

Избежать уменьшения скорости двигателя при импульсном питании АД можно, применив двигатель с вдвое большей номинальной скоростью, что, кроме всего прочего, приведет к уменьшению инерционности габаритов привода. Моделирование работы электродвигателя типа 4А132М2У3 с $P_{ном}=11\text{кВт}$, $n_0=3000\text{об/мин}$, $s_{ном}=3,1\%$, $s_k=17\%$, $\cos\varphi_{ном}=0,9$ показало, что несмотря на уменьшение момента инерции привода практически на 40% колебания скорости не увеличились. Коррекция скорости электропривода до требуемой, а также ее регулирование вниз от номинальной возможна при номинальном магнитном потоке машины. Для этого необходимо использовать специальный закон частотного управления, при котором напряжение и частота меняются по такому алгоритму, чтобы обеспечить постоянство магнитного потока на уровне номинального, т.е. вначале происходит уменьшение питающего напряжения при неизменной частоте, а при достижении номинального потока двигателя происходит регулирование по закону $\Psi_2=\text{const}$.

Обеспечить приемлемый гармонический состав тока можно, настроив схему на последовательный резонанс.

ЛИТЕРАТУРА

1. Боровин Г.К. Математическое моделирование асинхронных электроприводов с векторным управлением. – М.: Энергоатомиздат, 1989.
2. Шенфельд Р. Х. Э. Автоматизированный электропривод /Пер. с нем. С. Антиповой, под ред. Борцова Ю. А. – Л.: Энергоатомиздат, 1985.
3. Пашков Н.М. Адаптивное управление асинхронными двигателями. – Иркут. ун-т, 1992.
4. Хашимов А.А. Режимы работы частотно-регулируемых асинхронных электроприводов. – Изд. Фан, 1997.

УДК 621.385.6

В.К. Мороз, доцент; А.А.Полищук, доцент

К ВОПРОСУ О ВЛИЯНИИ ОБЪЕМНОГО ЗАРЯДА НА ГРУППИРОВКУ ЭЛЕКТРОНОВ В МАЛОМОЩНОМ ГЕНЕРАТОРЕ СВЧ

Equation of the field for the space of grouping electrons in the sphere of reflector was received on the basis of approximation of real potential of broken curve.

Вакуумные приборы СВЧ имеют значительные преимущества по отношению к приборам аналогичного назначения при работе в условиях повышенных электрических и тепловых нагрузок, при воздействии высоких уровней ионизирующей радиации или силовых электромагнитных полей.

На современном этапе развития СВЧ-электроники малой мощности имеется тенденция микроминиатюризации маломощных СВЧ-устройств с тормозящими полями, которые работают при повышенных рабочих токах, т.е. имеют большой микропереванс по сравнению с обычными неминиатюрными генераторами. Основными факторами в таких современных низковольтных высокоперевансных приборах является группировка электронов в условиях сильной нелинейности статических полей в пространстве отражателя.

«Элементарная» теория взаимодействия электронов с высокочастотными полями в резонансных генераторах [1] допускает ряд упрощающих предположений, которые в

достаточной степени не всегда соответствуют реальным конструкциям, например, пренебрегают влиянием плотности объемного заряда на электронные процессы. В этом случае считается, что распределение потенциала между резонатором и отражателем является линейным (прямая 1 на рис. 1), однако современные высокопереванские ЭВП СВЧ работают при значительных плотностях электронного потока [2] и, следовательно, при повышенных объемных зарядах, что приводит к нелинейному распределению потенциала в области отражателя (кривая 2 рис. 1). Но так как в СВЧ-устройствах с тормозящими полями между резонатором и плоскостью поворота электронов два равных и противоположно направленных электронных потока создают суммарный объемный заряд, который, согласно уравнению Пуассона, обратно пропорционален скорости электронов, то наибольшее влияние пространственного заряда на движение электронов сказывается в плоскости поворота электронов обратно к резонатору. Это приводит к смещению точек поворота всех электронов, что, прежде всего, сказывается на процесс группировки электронного потока и в конечном итоге на выходной электронной мощности маломощного электрогенератора. Ряд работ был посвящен исследованиям влияния объемного заряда на электронные процессы в таких генераторах, что сводилось к качественным рассуждениям и вводу констант, определяемых опытным путем.

Ниже анализ явлений в одноконтурном генераторе СВЧ малой мощности с учетом объемного заряда будем вести на основе аппроксимации истинной кривой потенциала в области отражателя ломаной [3]. Перед тем как переходить к анализу влияния объемного заряда на основные параметры и характеристики СВЧ-устройства с тормозящими полями, получим исходные соотношения, устанавливающие связь между потенциалом и координатой для любой точки пространства: 2-я сетка резонатора – плоскость поворота электронов.

Для этого запишем уравнение Пуассона в следующем виде:

$$\frac{d^2V}{dx^2} = \frac{2i}{\epsilon A \vartheta} \quad (1)$$

Используя значения рис. 1, где представлены кривые распределения потенциала в поле отражателя (линии 1 и 2 – соответственно распределение потенциала при отсутствии и наличии объемного заряда, 3 – аппроксимация кривой 2), можно ввести следующие величины:

$$V = V_0 \varphi; \quad dx = \xi_1; \quad d = \frac{V_0}{V_1} \quad (2)$$

С учетом (2) уравнение (1) переписывается в такой форме:

$$\frac{d^2\varphi}{d\xi_1^2} = \frac{1}{\varphi^{\frac{1}{2}}} \quad (3)$$

Решение уравнения (3) имеет вид

$$\frac{d\varphi}{d\xi_1} \frac{d^2\varphi}{d\xi_1^2} = \frac{1}{\varphi^{\frac{1}{2}}} \frac{d\varphi}{d\xi_1} \quad (4)$$

Или же уравнение (4) можно записать через производные от потенциала так:

$$(\varphi')^2 = 4\varphi^{\frac{3}{2}} + 4\beta, \quad (5)$$

откуда

$$\varphi = \pm 2\sqrt{\frac{1}{\varphi^2} + \beta}. \tag{6}$$

В выражении (6) следует сохранить отрицательный знак, так как, согласно рис. 1, при движении от резонатора к отражателю потенциал падает.

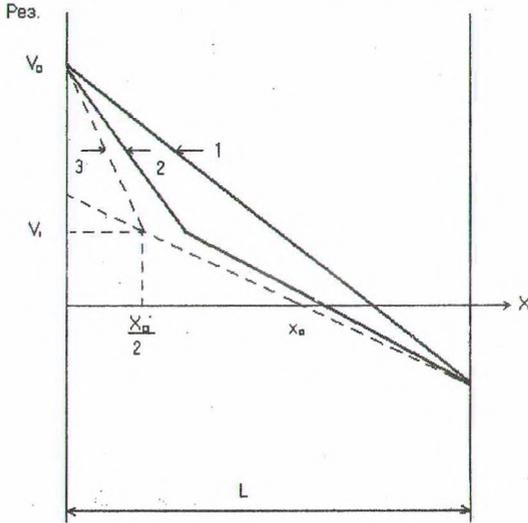


Рис. 1. Кривые распределения потенциала в поле отражателя

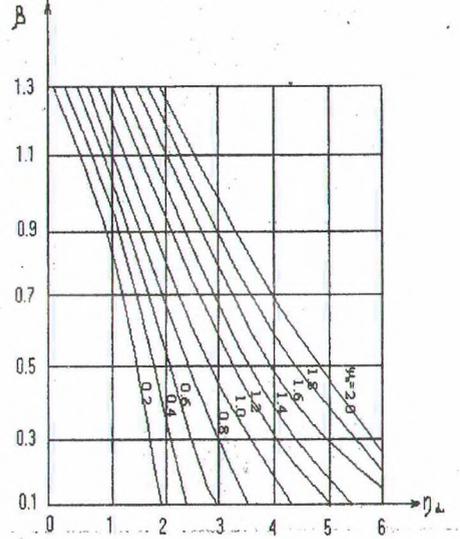


Рис. 2. Кривые зависимости параметра β от первеанса η для различных значений ψ

Мысленно разобьем пространство между резонатором и отражателем на две области, где первая область между 2-й сеткой и плоскостью поворота электронов имеет нелинейный градиент потенциала и зависит от плотности объемного заряда, а вторая область между плоскостью поворота электронов и отражателем имеет линейный градиент потенциала с изменением расстояния и зависит только от величины приложенного напряжения отражателя, так как в этой плоскости нет электронов.

Приравнивая в точке возврата электронов потенциалы 1-й и 2-й области из соотношения (6), найдем производную от потенциала в виде

$$\varphi' = -2\beta^{\frac{1}{2}}. \tag{7}$$

На основании определения напряженности поля можно записать следующие соотношения:

$$E = -\frac{U_{omp}}{e - x_0}; \quad E = -\frac{\varphi}{\xi_d - \xi_0}. \tag{8}$$

Используя (8) и (7), после несложных преобразований получим следующее выражение для константы β :

$$\beta^{\frac{1}{2}} = \frac{1}{2} \frac{\varphi}{\xi_d - \xi_0}. \tag{9}$$

Выражение (6) после введения новой переменной $\varphi = \vartheta^2$ запишется в следующем виде:

$$\frac{2\vartheta d\vartheta}{\sqrt{\beta + \vartheta}} = -2d\xi_1. \tag{10}$$

Для удобства дальнейших вычислений соотношение (10) после преобразования запишется:

$$\frac{(\vartheta + \beta - \beta)d\vartheta}{\sqrt{\vartheta + \beta}} = \sqrt{\beta + \vartheta}d\vartheta - \frac{\beta d\vartheta}{\sqrt{\beta + \vartheta}} = -d\xi_1. \quad (11)$$

После интегрирования (11) и соответствующих преобразований получим уравнение, связывающее между собой потенциал и расстояние в первой области в безразмерных величинах:

$$\eta_d = (1 - 2\beta)(1 + \beta)^{\frac{1}{2}} - (\vartheta - 2\beta)(\vartheta + \beta)^{\frac{1}{2}}, \quad (12)$$

где

$$\eta_d = \frac{3}{2}\xi_d; \quad \xi = \frac{3}{2}dl. \quad (13)$$

На основании (13) и (9) выражение для первеанса запишется в следующем виде:

$$\eta_d = 10^3 \sqrt{\frac{i}{V^{\frac{1}{2}}}} \frac{l}{d}. \quad (14)$$

Если подставить в формулу (14) числовые значения величин, соответствующих электрическим и конструктивным параметрам реального электронного генератора, то значение для первеанса может достигать значительной величины, т.е. влиянием объемного заряда пренебрегать нельзя.

Для удобства графического представления параметра β , зависящего от пространственного заряда, окончательно уравнение (12) запишется так:

$$\left(\varphi_0^{\frac{1}{2}} - 2\beta\right)\left(\varphi_0^{\frac{1}{2}} + \beta\right)^{\frac{1}{2}} = (1 - 2\beta)(1 + 2\beta)^{\frac{1}{2}} - \eta_d, \quad (15)$$

где

$$\varphi_0 = \frac{-U_{amp}}{V_0}; \quad \beta^{\frac{1}{2}} = \frac{3}{4} \frac{\varphi_0}{\eta_d - \eta_0}, \quad (16)$$

$$\eta_0 = 2\beta^{\frac{3}{2}} + (1 - 2\beta)(1 + \beta)^{\frac{1}{2}}. \quad (17)$$

На рис. 2 графически представлено решение уравнения (15). Кривые рис. 2 показывают, что чем больше ток, а следовательно, и плотность объемного заряда, тем меньше параметр β . В то же время при неизменном первеансе η_d увеличение относительного потенциала φ_0 приводит к увеличению параметра β , т.е. к уменьшению действия объемного пространственного заряда за счет смещения точек поворота электронов в сторону резонатора. Таким образом, предложенный нами метод анализа явлений в одноконтурном генераторе СВЧ малой мощности с учетом объемного заряда на основе аппроксимации истинного распределения потенциала в области отраженной ломаной кривой позволяет получить формулу для максимальной электронной мощности для данной зоны колебаний в весьма удобном виде для инженерного расчета СВЧ-устройств с тормозящими полями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федоров Н.Д. Электронные приборы СВЧ и квантовые приборы. – Минск: Атомиздат, 1989.
2. Кураев А.А. Математическое моделирование СВЧ-приборов. – Минск: Наука и техника, 1990.
3. Полищук А.А. Метод определения влияния нелинейного распределения потенциала на напряжения отражателя в резонансном генераторе // Материалы Международной 52-й научно-технической конференции. – Минск, 1997.

УДК 621.385.6

А.А.Полищук, доцент; Г.А. Михальцевич, ассистент

ВЛИЯНИЕ ОБЪЕМНОГО ЗАРЯДА НА ВРЕМЯ ПРОЛЕТА ЭЛЕКТРОНОВ В ОБЛАСТИ ОТРАЖАТЕЛЯ ВЫСОКОПЕРВОНАЧНОГО ГЕНЕРАТОРА

Analyzing the movement of electrons in non-linear field of reflector was received analytical expression for the time of flying electrons in dependence on density of volume charge.

По уравнению Пуассона, плотность пространственного заряда обратно пропорциональна потенциалу в степени $\frac{1}{2}$. Но так как в СВЧ-устройствах с тормозящими полями между резонатором и плоскостью поворота электронов имеется значительный объемный заряд, который обратно пропорционален скорости электронов, наибольшее влияние пространственного заряда на движение электронов сказывается в плоскости поворота электронов обратно к резонатору. Это приводит к изменению времени пролета электронов в области отражателя и, следовательно, к смещению точек поворота всех электронов, что, прежде всего, сказывается на процессе группировки электронного потока [1].

При возвращении конвекционного тока из пространства отражателя в зазор резонатора оказывается, что электроны группируются около π -электрона, который пролетает середину зазора в тот момент, когда значение высокочастотного напряжения равно нулю. Поэтому в дальнейшем для простоты расчетов под временем пролета электронов между резонатором и точкой возврата будем понимать время пролета π -электронов [2].

Итак, время пролета электронов в пространстве между резонатором и точкой поворота при линейном распределении потенциала в области отражателя в общем случае определяется формулой

$$\tau_0 = 2 \int_0^{x_0} \frac{dx}{\vartheta(x)} = \frac{4x_0}{\vartheta_0}. \quad (1)$$

Для определения времени пролета электронов при наличии объемного заряда в пространстве отражателя необходимо из уравнения Пуассона [2] подставить значения объемного заряда в подынтегральное значение (1):

$$\tau = \frac{2x_0}{\vartheta_0} \int_0^1 \frac{d \frac{x}{x_0}}{\varphi^{\frac{1}{2}}} = \frac{4x_0}{\vartheta_0} \frac{x_0}{2x_0} \int_0^1 \frac{d \frac{\xi}{\xi_0}}{\varphi^{\frac{1}{2}}}. \quad (2)$$

Или же выражение (2) перепишется в виде