
УДК 621.385

С. В. ВАСИЛЬЕВ, А. В. ВАСЯНОВИЧ

ВЛИЯНИЕ НЕОДНОРОДНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ВЫХОДНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПРИБОРОВ М-ТИПА С УЧЕТОМ ВОЗМОЖНОСТИ ГЕНЕРАЦИИ ГАРМОНИК

Аналізу влияния неоднородных статических (электрического и магнитного) полей на характер взаимодействия электронного облака с электромагнитными волнами в электровакуумных СВЧ-приборах магнетронного типа и их выходные параметры посвящены работы [1—3]. В них рассмотрены неоднородности полей, вызванные конструктивными особенностями реальных магнитных систем и пространства взаимодействия этих устройств, и возможность целенаправленного использования таких неоднородностей.

Ранее [2; 3] показано, что введение меняющегося вдоль радиуса магнитного поля (индукция B_0 которого уменьшается к аноду) позволяет несколько улучшить выходные параметры магнетрона: увеличить (примерно на 4%) электронный КПД и выходную мощность. Рекомендуемое уменьшение индукции B_0 у поверхности анода составляет 5—10% от значения на уровне верхней границы втулки. Однако при этом не учитывается многочастотность режима работы магнетрона и не выясняется влияние неоднородности магнитного поля на уровни мощности конкурирующих видов колебаний,

Рассмотрим воздействие неоднородного вдоль радиуса магнитного поля на выходные параметры прибора и уровень генерируемых гармоник.

В качестве аппарата исследования использована цилиндрическая гибридная модель магнетрона [4], основанная на построении точных электронных траекторий при учете сил пространственного заряда. Расчеты выполнены на примере типичного импульсного магнетрона трехантиметрового диапазона 4/50, работающего при анодном напряжении $U_a = 22,4$ кВ, индукции магнитного поля $B_0 = 0,69$ Т.

Предполагался синхронизм ВЧ-волн гармоник с электронными спицами (наихудшие условия для генерации максимального уровня гармоник), что позволило абстрагироваться от свойств конкретной замедляющей системы и исследовать влияние неоднородного магнитного поля на электронный поток, а через него — на уровень гармонических составляющих.

Пусть вектор индукции магнитного поля \vec{B}_0 имеет только одну составляющую, направленную соосно катоду, а значение B_0 зависит только от радиальной координаты:

$$B_0(r) = \begin{cases} B_{0к}, & r_k \leq r \leq r_{вт}; \\ \frac{r - r_{вт}}{r_a - r_{вт}} KB_{0к} + B_{0к}, & r_{вт} < r \leq r_a, \end{cases}$$

где r_k , $r_{вт}$, r_a — радиусы катода, втулки, анода; K — коэффициент, определяющий степень неоднородности магнитного поля, принимающий положительные или отрицательные значения и в зависимости от этого значение $B_0(r)$ возрастает либо убывает по направлению к аноду

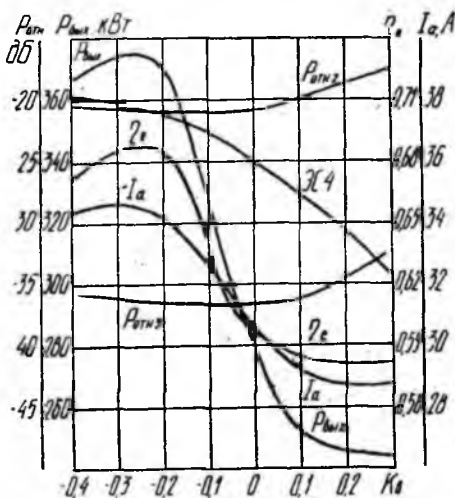
Коэффициент K (умноженный на 100 %) определяет степень изменения индукции B_0 у поверхности анода по сравнению с его значением в интервале $r_k \leq r \leq r_{вт}$.

Результаты расчета основных параметров прибора при различных распределениях магнитного поля вдоль радиуса (разных значениях коэффициента K в приведенном выражении), представлены на рисунке, где 1 — зависимость выходной мощности $P_{вых}$; 2 — анодного тока I_a ; 3 — электронного КПД η_e ; 4, 5 — относительного уровня второй $P_{отн2}$ и третьей $P_{отн3}$ гармоник от значений коэффициента K . Так же, как и в работе [2, рис. 4], с уменьшением K (индукции магнитного поля у анода) возрастает электронный КПД η_e и выходная мощность $P_{вых}$. Однако рост $P_{вых}$ продолжается до значительно меньших значений K , следовательно, диапазон допустимых неоднородностей поля шире. Поскольку в данной работе используется цилиндрическая модель магнетрона, которая в отличие от плоской, примененной в работе [2], учитывает уменьшение напряженности статического электрического поля у анода и возникающий при этом рассинхронизм электронов и ВЧ-волны, максимумы выходной мощности и КПД смещены в область больших неоднородностей полей.

Согласно результатам работы [2], постоянный анодный ток должен убывать по мере уменьшения K от нуля в область отри-

цательных значений, что объясняется авторами снижением вертикальной скорости дрейфа из-за смещения спицы из максимума тормозящего поля в область положительных фазовых углов [2, рис. 3]. Однако, как известно, в магнетронах практически во всех режимах работы электронная спица отстает от оптимального фазового положения. Следовательно, по мере уменьшения K возрастают вертикальная скорость дрейфа и сила тока анода, что и подтверждает численное моделирование (рисунок). Расхождения в результатах расчета зависимости анодного тока от K возникли по причине значительной упрощенности использованной в работе [2] модели.

Как видно из рисунка, для прибора 4j50 в выбранной рабочей точке существует некоторое оптимальное значение $K = -0,2$. При этом электронный КПД возрастает на 10 %, выходная мощность примерно на одну треть. Там же показаны зависимости относительного уровня второй и третьей гармоник от K . Согласно расчетам, введение даже существенно неоднородного магнитного



поля незначительно влияет на $P_{\text{отн}2}$, а что касается величины $P_{\text{отн}3}$, она даже падает по мере уменьшения K и достигает минимума при $K = -0,1$.

Таким образом, использование неоднородного статического магнитного поля в обычных магнетронных генераторах позволяет улучшить их основные параметры, в частности электронный КПД. В результате во всяком случае не увеличивается относительный уровень гармонических составляющих, а уровень третьей гармоники даже уменьшается на 5 дБ в точке максимального КПД. При все возрастающих требованиях к спектральному составу генерируемых колебаний улучшение основных параметров приборов с помощью целенаправленного профилирования статического магнитного поля вполне допустимо.

- Список литературы: 1. *Беляченко В. П., Сысуев В. А.* Анализ движения электронов в магнетроне с неоднородными статическими полями // Электрон. техника. Сер. 1. Электроника СВЧ.— 1982.— Вып. 7.— С. 3—9. 2. *Байбури В. Б., Кудрин И. В.* Анализ электронных траекторий в плоском магнетроне с неоднородным магнитным полем // Электрон. техника. Сер. 1. Электроника СВЧ.— 1977.— Вып. 7.— С. 51—56. 3. *Байбури В. Б., Умнов С. Г., Ширшин С. И.* Влияние неоднородного вдоль радиуса магнитного поля на выходные параметры магнетрона // Электрон. техника. Сер. 1. Электроника СВЧ.— 1980.— Вып. 11.— С. 68—69. 4. *Васильев С. В.* Эффективная модель для расчета характеристик магнетрона // Радиотехника.— 1985.— Вып. 75.— С. 79—84.

Поступила в редколлегию 04.11.85.