

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ЗАРЯДА ПРИ КВАЗИСТАТИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПУЧКА ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ И СИНХРОННОЙ ГАРМОНИКИ СВЧ ПОЛЯ

Л. М. МОВСИСЯН

Ереванский государственный университет

(Поступила в редакцию 15 мая 1983 г.)

Методом сравнения собственного поля пространственного заряда с действующим в волноводе полем в квазистатическом режиме взаимодействия найдено распределение плотности заряда вдоль сгустка.

В работе [1] было введено понятие квазистатического режима взаимодействия пучка заряженных частиц и синхронной гармоники СВЧ поля. Подобное состояние возникает, когда кулоновские силы пространственного заряда по всей длине сгустка скомпенсированы группирующими силами действующего ускоряющего поля

$$E_q(z) = E \sin(\psi + \varphi_p) - E \sin \varphi_p, \quad (1)$$

где $E_q(z)$ — поле пространственного заряда внутри сгустка в точке z , E — амплитуда действующего СВЧ поля, представляющего собой суперпозицию поля стороннего генератора и поля излучения.

Будем считать, что в волноводе существует только одна волна, синхронно движущаяся со сгустком, т. е. ограничимся одноволновым приближением. Уместно отметить, что для квазистатического режима взаимодействия понятие равновесной частицы теряет смысл. В формуле (1) φ_p представляет собой фазу, соответствующую координате электрического центра сгустка, т. е. точки, для которой поле пространственного заряда становится равным нулю, ψ — фаза соответствующей точки с координатой z .

Целью настоящей работы является нахождение распределения плотности пространственного заряда вдоль сгустка, обеспечивающего режим квазистатического взаимодействия.

Будем считать, что сгустки частиц хорошо сформированы и представляют собой последовательности цилиндрических сгустков, в которых распределение плотности пространственного заряда зависит только от координаты z :

$$\rho = \rho(z). \quad (2)$$

В работах [2, 3] на основе дисковой модели было исследовано интегральное уравнение для распределения плотности пространственного за-

ряда и в условиях квазистатического режима в параметрическом виде получены электрические параметры волновода медленных волн.

Расчеты кулоновских полей сгустков, находящихся в проводящих экранах, проведены в ряде работ. Воспользуемся наиболее удобной аппроксимирующей формулой из [4], где подробно проанализированы методы таких расчетов:

$$E_q(z) = \frac{1}{2\varepsilon_0} \int_{z_1}^{z_2} \rho(z') e^{-\frac{d}{r_0}|z-z'|} \operatorname{sign}(z-z') dz', \quad (3)$$

где z' — координата точки, где находится заряд, z — координата точки, где определяется продольное кулоновское поле пространственного заряда, r_0 — радиус сгустка, z_1 и z_2 — продольные координаты заднего и переднего торцов сгустка, коэффициент d учитывает влияние металлических стенок канала на собственное поле сгустка ($d = 1$ при $r_0/a = 0,1$ и $d = 2$ при $r_0/a \approx 0,8$, где a — радиус металлического экрана).

Исходя из уравнения (3), определим плотность пространственного заряда

$$\rho(z) = \varepsilon_0 E'_q(z) - \frac{\varepsilon_0 d^2}{r_0^2} \int_0^z E_q(z) dz. \quad (4)$$

Подставляя значение поля пространственного заряда из (1), получим

$$\rho(z) = \frac{2\pi\varepsilon_0 E}{\beta\lambda} \cos\left(\frac{\psi}{2} + \varphi_p\right) - \frac{\beta\lambda\varepsilon_0 d^2 E}{\pi r_0^2} \times \\ \times \left[\sin \frac{\psi}{2} \sin\left(\frac{\psi}{2} + \varphi_p\right) + \frac{\psi}{2} \sin \varphi_p \right], \quad (5)$$

где β — относительная фазовая скорость волны, λ — длина волны генератора, ψ — отклонение фазы частицы от среднего значения в угловых единицах (для электрического центра $\psi = 0$). Относительно ускоряющего поля сгусток располагается так, что $\psi_1 + \varphi_p \leq \pi/2$, где ψ_1 — фаза, соответствующая заднему торцу сгустка.

Из выражения (5) видно, что заряд вдоль сгустка распределен несимметрично относительно электрического центра. Плотность пространственного заряда достигает максимального значения в точке

$$z_m = \frac{\beta\lambda}{2\pi} \left[\arcsin \frac{\left(\frac{d}{r_0}\right)^2 \sin \varphi_p}{\left(\frac{d}{r_0}\right)^2 + \left(\frac{2\pi}{\beta\lambda}\right)^2} - \varphi_p \right]. \quad (6)$$

Найдем связь между электрическим центром и фазовой протяженностью сгустка. Исходя из условия равенства нулю поля пространственного заряда в этой точке, получим

$$\frac{h}{2\pi} - \frac{d^2}{hr_0^2} \left\{ 2h \sin \varphi_p - e^{-\frac{d\psi_1}{hr_0}} \left[\frac{d}{r_0} \cos\left(\frac{\psi_1}{2} + \varphi_p\right) + \right. \right.$$

$$\begin{aligned}
& + h \sin (\psi_1 + \varphi_p) \Big] + e^{-\frac{d\psi_2}{hr_0}} \Big[\frac{d}{r_0} \cos (\varphi_2 + \varphi_p) - \\
& - h \sin (\psi_2 + \varphi_p) \Big] \Big] - \frac{d \cos \varphi_p}{hr_0} \left(e^{\frac{d\psi_1}{hr_0}} - e^{-\frac{d\psi_2}{hr_0}} \right) + \\
& + \sin \varphi_p \left[2 + \left(\frac{d\psi_1}{hr_0} - 1 \right) e^{\frac{d\psi_1}{hr_0}} + \left(\frac{d\psi_2}{hr_0} + 1 \right) e^{-\frac{d\psi_2}{hr_0}} \right] = 0, \quad (7)
\end{aligned}$$

где $h = 2\pi/\beta\lambda = 2\pi/\lambda_b$, λ_b — длина волны в волноводе медленных волн.

Обычно задается фазовая протяженность сгустка $2\Delta\psi = \psi_1 - \psi_2$, т. е. спектральный состав конвекционного тока. Зная длину сгустка, с помощью уравнения (7) устанавливается связь между длиной сгустка и фазой, соответствующей электрическому центру сгустка.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жилейко Г. И. Высоковольтные электронные пучки. Изд. Энергия, 1968.
2. Балашов В. Н., Гавич В. Т., Жилейко Г. И. Труды МЭИ, вып. 433, 24 (1979).
3. Балашов В. Н. Труды МЭИ, вып. 497, 58 (1980).
4. Роу Дж. Теория нелинейных явлений в приборах СВЧ. Изд. Советское радио, 1969.

ՏԱՐԱԾԱԿԱՆ ԼԻՑԻԻ ԽՏՈՒԹՅԱՆ ԲԱՇԽՈՒՄԸ

ԼԻՑԻԱՎՈՐՎԱԾ ՄԱՍՆԻԿՆԵՐԻ ԹԱՆՁՐՈՒԿՆԵՐԻ ԵՎ ԳՐՀ ԴԱՇՏԻ ՍԻՆԺՐՈՆ
ՀԱՐՄՈՆԻԿԻ ՔՎԱԶԻՍՏԱՏԻԿ ՌԵԺԻՄՈՒՄ ՓՈԽԱԶԴԵՑՈՒԹՅԱՆ ԴԵՊՖՈՒՄ

Լ. Մ. ՄՈՎՍԻՍՅԱՆ

Փվադիստատիկ փոխազդեցության ուժեղացում տարածական լիցիի սեփական դաշտի և ալի-
բատարում գործող դաշտի համեմատման մեթոդով դրսևված է լիցիի խտության բաշխումը
թանձրուկի երկայնքով:

DISTRIBUTION OF SPACE CHARGE DENSITY ALONG A CHARGED PARTICLES BUNCH IN QUASI-STATIC MODE OF ITS INTERACTION WITH SYNCHRONOUS HARMONIC OF SHF FIELD

L. M. MOVSISYAN

The distribution of charge density along the bunch was obtained by comparing the proper field of space charge with the waveguide field in quasi-static mode of interaction.