

ОЦЕНКА АБСОЛЮТНЫХ АМПЛИТУД ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ГАРМОНИК ПЛОСКОЙ РАЗНОРЕЗОНАТОРНОЙ ГРЕБЕНЧАТОЙ ЗАМЕДЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ

Н. Н. Жданов

Харьков

Для оценки эффективности взаимодействия высших полос пропускания замедляющей системы с электронным потоком в приборах СВЧ важно знать не только относительные величины амплитуд пространственных гармоник, но и их абсолютные значения. Имеющиеся литературные данные не позволяют сравнивать абсолютные величины амплитуд в различных полосах пропускания. Даже внутри одной полосы возможны случаи, когда $a_0 \rightarrow 0$ при $a_s \neq 0$, т. е. решение остается неопределенным [1, 2].

Рассмотрим разнорезонаторную замедляющую систему. Поскольку влияние различных геометрических параметров на дисперсию и сопротивление связи в четырех полосах пропускания описано в работе [2], проанализируем изменение абсолютных величин амплитуд основной пространственной гармоники. Как и для одноступенчатой системы, дисперсионное уравнение, представляющее собой бесконечную систему алгебраических уравнений, может быть решено методом редукции [3], а точность расчета амплитуд сильно зависит от точности определения корней k . Примем в качестве нормирующей величины поток энергии, протекающей через поперечное сечение. Тогда выражение для амплитуды нулевой пространственной гармоники принимает вид

$$\frac{a_0}{P} = \frac{1}{k \sqrt{\sum_{s=-\infty}^{\infty} \sum_{m=-\infty}^{\infty} \left(\frac{a_s}{a_0}\right) \left(\frac{a_m}{a_0}\right)^* \frac{\beta_s d}{\gamma_m^* \gamma_s \operatorname{sh} \gamma_s d \operatorname{sh} \gamma_m^* d} \left[\frac{\operatorname{sh}(\gamma_s + \gamma_m^* d)}{(\gamma_s + \gamma_m^*) d} + \frac{\operatorname{sh}(\gamma_s - \gamma_m^* d)}{(\gamma_s - \gamma_m^*) d} \right]}} \quad (1)$$

При $\varphi \rightarrow \pi$ $P \rightarrow 0$, и за условие нормировки целесообразно взять энергию, запасаемую в одном периоде замедляющей системы ($P = V_{\text{гр}} \cdot W$), аналогично тому, как сделано в работе [4]

$$\frac{a_0}{W} = \frac{1}{k \sqrt{\sum_{m=-\infty}^{\infty} \left| \frac{a_m}{a_0} \right|^2 \left\{ \frac{2\gamma_m d + \operatorname{sh} 2\gamma_m d}{2L\gamma_m^3 \operatorname{sh}^2 \gamma_m d} + 2\beta_m^2 \left(\frac{\operatorname{cth} \gamma_m d}{L\gamma_m} \right)^2 \right\} A}} \quad (2)$$

где

$$A = \sum_{n=0}^{\infty} (\alpha_{mn} + \beta_{mn}) F_{mn};$$

$$\alpha_{mn} = \frac{2\omega_n h_1 + \sin 2\omega_n h_1}{\omega_a \cos^2 \omega_n h_1}; \quad \beta_n = \frac{2\omega_n h_2 + \sin 2\omega_n h_2}{\omega_a \cos^2 \omega_n h_2}$$

$$F_{mn} = \frac{l^3 \sin \frac{\pi_n + 2\beta_m l}{2}}{\delta_n (2\beta_m l - \pi_n)^2}; \quad \delta_n = \begin{cases} 1 & \text{при } n = 0; \\ 0,5 & \text{при } n \geq 1. \end{cases}$$

Величины относительных амплитуд a_m/a_0 , входящие в (1) и (2), определяются из «усеченной» системы уравнений после исключения одного из однородных уравнений [2].

Первая полоса разнорезонаторной системы эквивалентна первой полосе обычной одноступенчатой гребенчатой структуры. Зависимость $a_0(\varphi)$ для нее приведена на рис. 2. Однако в результате того, что используется чаще всего вторая полоса, проанализируем изменение абсолютных (точнее, нормированных к

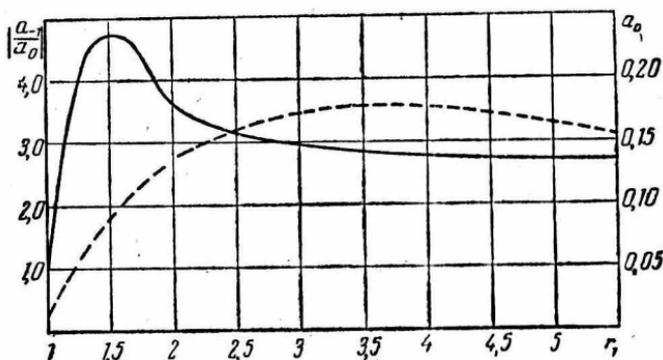


Рис. 1. Зависимость (a_{-1}/a_0) и a_0 от r_1 в рабочей полосе пропускания:

$$(\varphi_0 = \pi; d = 1,0; h_1 + h_2 = 6,0).$$

единичному потоку энергии) величин амплитуд пространственных гармоник, начиная с этой полосы. На рис. 1 приведена зависимость $a_0(r_1)$ для 0-вида колебаний ($s=0$) во второй полосе, где $r_1 = h_2/h_1$ — параметр разнорезонаторности. Из рисунка следует, что a_0 имеет максимум при $r_1 = 4$, а затем медленно спадает. Однако относительная величина $[a_{-1}/a_0]$ при этом достигает максимального значения при $r_1 = 1,66$, что хорошо согласуется с данными эксперимента [6]. Зависимость $[a_{-1}/a_0] = f(r_1)$ приведена на этом же рисунке сплошной линией.

На рис. 3 показано изменение $a_0(\varphi)$ во второй полосе для различных значений параметра разнорезонаторности. Поскольку система двухступенчатая, полагается $0 \leq [\varphi_0] \leq \pi/2$, а $\varphi_s = \varphi_0 + \pi s$, как это принято в литературе [5, 6]. В точке $\varphi \approx 5\pi/32$, где $a_0 = 0$, коэффициент замедления $n = c/v_\varphi = 1$. На графике $a_s/a_0(\varphi)$ [2] в этих точках наблюдаются разрывы. Это свидетельствует о том, что в продольной составляющей электрического поля отсутствует нулевая гармоника. С ростом параметра разнорезонаторности r_1 сдвиг фазы, где $a_0 = 0$, приближается к $\varphi = \pi/2$.

В высших полосах пропускания абсолютные значения a_0 уменьшаются, а зависимости $a_0(\varphi)$ ведут себя аналогично описанным (рис. 2). С ростом номера полосы (номер над кривой на рисунке соответствует номеру полосы) a_0 переходит через ноль при различных $\varphi \rightarrow \pi/2$. Необходимо при этом помнить, что относительные амплитуды высших пространственных гармоник изменяются от полосы к полосе, хотя характер изменения $a_2/a_0(\varphi)$ остается таким же, как показано в [2].

Результаты данной работы могут быть использованы для разработки и конструирования приборов СВЧ, а также для выяснения физических закономерностей их работы в высших полосах пропускания.

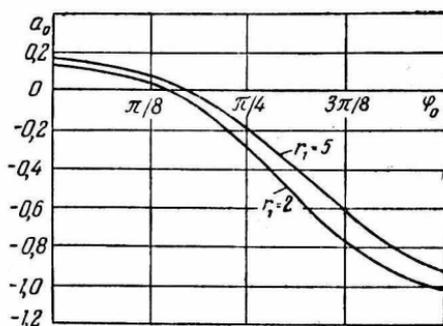


Рис. 2. График зависимости a_0 от φ_0 для различных значений параметра r_1 ($h_1+h_2=6$; $d=1,0$).

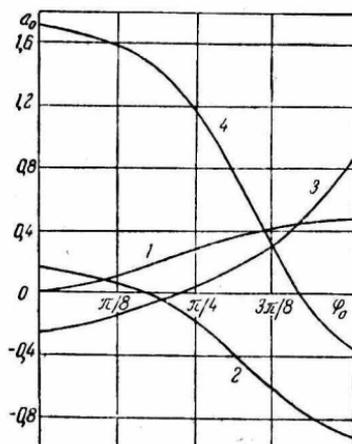


Рис. 3. Поведение абсолютной амплитуды a_0 в зависимости от φ_0 (1, 2, 3, и 4 — номер полосы): $r_1=5$; $d=1,0$; $h_1+h_2=6$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. С. Самохин, Р. А. Силин. Дисперсия и сопротивление связи замедляющих систем на высших типах волн. «Электронная техника», серия 1, «Электроника СВЧ», вып. 7, 1968, с. 78—94.
2. А. Г. Шенин, Н. Н. Жданов, В. В. Старостенко. Исследование высших типов волн разнорезонаторной гребенчатой замедляющей системы. Труды конференции по электронной технике. «Материалы семинара по численным методам решений внутренних краевых задач электродинамики СВЧ», вып. 9 (35). ЦНПИ, «Электроника», 1971, с. 161—167.
3. А. В. Канторович, В. И. Крылов. Приближенные методы высшего анализа. Гостехиздат, 1949. 360 с.
4. В. В. Минич, Л. Н. Кошек. Оценка эффективности пространственных гармоник различных видов колебаний магнетрона. «Электронная техника», серия 1, «Электроника СВЧ», вып. 3, 1968, с. 74—81.
5. Р. А. Силин, В. П. Сазонов. Замедляющие системы. Изд-во «Советское радио», 1966. 624 с.
6. Магнетроны сантиметрового диапазона, т. 1. Изд-во «Советское радио», 1950. 418 с.