

ПЛАЗМЕННАЯ АНТЕННА-ГЕНЕРАТОР

А.В. К и м, Г.А. М а р к о в,
А.И. С м и р н о в, А.Л. У м н о в

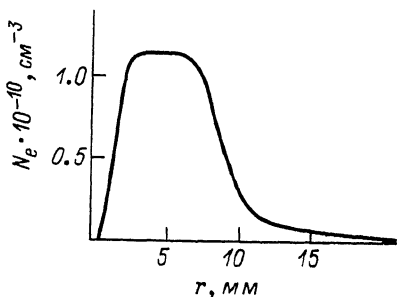
В последнее время наблюдается повышенный интерес к изучению влияния ионизационной нелинейности на характеристики антенн в плазме [1-3]. Данная работа посвящена исследованию эффективности излучения коротких вибраторных антенн в условиях коронного ВЧ разряда. Излучающий вибратор непосредственно включался в цепь генератора, так что рассматриваемая система, по существу, представляла собой активную антенну-генератор.

В экспериментах антенной служила молибденовая проволока толщиной $2a=1$ мм и длиной $l=10$ см, помещенная в кварцевый баллон (диаметром 12 см и длиной 90 см). Измерения выполнялись в диапазоне давлений воздуха $p \approx 2 \cdot 10^{-2} - 10$ Торр, которое устанавливалось на фиксированном уровне с помощью непрерывной откачки. Вибратор подключался к одному из плеч колебательного контура двухтактного генератора, работающего на частоте $f=20$ МГц. Излучение вибратора регистрировалось анализатором СЧ-22 с помощью приемной измерительной антенны ПБ-22.

При напряжении u , превышающем некоторое критическое (пороговое) значение ($u > u_{кр}$), на антенне вблизи вибратора зажигался коронный разряд. Основную роль в создании и поддержании разряда играла квазистатическая (не вихревая) компонента электрического поля. Его параметры зависели от величины напряжения u и давления p . При больших значениях $u \approx 1$ кВ и малых давлениях $p \lesssim 0.1$ Торр вибратор был окружен широкой и длинной плазменной оболочкой ($l_p > l$, $r_p \gg a$, где l_p и r_p - продольный и поперечный размеры разрядной плазмы) с температурой электронов $T_e \approx 8$ эВ. С уменьшением u размеры плазменной оболочки сокращались; сначала разряд приобретал вид тонкой короны, равномерно светящейся вокруг вибратора, а затем длина короны становилась меньше длины вибратора ($l_p > l$), пока она не исчезала у свободного конца проволоки.

На рис. 1 представлено поперечное распределение электронной концентрации N_e в разряде при $p=2$ Торр и $u=500$ В. Отвечающие этому давлению ($p=2$ Торр) зависимости амплитуд ВЧ токов в антенне (I_a), колебательном контуре (I_k) и величины излучаемой мощности ($W_{изл}$) от напряжения на антенне изображены на рис. 2, а; а зависимости сдвига частоты генератора (Δf) и величины поглощаемой в генераторе мощности (W_0) - на рис. 2, б. Из приведенных данных видно, что зажигание разряда ($u \approx 460$ В) сопровождается уменьшением рабочей частоты генератора, увеличением поглощаемой им мощности W_0 и ростом мощности излучения $W_{изл}$. Полученные в эксперименте результаты свидетельствуют

Рис. 1. Распределение концентрации плазмы в поперечном сечении вибратора при давлении 2 Торр и напряжении $U = 500$ В.



о том, что разрядная плазма уменьшает реактанс антенны, а при $l_p > l$ ведет еще и к увеличению ее эффективной длины и, следовательно, к росту сопротивления излучения.

Теоретический расчет входного импеданса Z тонкого ($a \ll l$) вибратора в плазменной оболочке достаточно просто можно выполнить лишь в случае, когда $l_p \approx l$.

Импеданс такой антенны в воздухе является емкостным и равен $Z^{(0)} = -i \frac{2}{\omega l} \ln \left(\frac{l}{a} \right)$ ($\omega = 2\pi f$). При наличии плазмы для Z справедлива следующая приближенная формула:

$$Z \approx \frac{1}{I_a} \int_a^l E(r) dr. \quad (1)$$

Здесь I_a — амплитуда тока в антенне, r — расстояние от оси. Радиальная компонента электрического поля $E(r)$ много больше продольной по всей длине излучателя и может быть определена из соотношения

$$\varepsilon E = \frac{2\pi I_a}{i\omega l} \cdot \frac{1}{r}, \quad (2)$$

где $\varepsilon = 1 - \frac{N_e}{N_{кр}} (1 + i \frac{\nu}{\omega})$ — комплексная диэлектрическая проницаемость разрядной плазмы, $N_{кр} = \frac{m(\omega^2 + \nu^2)}{4\pi e^2}$ — критическое значение электронной плотности, ν — частота электронных соударений. В качестве модели разряда рассмотрим бездиффузионный режим горения, контролируемый прилипанием электронов (в воздухе — к молекулам кислорода), в котором амплитуда поля в области, занятой плазмой, фиксируется на «пробойном» уровне $|E| = E_{кр}$ [4]. При этом для реализуемого в эксперименте случая $\nu/\omega \approx 1$ нетрудно получить, что при $l_p \gg a$

$$Y = \text{Im} Z \approx -\frac{1}{\omega l} \left(2 \ln \frac{l}{r_p} + 1 \right), \quad R = \text{Re} Z \approx \frac{2}{\omega l}, \quad (3)$$

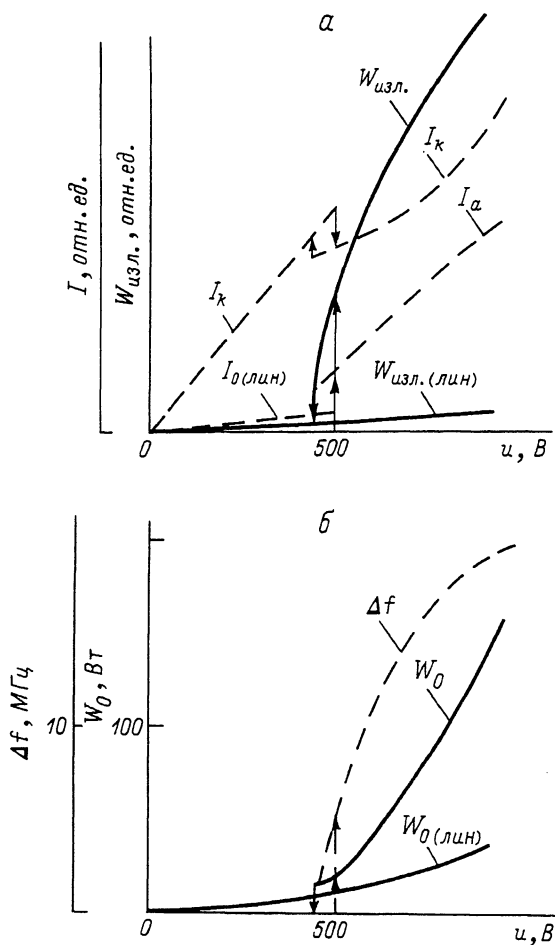


Рис. 2. Приведены зависимости от напряжения U : а - токов в контуре (I_k) к антенне (I_a) - пунктирные линии, излучаемой мощности ($W_{изл}$) - сплошные линии; б - сдвига частоты генерации (Δf) - пунктирная линия, поглощаемой в контуре мощности (W_0) - сплошная линия. Графики $W_{изл(лин)}(U)$, $W_0(лин)(U)$ и $I_{0(лин)}(U)$ относятся к случаю, когда нет разряда.

где Y - реактанс антенны, R - ее активное сопротивление, вызванное потерями в плазме, $r_p = 2I_a / \omega \epsilon E_{кр}$ - расстояние от оси, на котором поле в отсутствие плазмы равно $E_{кр}$. Соотношения (3) позволяют проследить, как при зажигании коронного ВЧ разряда с увеличением тока в антенне уменьшается ее реактанс и входное сопротивление. Так, например, в случае $U = 500$ В, $p = 2$ Торр имеем $r_p = 10$ мм (рис. 1), что согласно (3) приводит

к двухкратному уменьшению реактанса антенны по сравнению с вакуумным значением ($|\frac{Y}{Z(\omega)}| \approx 2$). Это подтверждается экспериментально измеренным увеличением тока в антенне (рис. 2, а).

Когда размер плазменной короны l_p становится больше l ($l_p > l$), расчет зависимостей $Y(I_a)$ и $R(I_a)$ представляет значительные трудности. Однако для качественной оценки входного импеданса антенны и в этом случае можно использовать соотношения (3), заменив в них предварительно l на l_p .

Таким образом, проведенные исследования показывают, что зажигание коронного ВЧ разряда может сопровождаться существенным увеличением эффективности излучения активной антенны-генератора и уменьшением ее рабочей частоты. Последнее обстоятельство позволяет использовать коронный ВЧ разряд для осуществления как амплитудной, так и частотной модуляции излучаемого сигнала, например в целях радиосвязи.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Altschuler S. Corona mode ELF antenna system. US Patent, N 4. 1986. 633. 263.
- [2] Марков Г.А. // Физика плазмы. 1988. 14, № 9. С. 1094-1098.
- [3] Левитский С.М., Филоненко Е.Г., Шашурин Т.П. // УФЖ, 1978. Т. 23, № 2. С. 318-321.
- [4] Гильденбург В.Б., Гольцман В.Л., Семенов В.Е. // Изв. Радиофизика. 1974. XVII, № 11. С. 1718-1722.

Институт прикладной
физики АН СССР

Поступило в Редакцию
31 декабря 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 5
06.3; 07

12 марта 1989 г.

МОДУЛЯЦИЯ ЧАСТОТЫ СТОКСОВА ИЗЛУЧЕНИЯ
ВЫНУЖДЕННОГО КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ
СВЕТА В ОДНОМОВОДОМ ОПТИЧЕСКОМ ВОЛНОВОДЕ

О.С. В а в и л о в а, В.И. М а л ю г и н

В данной работе приводятся результаты экспериментального наблюдения модуляции частоты первой стоксовой компоненты вынужденного комбинационного рассеяния (ВКР) света в одномодовом оптическом волокне (ООВ). Модуляция частоты проявлялась в рас-