

плексно используя известные методы определения расчетных нагрузок: 1) по коэффициенту спроса, определяя расчетную нагрузку по установленной мощности электроприемников; 2) по средней мощности, которая определяется по отчетному расходу электроэнергии и числу часов работы выделенной подсистемы и статистически определенному коэффициенту максимума; 3) по удельным расходам электроэнергии на единицу продукции; 4) по удельным плотностям электрических нагрузок. Любой из методов может быть принят за основной, но тогда другие должны применяться для проверки. Это объясняется недостаточностью исходных данных, необходимостью сопоставления из-за противоречивости тенденций, которые следует учитывать, определяя нагрузки на перспективу (5–10) лет.

Нельзя не отметить, что расчет нагрузок в настоящее время представляет собой статическую картину и не отвечает на существенные вопросы: когда во времени ожидается нагрузка, как в зависимости от изменения технологических показателей изменится на перспективу P_M , A и др.

Таким образом, исследования в области расчета нагрузок необходимо вести в направлении создания системы технико-экономических показателей, обязательной для проектных организаций и действующих предприятий, и затем — к информационной базе у генеральных проектировщиков, головных и специализированных институтов (и на предприятиях), на основе которой будут выполняться расчеты, анализ, прогноз и принятие решений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Указания по определению электрических нагрузок в промышленных установках. — Инструктивные указания по проектированию электротехнических промышленных установок, 1968, № 6, с. 3–17.
2. К у д р и н Б.И. О комплексном методе расчета электрических нагрузок. — Изв. вузов СССР. Электромеханика, 1981, № 2, с. 209–210.
3. К у д р и н Б.И. Оценка электрического хозяйства металлургического предприятия. — Промышленная энергетика, 1978, № 7, с. 5–8.

УДК 621.37/39

А.А. ПОЛИЩУК, ассистент (БПИ)

О ГРУППИРОВКЕ ЭЛЕКТРОНОВ В ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОМ ПОЛЕ

Так называемая теория идеализированного клистронного генератора допускает ряд упрощенных предположений, которые в достаточной степени не всегда соответствуют реальной конструкции. Так, предположение о том, что влиянием плотности объемного заряда на электронные процессы в клистроне можно пренебречь и, в частности, распределение потенциала между резонатором и отражателем считать линейным, является неверным, так как современные генераторные клистроны работают при значительных плотностях электронного потока. Учет объемного заряда прежде всего приводит к нелинейному распределению потенциала в области отражателя. Наибольшее влияние пространственного заряда на движение электронов сказывается в плоскости поворота электронов обратно к резонатору. Это приводит к изменению вре-

мени пролета электронов в области отражателя и, следовательно, к смещению точек поворота всех электронов, что прежде всего сказывается на процессе группировки электронного потока.

Анализ явлений в клистронном генераторе с учетом объемного заряда будем вести на основе аппроксимации истинной кривой потенциала ломаной [1].

На рис. 1 кривые 1 и 2 – распределение потенциала при отсутствии и наличии объемного заряда, линия 3 – аппроксимация кривой.

Запишем уравнение Пуассона в следующем виде:

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

Используя обозначения рис. 1, можно ввести следующие величины:

$$V = V_0 \varphi; \quad dx = \xi_1; \quad a_0 = \frac{V_0}{V_1} \quad (2)$$

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

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

Решение уравнения (3) имеет вид

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

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

$$(\varphi')^2 = 4 \varphi^{1/2} + 4 \beta,$$

откуда

$$\varphi' = + 2 \sqrt{\varphi^{1/2} + \beta} \quad (5)$$

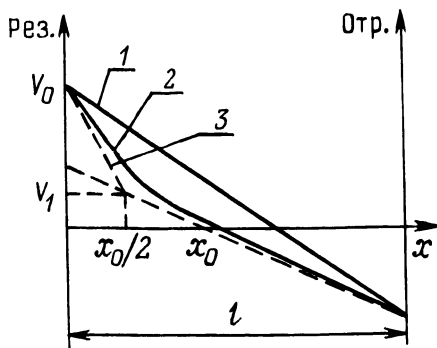


Рис. 1.

В выражении (5) следует сохранить отрицательный знак, так как, согласно рис. 1, при движении от резонатора к отражателю потенциал падает.

Разобьем пространство между резонатором и отражателем на две области, где первая область между второй сеткой и плоскостью поворота электронов имеет нелинейный градиент потенциал и зависит от плотности объемного заряда, а вторая область между плотностью поворота электронов и отра-

жателем имеет линейный градиент потенциала с изменением расстояния и зависит от величины приложенного напряжения отражателя, так как в этой плоскости нет электронов (рис. 1).

Приравнивая в точке возврата электронов потенциалы первой и второй областей, из соотношения (5) найдем производную от потенциала в виде

$$\varphi' = -2\beta^{1/2}. \quad (6)$$

На основании определения напряженности поля можно записать следующие соотношения:

$$E = -\frac{U_{\text{отр}}}{l - x_0}; \quad E = -\frac{\varphi}{\xi_d - \xi_0}. \quad (7)$$

Используя (7) и (6) и после несложных преобразований получим выражение для константы β

$$\beta^{1/2} = \frac{1}{2} \frac{\varphi}{\xi_d - \xi_0}. \quad (8)$$

Выражение (5) после введения новой переменной $\varphi = v^2$ переписется так:

$$\frac{2vdv}{\sqrt{\beta+v}} = -2d\xi_1. \quad (9)$$

Для удобства дальнейших вычислений соотношение (9) после преобразования запишется

$$\frac{(v+\beta-\beta)dv}{\sqrt{v+\beta}} = \sqrt{\beta+v} dv - \frac{\beta dv}{\sqrt{\beta+v}} = -d\xi_1. \quad (10)$$

После интегрирования (10) и соответствующих преобразований получим уравнение, связывающее между собой потенциал и расстояние в первой области в безразмерных величинах:

$$\eta_d = (1-2\beta)(1+\beta)^{1/2} - (v-2\beta)(v+\beta)^{1/2}, \quad (11)$$

где

$$\eta_d = \frac{3}{2} \xi_d; \quad \xi_d = \frac{3}{2} a l. \quad (12)$$

На основании (12) и (8) выражение для первеанса запишется

$$\eta_d = 10 \sqrt[3]{\frac{i}{\sqrt{3/2}} \frac{l}{d}}. \quad (13)$$

Если подставить в формулу (13) числовые значения величин, соответствующих электрическим и конструктивным параметрам реального клистрона, 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 (11) запишется

$$(\varphi_0^{1/2} - 2\beta) (\varphi_0^{1/2} + \beta)^{1/2} = (1 - 2\beta) (1 + \beta)^{1/2} - \eta_d, \quad (14)$$

где

$$\varphi_0 = \frac{-U_{\text{отр}}}{U_0}; \quad \beta^{1/2} = \frac{3}{4} \frac{\varphi_0}{\eta_d - \eta_0};$$

$$\eta_0 = 2\beta^{3/2} + (1 - 2\beta) (1 + \beta)^{1/2}$$

На рис. 2 графически представлено решение уравнения (14). Кривые 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. На рис. 3 приведены величины относительного времени пролета a от параметров η_d и φ_0 . Значение параметра объемного заряда β рассчитывалось по формуле

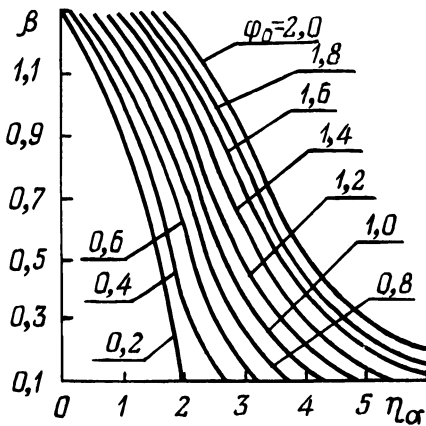


Рис. 2.

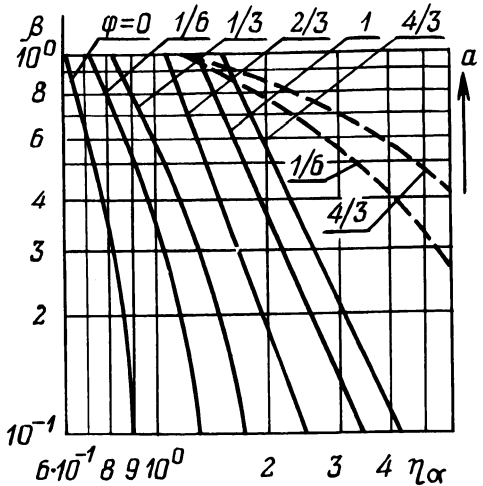


Рис. 3.

(14). Из рис. 3 видно, что с увеличением первеанса и соответственно плотности объемного заряда время пролета электронов в пространстве отражателя уменьшается. В то же время при одной и той же плотности объемного заряда дальнейшее понижение потенциала отражателя, т.е. увеличение φ_0 , приводит к увеличению времени пролета электрона a , что объясняется прежде всего смещением точек поворота электронов в сторону резонатора и, как видно из рис. 1, уменьшением действия пространственного заряда. Однако при низких

потенциалах на отражателе и $\eta_d > 1$ величина $a > 1$, что соответствует увеличению времени пребывания электронов в поле отражателя.

Так как пространственный заряд прежде всего влияет на скорость движения электронов, то эффективность группирования при нелинейном распределении потенциала можно характеризовать определенным коэффициентом K , который будет учитывать скорость электрона в точке V_1 (рис. 1).

Согласно [2], коэффициент K определяется через величины, характеризующие распределение потенциала в пространстве отражателя:

$$K = \frac{1 + a - a^2}{a^2 (1 + 2a)},$$

где a находится из [1] по формуле

$$a^2 = \frac{4}{3} \beta^{1/2} \eta_0.$$

На рис. 4 представлена зависимость коэффициента эффективности группирования K от параметра плотности объемного заряда η_d . Как следует из рис. 3, при малых плотностях объемного заряда $\eta_d \ll 1$ и больших напряжениях на отражателе $\varphi > \frac{2}{3}$ величина коэффициента K близка к единице и влияние объемного заряда на процесс

группировки существенного воздействия не оказывает. Однако при увеличении плотности объемного заряда η_d до 2-х K может достигать нескольких единиц. В то же время для одного и того же η_d с уменьшением φ_0 коэффициент K увеличивается, что объясняется более глубоким проникновением электронов в тормозящее поле и, очевидно, большим воздействием на них пространственного заряда.

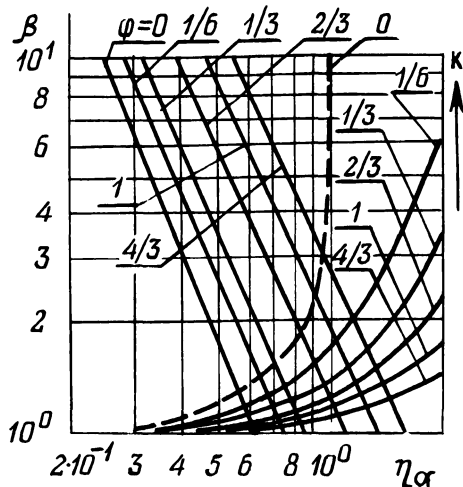


Рис. 4.

ЛИТЕРАТУРА

1. П о л и щ у к А.А., С а в е л ь е в В.Я. Новые разработки элементов и схем радиотехнических устройств. — Минск: Вышэйшая школа, 1972, с. 31–34.
2. П о л и щ у к А.А. Влияние объемного заряда на электронные процессы при группировке электронного потока. — Изв. вузов. Радиоэлектроника, 1969, XII, № 3, с. 1112–1126.