

УДК 621.384.644:621.372.8

Л.М.МОВСИСЯН

ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ УСКОРЯЮЩЕГО ВОЛНОВОДА ПРИ ИЗМЕНЯЮЩЕЙСЯ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ РАВНОВЕСНОЙ ФАЗЕ

Получено выражение для оптимального тока при изменяющейся кинематической равновесной фазе. Проведены сравнения КПД волновода при оптимальной и максимальной нагрузках тока пучка.

Целью настоящей работы является нахождение значения тока пучка, обеспечивающего максимум КПД ускоряющего волновода при изменяющейся кинематической равновесной фазе.

В работах [1,2] рассмотрены режимы работы ускоряющего волновода при изменяющейся кинематической равновесной фазе вида

$$\sin\varphi_{\Gamma} = \sin\varphi_{\Gamma H} + \frac{\sin\varphi_{\Gamma K} - \sin\varphi_{\Gamma H}}{L} Z, \tag{1}$$

где φ_{Γ} — кинематическая равновесная фаза, $\varphi_{\Gamma H}, \varphi_{\Gamma K}$ — начальное и конечное значение равновесной фазы, L — длина секции, Z — продольная координата.

В работе [3] на основе метода суперпозиции поля генератора и поля излучения получено выражение для действующего равновесного поля в нерегулярной замедляющей системе.

$$E_s = \sqrt{\frac{P}{\Gamma}} e^{-\alpha z} \sin\varphi_{\Gamma} - \frac{I e^{-\alpha z}}{2\sqrt{\Gamma}} \int_0^z \frac{e^{\alpha z}}{\sqrt{\Gamma}} dz, \tag{2}$$

где E_s — действующее на равновесную частицу поле, P — мощность стороннего генератора, Γ — проводимость волновода, α — коэффициент затухания, I — ток пучка в импульсе.

Исходя из выражений (1), (2), определим действующее равновесное поле для ускоряющего волновода с постоянной проводимостью

$$E_s = \sqrt{\frac{P}{\Gamma}} e^{-\alpha z} (\sin\varphi_{\Gamma H} + bz) - \frac{I}{2\alpha\Gamma} (1 - e^{-\alpha z}). \tag{3}$$

где $b = \frac{\sin\varphi_{\Gamma K} - \sin\varphi_{\Gamma H}}{L}$.

Пользуясь выражением (3), определим природу кинематической фазы ускоряемой равновесной частицы в конце секции

$$U_s = \sqrt{\frac{P}{\Gamma}} \left[\sin\varphi_{\Gamma H} \frac{1 - e^{-\alpha L}}{\alpha} - \frac{b}{\alpha^2} e^{-\alpha L} (\alpha L + 1) + \frac{b}{\alpha^2} \right] - \frac{I}{2\alpha^2\Gamma} (\alpha L + e^{-\alpha L} - 1). \tag{4}$$

КПД ускоряющей секции определяется как

$$\eta = \frac{IU_s}{P}. \tag{5}$$

Значение тока пучка, обеспечивающего максимум КПД секций, назовем оптимальным. Тогда из (4) и (5) следует, что

$$I_{\text{опт}} = \frac{\sqrt{P\Gamma} [(1 - e^{-\alpha L}) \alpha \sin \varphi_{\Gamma} - b e^{-\alpha L} (\alpha L + 1) + b]}{\alpha L + e^{-\alpha L} + 1} \quad (6)$$

и, следовательно, для КПД

$$\eta_{\text{опт}} = \frac{\frac{1}{\alpha^2 L^2} \left[\alpha L + \frac{\sin \varphi_{\Gamma K}}{\sin \varphi_{\Gamma H}} - 1 - e^{-\alpha L} \frac{\sin \varphi_{\Gamma K}}{\sin \varphi_{\Gamma H}} (\alpha L + 1) + e^{-\alpha L} \right]^2 \sin^2 \varphi_{\Gamma H}}{2(\alpha L + e^{-\alpha L} - 1)} \quad (7)$$

Предельным называется значение тока пучка, при котором действующее равновесное поле на конце секции обращается в нуль.

Из выражений (3) следует, что

$$I_{\text{пр}} = \frac{2\alpha \sqrt{P\Gamma} e^{-\alpha L} \sin \varphi_{\Gamma K}}{1 - e^{-\alpha L}} \quad (8)$$

$$\eta_{\text{пр}} = \frac{2e^{-\alpha L} \sin \varphi_{\Gamma K}}{1 - e^{-\alpha L}} \left[(1 - e^{-\alpha L}) \sin \varphi_{\Gamma H} - \right.$$

$$\left. - \frac{b}{\alpha} (\alpha L e^{-\alpha L} + e^{-\alpha L} - 1) - \sin \varphi_{\Gamma K} \frac{e^{-\alpha L}}{1 - e^{-\alpha L}} (\alpha L + e^{-\alpha L} - 1) \right] \quad (9)$$

Сравним токи и КПД при оптимальном и предельном токе пучка

$$\frac{I_{\text{пр}}}{I_{\text{опт}}} = \frac{2\alpha e^{-\alpha L} \sin \varphi_{\Gamma K} (\alpha L + e^{-\alpha L} - 1)}{(1 - e^{-\alpha L}) [(1 - e^{-\alpha L}) \alpha \sin \varphi_{\Gamma H} - b e^{-\alpha L} (\alpha L + 1) + b]} \quad (10)$$

$$\frac{\eta_{\text{пр}}}{\eta_{\text{опт}}} = \frac{4\alpha^2 L^2 (\alpha L + e^{-\alpha L} - 1) e^{-\alpha L} \sin \varphi_{\Gamma K}}{(1 - e^{-\alpha L}) \left[\alpha L - 1 + \frac{\sin \varphi_{\Gamma K}}{\sin \varphi_{\Gamma H}} (1 - e^{-\alpha L} - \alpha L e^{-\alpha L}) + e^{-\alpha L} \right]^2} \times$$

$$\times \frac{1}{\sin^2 \varphi_{\Gamma H}} \left[(1 - e^{-\alpha L}) \sin \varphi_{\Gamma H} - (\alpha L + e^{-\alpha L} - 1) \left(\frac{b}{\alpha} + \sin \varphi_{\Gamma K} \frac{e^{-\alpha L}}{1 - e^{-\alpha L}} \right) \right] \quad (11)$$

Как частный случай из выражений (6) — (11) можно получить значения $I_{\text{опт}}, I_{\text{пр}}, \eta_{\text{опт}}, \eta_{\text{пр}}$ и их отношений при постоянной кинематической фазе, принимая $b = 0$.

Зная отношение $I_{\text{пр}}/I_{\text{опт}}$ и $\eta_{\text{пр}}/\eta_{\text{опт}}$, можно определить отношение выходных энергий при оптимальном и предельном токе пучка:

$$\frac{U_s}{U_{\text{опт}}} = \frac{\eta_{\text{пр}}}{\eta_{\text{опт}}} \cdot \frac{I_{\text{опт}}}{I_{\text{пр}}} \quad (12)$$

Из выражений (6) и (8) следует, что при отсутствии потерь в стенках волновода, т.е. при $\alpha = 0$ предельные и оптимальные токи совпадают:

$$I_{\text{пр}} = I_{\text{опт}} = \frac{2\sqrt{P\Gamma}}{L} \sin \varphi_{\Gamma K} \quad (13)$$

Следовательно, одинаковы будут и выходные энергии и КПД секции. При этом

$$\eta_{\text{пр}} = \eta_{\text{опт}} = \sin^2 \varphi_{\Gamma K} \quad (14)$$

Последний результат, сравнивая с КПД, полученным в ускоряющей секции при режиме с постоянной величиной кинематической равновесной фазы $\varphi_{\Gamma} = \varphi_{\Gamma H} = \text{const}$ [1], с КПД секции при переменной фазе при отсутствии потерь, получим

$$\frac{(\eta_{\text{max}})_{\varphi_{\Gamma} = \text{var}}}{(\eta_{\text{max}})_{\varphi_{\Gamma} = \text{const}}} = \frac{\sin^2 \varphi_{\Gamma K}}{\sin^2 \varphi_{\Gamma H}} \quad (15)$$

Таким образом, выбирая возрастающие зависимости кинематической фазы от продольной координаты, имеем выигрыш в КПД по сравнению с режимом при постоянной кинематической фазе.

Кафедра радиофизики СВЧ

Поступило 16.05.1988

ЛИТЕРАТУРА

1. Жилейко Г.И. Высоковольтные электронные пучки. Изд-во Энергия, 1968.
2. Азизбекян Г.В. Возможности повышения эффективности линейных волноводных ускорителей. Препринт ЕФИ-981 (31) - 87.
3. Жилейко Г.И., Мовсисян Л.М. Синдинский В.В. Действующее поле в нерегулярной замедляющей системе при наличии динамического скольжения между сгустками частиц и волной.— Изв. АН Арм.ССР, Физика, 1972, №7, с.150.

Ամփոփում

Փոփոխական կինեմատիկ հավասարակշռված փուլի դեպքում ստացված է արտահայտությունն օպտիմալ հոսանքի համար: Փնջի օպտիմալ և առավելագույն հոսանքների համար համեմատված են ալիքատարի ՕԳԳ-ները:

SUMMARY

The optimum value of the accelerating current has been calculated. The efficiencies of acceleration have been given for optimum and maximum beam loadings.