдается. Сравнение рис. 3 с рис. 1 [1] показывает их качественное совпадение.

Очевидно, с учетом неоднородности и высокочастотных потерь в плазме станет возможным количественное сравнение экспериментальных результатов с расчетными данными.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Свешников А. Г., Моденов В. П. «Радиотехника и электроника», 8, вып. 12, 1998, 1963.

Поступила в редакцию  
1. 4 1964 г.

Кафедра  
радиотехники

\* В работе [1] рассчитывался модуль коэффициента отражения  $|R|$  волны  $H_{11}$ , связанный с коэффициентом прохождения  $T$  соотношением  $R^2 + T^2 = 1$ .

\*\* Кривая на рис. 2, а подсчитана на электронной вычислительной машине для данных эксперимента  $\lambda = 32$  мм,  $d = 6$  мм,  $\sigma = 0,5$ .