

ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ "ОХЛАЖДЕНИЕ" МЕДЛЕННОЙ ЦИКЛОТРОННОЙ ВОЛНЫ ЭЛЕКТРОННОГО ПОТОКА В СКРЕЩЕННЫХ ПОЛЯХ

Е.П.Бочаров, Д.И.Трубецков, В.Н.Мещик

В последнее время накопилось много доводов в пользу того, что неустойчивости в работе мощных лучевых усилителей магнетронного типа вызваны взаимодействием шумовой медленной циклотронной волны с быстрой электромагнитной волной, возникающей между холодным катодом и корпусом прибора [1–3].

В настоящей работе обсуждается возможность создания параметрического подавителя шумовой медленной циклотронной волны электронного потока в скрещенных полях ¹⁾.

Электронный поток последовательно проходит через две ВЧ секции (рисунок), в которых используется "сопряженный" вид взаимодействия (в области взаимодействия возбуждается левополяризованная электромагнитная волна) [6, 7]. Предположим, что в конце области I подавлена шумовая левополяризованная синхронная волна на некоторой частоте ω_4 . "Очищенный" от этой волны поток входит в область II, где на него воздействует электромагнитная волна с час-

¹⁾ Метод параметрического "охлаждения" медленной волны пространственного заряда в лучевых приборах 0-типа обсуждался ранее в [4], но оказался малоэффективным в силу слабой дисперсии волн пространственного заряда.

тотой накачки ω_H , имеющая постоянную распространения β_H . Остановимся на анализе процессов в области II, поскольку для секции I результаты известны. Используем модель и обозначения работы [5]. Тогда уравнения, описывающие ВЧ процессы в области II, можно записать в следующем виде:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dv_x}{dt} - \omega_c v_y &= \eta E_x \\ \frac{dv_y}{dt} + \omega_c v_x &= \eta E_y \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

$$E_x = \frac{i}{2} \left[\epsilon_x(y_0) + \frac{\partial \epsilon_x}{\partial y} \Big|_{y=y_0} \tilde{y} \right] \{ \exp[i(\omega_H t - \beta_H x)] - \exp[-i(\omega_H t - \beta_H x)] \},$$

$$E_y = \mp \frac{1}{2} \left[\epsilon_y(y_0) + \frac{\partial \epsilon_y}{\partial y} \Big|_{y=y_0} \tilde{y} \right] \{ \exp[i(\omega_H t - \beta_H x)] + \exp[-i(\omega_H t - \beta_H x)] \}, \quad (2)$$

где v_x и v_y — продольная и поперечная компоненты ВЧ скорости электронов, \tilde{y} — переменная составляющая поперечного ВЧ смещения электронов; $\omega_c = \eta B$ — циклотронная частота. Уравнения (1) — (2) справедливы при возбуждении в секции II как правополяризованной в плоскости распространения волны (верхний знак), так и левополяризованной (нижний знак; рисунок).

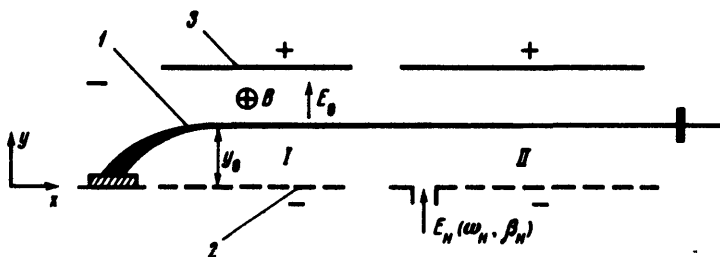


Схема параметрического подавления шумов медленной циклотронной волны: 1 — электронный поток, 2 — замедляющая система, 3 — холодный катод

Следуя [8], введем нормальные волны электронного потока следующим образом: $a_1(x, t) = v_y + i v_x$ — быстрая циклотронная волна пучка; $a_2(x, t) = v_y - i v_x$ — медленная циклотронная волна; $a_3(x, t) = a_1 - i \omega_c (\tilde{y} + i x)$ — правополяризованная синхронная волна; $a_4(x, t) = a_2 + i \omega_c (\tilde{y} - i x)$ — левополяризованная синхронная волна (\tilde{x} — ВЧ продольное смещение электронов).

Считая, что $d/dt = i\omega + v_0(\partial/\partial x)$, нетрудно показать, что $a_k(x, t)$ подчиняются уравнению:

$$\frac{\partial a_k(x, t)}{\partial x} = -i\beta_k a_k(x, t) + \frac{\eta}{v_0} E_{\pm}(x, t), \quad (3)$$

где $\beta_{1,2} = \beta_e \mp \beta_c$; $\beta_{3,4} = \beta_e$; $\beta_c = \omega_c/v_0$; $v_0 = E_0/B$; $\beta_e = \omega/v_0$; $E_+ = E_y + iE_x$; $E_- = E_y - iE_x$ при $k=1,3$ в уравнении (3) надо брать верхний знак, при $k=2,4$ — нижний.

Предположим, что осуществляется сильная параметрическая связь волны a_2 на частоте ω_2 с постоянной распространения $\beta_2(\omega_2)$ и волны a_4 на частоте ω_4 с постоянной распространения $\beta_4(\omega_4)$, что требует выполнения условий:

$$\omega_H = \omega_2 + \omega_4, \quad \beta_H = \beta_2(\omega_2) + \beta_4(\omega_4). \quad (4)$$

Считая далее поле накачки левополяризованным по кругу ¹⁾, используя (1) — (4) и вводя обозначения $a_{2,4} = A_{2,4}(x) \exp[i(\omega_{2,4}t - \beta_{2,4}x)]$, приходим к системе уравнений:

$$\frac{dA_4^*}{dx} = -i \frac{\Omega^2}{\omega_c v_0} A_2; \quad \frac{dA_2}{dx} = -i \frac{\Omega^2}{\omega_c v_0} A_4^* \quad (5)$$

с граничными условиями:

$$A_4^*(0) = 0; \quad A_2(0) = A_{20}. \quad (6)$$

В соотношениях (5) и (6) $\Omega^2 = \frac{\eta}{2} \left| \frac{\partial \epsilon_y}{\partial y} \right|_{y=y_0}$, A_{20} — амплитуда шумовой медленной циклотронной волны на входе в область II.

Решения уравнений (5) при условиях (6) имеют вид:

$$A_2 = A_{20} \cos \frac{\Omega^2}{\omega_c v_0} x; \quad A_4^* = -i A_{20} \sin \frac{\Omega^2}{\omega_c v_0} x. \quad (7)$$

Из соотношений (7) видно, что при длине области II $l = \pi \frac{\omega_c v_0}{2 \Omega^2}$ происходит полный энергетический обмен между волнами a_2 и a_4 . При этом шумовая мощность медленной циклотронной волны на частоте ω_2 полностью переходит в шумовую мощность левополяризованной синхронной волны на частоте ω_4 .

"Охлажденный" подобным образом электронный поток можно использовать в лучевом приборе бегущей волны М-типа, усиливающем сигналы частоты, близкой к ω_2 .

Саратовский
государственный университет
им. П.Г.Чернышевского

Поступила в редакцию
16 апреля 1970 г.

¹⁾ Это необходимо для сильной параметрической связи волн a_2 и a_4 , которые также левополяризованы по кругу.

Литература

- [1] P.N.Hess, J.W.Jensen. Tubes pour hyperfrequences. Travaux du 5- e congress international, 316, 1964.
 - [2] R.P.Wadhwa, V.K.Misra. IEEE Trans. on E.D., 16, 237, 1969.
 - [3] V.K.Misra, R.P.Wadhwa. ТИРИ , 57, 97, 1969.
 - [4] P.A.Sturrock. Rec of Intern. congress of microwave tubes, 406, 1960.
 - [5] В.В.Гурзо, В.С.Стальмахов, Д.И.Трубецков. Радиотехника и электроника, 10, 2251, 1965.
 - [6] O.P.Gandi, J. of Electronics and Control, 14, 393, 1963.
 - [7] Д.И.Трубецков. XX Всесоюзная научная сессия, посвященная Дню радио, секция электроники, тезисы докладов и сообщений, 22, 1964.
 - [8] В.М.Лопухин, А.С.Рошаль. УФН, 85, 297, 1965.
-