

## О СООТНОШЕНИИ МЕЖДУ КОЭФФИЦИЕНТОМ ФАЗЫ И КОЭФФИЦИЕНТОМ ЗАТУХАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ВОЛНЫ, РАСПРОСТРАНЯЮЩЕЙСЯ В ПЛАЗМЕ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ФАКЕЛЬНОГО РАЗРЯДА

Ю.Ю.Луценко

Томский политехнический институт, 634004  
(Поступило в Редакцию 20 декабря 1991 г.  
В окончательной редакции 26 ноября 1993 г.)

Для понимания физических процессов, протекающих в плазме высокочастотного факельного разряда (ВЧФР), большое значение имеет правильное представление о характеристиках электромагнитной волны, распространяющейся в разряде.

Наиболее важным параметром, характеризующим процесс распространения электромагнитной волны, является волновое число  $h = \alpha + j\beta$ , действительная часть которого  $\alpha$  (коэффициент фазы) определяет длину электромагнитной волны в плазме разряда, мнимая часть  $\beta$  (коэффициент затухания) характеризует процесс затухания поля в плазме разряда.

В ранее проводимых экспериментальных исследованиях [1] получено, что  $2\pi\alpha^{-1} \sim L$ ,  $\beta^{-1} \sim 0.15-0.25 L$ , где  $L$  — длина канала разряда. Таким образом, по результатам работы [1] на расстоянии  $0.15-0.25 L$  от электрода происходит диссипация 85 % ( $1 - e^{-2}$ ) энергии электромагнитной волны. Столь сильное затухание электромагнитной волны вызывает сомнение, так как в этом случае плотность источников диссипации энергии, достаточной для поддержания процесса горения, не обеспечивается по всей длине канала разряда. Заметим также, что выше указанные измерения проводились [1] посредством поясов Роговского, собранных в единый блок оси разряда. Так как емкость и индуктивность измерительной системы значительно превышала емкость и индуктивность плазмоида разряда, то измерения ВЧ тока в разряде сводились фактически к измерению токов утечки.

С целью уточнения величины  $\beta/\alpha$  нами был проведен следующий эксперимент. В ближнюю зону излучения ВЧФР помещалась одновитковая рамка, сигнал которой подавался на вход измерительного прибора. Схема измерительной установки приведена на рис. 1. С целью уменьшения собственной емкости измерительной системы осуществлялся разрыв проводов в местах соединения рамки с передающей коаксиальной линией. Радиус рамки составлял 5–6 мм, что позволяет говорить о локальности проводимых измерений. При вращении рамки относительно оси, перпендикулярной [2] оси разряда, определялось изменение фазового сдвига и амплитуды сигнала, наводимого на рамке высокочастотным полем.

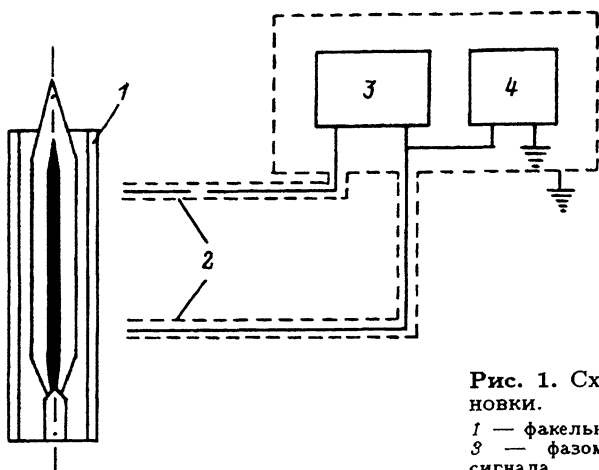


Рис. 1. Схема экспериментальной установки.

1 — факельный разряд, 2 — зонды, 3 — фазометр, 4 — генератор опорного сигнала.

Заметим, что для цилиндрических структур в непроводящей зоне отношение комплексных амплитуд радиальной компоненты электрического поля  $E_r$  и аксиальной компоненты магнитного поля  $H_\varphi$  определяется непосредственно [3] величиной волнового числа

$$\frac{E_r}{H_\varphi} = \frac{h\mu\omega}{k_2^2}. \quad (1)$$

Учитывая, что величина  $\mu\omega/k_2^2$  действительная, из выражения (1) получим

$$e^{j[\psi_{E_r} - \psi_{H_\varphi}]} = C \cdot e^{j \arctg \frac{\beta}{\alpha}}, \quad (2)$$

где  $C$  — действительная константа,  $\psi_{E_r}$  и  $\psi_{H_\varphi}$  — фазы соответственно  $E_r$  и  $H_\varphi$ .

Таким образом, согласно выражению (2), по величине фазового сдвига между радиальной компонентой электрического поля и аксиальной компонентой магнитного поля однозначно определяется отношение коэффициента затухания к коэффициенту фазы электромагнитной волны, распространяющейся в плазме ВЧФР.

В то же время эдс, наводимая на рамке в зоне излучения ВЧФР, представляет собой сумму [2] эдс, наводимой электрической компонентой поля  $E_r$ , и эдс, наводимой магнитной компонентой поля  $H_\varphi$ .

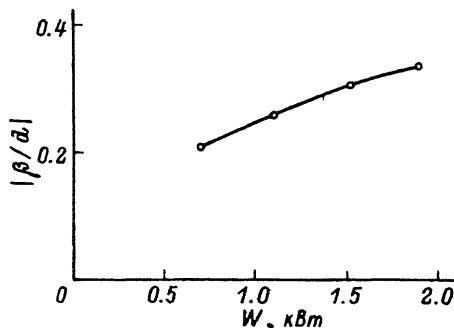


Рис. 2. Зависимость величины  $|\beta/\alpha|$  от тепловой мощности разряда.

$W$ , кВт	$\psi_I _{\varphi=\pi/2}$ , град	$\psi_I _{\varphi=-\pi/2}$ , град
0.6	7	-40
1.0	6	-40
1.5	8	-56
1.9	9	-53

Вследствие этого фазовый сдвиг  $\psi_I$  суммарного сигнала, возникающий в результате поворота рамки на угол  $\varphi$ , определится следующим образом:

$$\operatorname{ctg} \psi_I = \frac{\xi}{\sin \psi_{H_\varphi} \sin \varphi} + \operatorname{ctg} \psi_{H_\varphi} \quad (\xi = \frac{A}{B}). \quad (3)$$

Здесь  $A$  и  $B$  — постоянные действительные величины, характеризующие величины сигналов, поступающих на вход измерительного прибора соответственно от электрической и магнитной компонент поля.

Преобразуя выражение (3) с учетом выражения (2), получим, что величина  $\beta/\alpha$  определится посредством следующего выражения:

$$\beta/\alpha = -2 [\operatorname{ctg} \psi_I|_{\varphi=\pi/2} + \operatorname{ctg} \psi_I|_{\varphi=-\pi/2}]^{-1}. \quad (4)$$

Таким образом, измерения величины  $\psi_I$  при  $\varphi = \pi/2$  и  $\varphi = -\pi/2$  позволяют путем использования выражения (4) оценить величину  $|\beta/\alpha|$ .

Результаты измерений  $\psi_I$  при  $\varphi = \pi/2$  и  $\varphi = -\pi/2$  представлены в нижеприведенной таблице для различных величин ВЧ мощностей, реализуемых в факельном разряде.

Величины  $|\beta/\alpha|$ , полученные из экспериментальных измерений и расчетов на основе вышеописанной методики, приведены в виде графиков на рис. 2 в зависимости от мощности для ВЧФР, горящего в воздухе при атмосферном давлении.

Как видно из рис. 2, величина  $|\beta/\alpha|$  для ВЧФР находится в пределах 0.25–0.35. Таким образом, предполагая, что длина электромагнитной волны сопоставима с длиной канала ВЧФР, мы можем сделать вывод о том, что падение интенсивности поля в  $e$  раз происходит на расстоянии, в 1.5–2 раза превышающем длину канала разряда, т.е. выполняется соотношение  $\beta^{-1} \sim 1.5-2L$ , что в свою очередь существенно отличается от результатов работы [1].

#### Список литературы

- [1] Качанов А.В. // Тез. докл. VIII Всесоюз. конф. по генераторам низкотемпературной плазмы. М., 1980. С. 107–111.
- [2] Тихомиров И.А., Луценко Ю.Ю. // Изв. СО АН СССР. 1989. Вып. 1. С. 81–84.
- [3] Стреттон Д. Теория электромагнетизма, Л.: Гостехиздат, 1948. 539 с.