УДК 621.374.4.001

А. А. БРАНДТ, А. В. ТЯГУНОВ

К ТЕОРИИ УМНОЖИТЕЛЯ ЧАСТОТЫ НА ГАЗОВОМ РАЗРЯДЕ В СИЛЬНО НЕОДНОРОДНОМ СВЧ ПОЛЕ

В предыдущей работе [1] отмечалось, что даже при гармоническом колебательном движении электронов в системе электродов, создающих неоднородное поле, наведенный ток содержит высшие гармонические составляющие, что объясняет механизм умножения частоты газоразрядных умножителей с неоднородным полем. Настоящая работа посвящена выявлению возможностей этого механизма умножения.

Рассмотрим цилиндрический конденсатор, заполненный плазмой, к обкладкам которого приложено переменное напряжение $u=U_0 \sin \omega t$. Вся система находится в аксиально-симметричном магнитном поле, направленном по оси конденсатора. Для увеличения амплитуды колебаний электронов в плазме напряженность магнитного поля выбирается такой, чтобы ларморова частота вращения электронов равнялась частоте приложенного напряжения. Предполагая, что электрон теряет энергию только за счет соударений с молекулами и вычисляя работу сил поля, производимую над электроном, можно, исходя из закона сохранения энергии, вычислить радиус a стационарной орбиты электрона

$$a=\frac{ev_0}{2m\gamma\omega r \ln \frac{r_2}{r_1}}, \tag{1}$$

где e, m — заряд и масса электрона, γ — частота соударений, r — расстояние от центра орбиты до оси системы, r_1, r_2 — радиусы внутреннего и наружного проводников конденсатора.

Для тока $i_н$ в цепи электродов, пользуясь теоремой о наведенном токе [2], можно получить

$$i_н=\frac{2\pi en\omega \sin \omega t}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \int\limits_{r_{мин}}^{r_2} \frac{ar^2\,dr}{a^2-2ar\cos \omega t+r^2}. \tag{2}$$

Интегрирование ведется только по тем электронам, которые при своем движении не ударяются о центральный проводник конденсатора, что дает для нижнего предела интегрирования значение $r_{мин}=r_1+a$ (рис. 1). Верхний предел интегрирования существенно не влияет на результат вычислений, поскольку вклад удаленных электронов в значение наведенного тока незначителен. Подставляя (1) в (2) и выполняя интегрирование, получим

$$i_н=\frac{\pi en\xi\omega r_{мин}^2}{\ln \frac{r_2}{r_1}}\left\{\frac{1}{2}\sin \omega t \ln \frac{\xi^2-2\xi k^2\cos \omega t+k^4}{\xi^2-2\xi\cos \omega t+1}+\right.$$

$$\left.+\cos \omega t \operatorname{arctg} \frac{(k^2-1)\,\xi \sin \omega t}{\xi^2-\xi(k^2+1)\cos \omega t+k^2}\right\},$$

где

$$\xi=\frac{a}{r_{мин}}=\frac{1}{1+\frac{r_1}{a}}, \qquad k=\frac{r_2}{r_{мин}},$$

n — концентрация электронов (*эл/см*³). Максимальное искажение формы наведенного тока (рис. 2) имеет место при $\xi \to 1$, что может быть достигнуто предельным увеличением отношения $\frac{a}{r_1}$

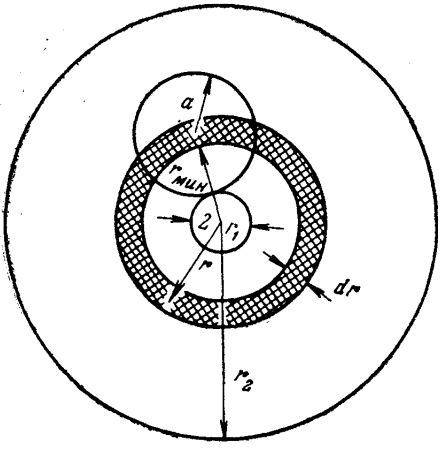

Рис. 1. К определению $r_{мин}$

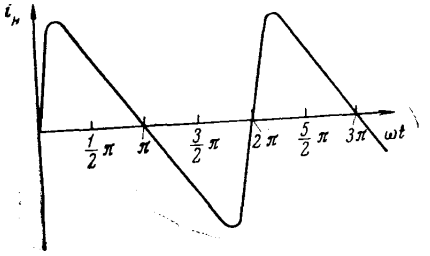

Рис. 2. Форма наведенного тока при $\xi=0{,}94$; $k=2{,}2$; $a=1{,}5$ *мм*; $\omega=2\cdot10^{10}$; $r_1=0{,}1$ *мм*; $r_2=3{,}5$ *мм*

за счет, например, использования циклотронного резонанса или вибрационных свойств плазмы, находящейся в неоднородном электрическом поле штыря [1]. В качестве примера рассмотрим конкретный умножитель со следующими параметрами: $r_1=0{,}1$ *мм*, $r_2=3{,}5$ *мм*, $\omega=2\cdot10^{10}$, $\gamma=5\cdot10^7$, $v_0=100$ *в*, $n=10^9$ *эл/см*^{3}, причем конденсатор возбуждает волновод посредством штыря, сопротивление излучения которого $R_{изл}=500$ *ом*.

Производя гармонический анализ наведенного тока $i_н$, получаем значения тока $i_{нs}$ гармонических составляющих, приведенных в таблице.

Параметры	№ гармоник (s)					
	1	2	3	4	5	6
Ток гармоник $i_{нs}$ (*ма*)	110	51	28	18	12	8,4
Входная мощность (*мвт*)	5500	6100	5700	5580	5536	5517
Мощность гармоник (*мвт*)	—	600	200	80	36	17
Эффективность преобразования (—*дб*)	—	9,6	14,3	18,4	21,8	25,1

С уменьшением давления эффективность преобразования (умножения) будет увеличиваться, так как потери энергии электронами из-за соударений уменьшаются. При работе на электронных пучках, где соударений вообще нет и мощность основной частоты идет только на раскручивание электронов, эффективность умножения приближается к 100% на любой гармонике.

ЛИТЕРАТУРА

1. Брандт А. А., Тягунов А. В. «Вестн. Моск. ун-та», сер. физ. астрон., № 3, 1965.
2. Лопухин В. М. Возбуждение электромагнитных колебаний и волн электронными потоками. М., ГИТТЛ, 1953.

Поступила в редакцию
1. 2 1965 г.

Кафедра
физики колебаний