

3. Liu Liubao. *Brazing of Vacuum Devices and Metal Ceramic Sealing*. - Beijing: Defence Industry Press, 1978. P. 8.
4. Shi Shaoming//*J. Electronics*. 1982. V. 4. N 6. P. 393.
5. Wahlstrom E.E. *Optical Crystallography*. - New York: John and Son, 1979. P. 86.

Институт радиотехники и электроники  
Академии наук Китайской народной  
республики

Поступила в редакцию  
9 апреля 1991 г.

УДК 621.396.8

## ВЛИЯНИЕ УГЛА РАССОГЛАСОВАНИЯ НА ФЛУКТУАЦИИ ЧАСТОТЫ МАГНЕТРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

О. Л. Сироткин

Исследованию источников и механизмов возникновения шумов в приборах М-типа посвящено достаточно большое число работ [1 - 5]. Значительно меньше уделено внимания практическим способам уменьшения их интенсивности [6]. В данном сообщении рассматривается влияние фазового рассогласования между наведенным током и напряжением на резонаторе на квазистатические флуктуации частоты, обусловленные случайным характером активной составляющей электронной проводимости пространства взаимодействия. Исследование проводится на основе эквивалентной схемы магнетрона [3, 7, 8] с учетом третьей гармоники напряжения на контуре.

Ограничиваясь рассмотрением возбуждения только одного вида колебаний, можно записать, как известно [7], следующее уравнение движения осциллятора:

$$\frac{d^2 u(t)}{dt^2} + u(t) = -Q_H^{-1} \frac{d}{dt} u(t) + Y_{ок}^{-1} \frac{d}{dt} i_H(t). \quad (1)$$

Здесь  $u(t)$  - колебательное напряжение, развиваемое на волновом сопротивлении контура,  $i_H(t)$  - наведенный ток, связанный главным образом с тангенциальным перемещением пространственного заряда,  $Y_{ок}$  - волновая проводимость колебательной системы,  $Q_H$  - нагруженная добротность.

Зависимость  $i_H = f(u)$ , согласно [3, 8], задается неполным кубическим полиномом:  $i_H = -g(1 - \beta_1 u^2)u$ , где  $\beta_1 = 1/3 \cdot E_s^{-2}$ ,  $E_s$  -

напряжение насыщения аппроксимированной характеристики тангенциальной составляющей наведенного тока,  $g$  - активная составляющая электронной проводимости пространства взаимодействия. Электронное смещение частоты магнетрона, следуя [7], учитывается запаздыванием наведенного тока от напряжения на резонаторе на некоторое безразмерное время  $\tau$ . В случае медленных флуктуаций величины  $g(t)$  имеем

$$i_H(t) = -g(t)[u(t - \tau) - \beta_1 u^3(t - \tau)]. \quad (2)$$

Решение уравнения (1), после подстановки в него соотношения (2), ищется методом разделения частот [9], что приводит во втором приближении к следующим укороченным уравнениям для фазы  $\Phi$  и амплитуды  $a$  первой гармоники  $u_1(t) = a(t)\cos\varphi(t) = a(t)\cos(t + \Phi(t))$ :

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \Phi(t) = & [0,5Y_{\text{ок}}^{-1}g(t) - 0,375Y_{\text{ок}}^{-1}\beta_1g(t)a^2(t)]\sin t + \\ & + \frac{9}{256} Y_{\text{ок}}^{-2}\beta_1^2g^2(t)a^4(t)\cos 4t; \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} a(t) = & - [0,5Y_{\text{ок}}^{-1}g(t)a(t) - 0,375Y_{\text{ок}}^{-1}\beta_1g(t)a^3(t)]\cos t - \\ & - 0,5Q_H^{-1}a(t) + \frac{9}{256} Y_{\text{ок}}^{-2}\beta_1^2g^2(t)a^5(t)\sin 4t. \end{aligned} \quad (4)$$

В случае квазистатической модуляции  $g(t)$  и  $a(t)$  из (4) находим

$$[0,5Y_{\text{ок}}^{-1}g - 0,375Y_{\text{ок}}^{-1}\beta_1ga^2]\cos t = -0,5Q_H^{-1} + \frac{9}{256} Y_{\text{ок}}^{-2}\beta_1^2g^2a^4\sin 4t$$

и для мгновенной частоты  $\omega = \frac{d}{dt}\varphi(t) = 1 + \frac{d}{dt}\Phi(t)$ , согласно (3), получаем

$$\omega = 1 - 0,5Q_H^{-1}\text{tg}\tau + \frac{9}{256} Y_{\text{ок}}^{-2}\beta_1^2g^2a^4(\sin 4\tau \text{tg}\tau + \cos 4\tau). \quad (5)$$

Очевидно, сдвиг по фазе между первой гармоникой тангенциальной составляющей наведенного тока и напряжением  $u$  связан с запаздыванием  $\tau$  следующим образом:  $\tau = \pi - \theta_3$ , где  $\theta_3$  - угол рассогласования. Следовательно

$$\omega = 1 + 0,5Q_H^{-1}\text{tg}\theta_3 + \frac{9}{256} Y_{\text{ок}}^{-2}\beta_1^2g^2a^4(\sin 4\theta_3 \text{tg}\theta_3 + \cos 4\theta_3). \quad (6)$$

Здесь первые два слагаемых хорошо известны из классической теории электронного смещения частоты [7]. Третье слагаемое, устанавливающее связь между величинами  $\omega$ ,  $g$  и  $\alpha$ , в работах, касающихся магнетронных генераторов, насколько известно автору, ранее не рассматривалось.

Собственно флуктуации частоты  $\omega$  около своего детерминированного значения  $\langle \omega \rangle$  можно определить из (6), представив амплитуду  $a$  и проводимость  $g$  в традиционном для данного типа задач виде:  $a = a_0(1 + \rho)$ ,  $g = g_0(1 + \tilde{g})$ ,  $\langle \rho^2 \rangle \ll 1$ ,  $\langle \tilde{g}^2 \rangle \ll 1$ . После линеаризации в окрестности невозмущенного режима для  $\nu = \omega - \langle \omega \rangle$  находим

$$\nu = \frac{9}{128} Y_{\text{ок}}^{-2} \beta_1^2 g_0^2 a_0^4 (\sin 4\theta_3 \operatorname{tg} \theta_3 + \cos 4\theta_3) (\tilde{g} + 2\rho). \quad (7)$$

Легко заметить, что влияние  $\tilde{g}$  и  $\rho$  на  $\nu$  устраняется при условии  $\theta_3 = -30^\circ$ . В области эксплуатационных режимов угол рассогласования обычно изменяется от  $-10^\circ$  до  $-60^\circ$ . Найденное здесь значение  $\theta_3$  попадает в этот интервал.

Представляется интересным, что согласно работам [6, 10] малозумящие режимы магнетронов достигаются регулированием эмиссионных параметров катода, которые через ток анода в значительной степени определяют и угол  $\theta_3$ . Однако, судя по достаточно большому расстоянию от несущей, в [10] оно составляет 1 - 100 кГц, нельзя абсолютно точно утверждать, что эти малозумящие режимы имеют место и для медленных флуктуаций частоты. Здесь требуются эксперименты с меньшей частотой модуляции, порядка 0,1 - 100 Гц, например. Для доплеровских радиолокаторов желательны магнетроны с низким уровнем шумов вблизи несущей, поэтому такие исследования весьма необходимы, хотя они и трудны.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Никонов В. И. // Изв. вузов. Радиофизика. 1962. Т. 5. № 2. С. 270.
2. Кузнецов М. И. // Изв. вузов. Радиофизика. 1969. Т. 12. № 12. С. 1873.
3. Гомозов В. И., Ламехов Э. Г. // Изв. вузов. Радиофизика. 1987. Т. 30. № 9. С. 1138.
4. Корнилов С. А. // Радиотехника и электроника. 1974. Т. 19. № 6. С. 1230.
5. Смирнов А. В., Усыченко В. Г. // Радиотехника и электроника. 1988. Т. 33. № 4. С. 883.
6. Смирнов А. В., Соколов И. В., Усыченко В. Г. // Электронная техника. Сер. 1. Электроника СВЧ. 1982. Вып. 3(339). С. 3.

## ДОРОГИЕ АВТОРЫ И ЧИТАТЕЛИ!

Редакция журнала «Радиофизика» перешла с 1991 года на компьютерный набор.

Просим всех авторов очень внимательно проверить авторские оригиналы статей, в том числе формулы, таблицы, рисунки, исправить все имеющиеся ошибки, уточнить УДК.

Особое внимание просим обратить на написание формул: четко отчеркнуть индексы, пояснить их на полях, векторные величины обозначить стрелкой над буквами, усреднение — черточкой.

### Ошибки в рукописи — это ошибки готовых номеров!

Предлагаем авторам присылать варианты статей, написанные на дискете в распространенных текстовых редакторах типа ChiWriter версии 3.11, 3.15 и далее. Для быстрой адаптации текста необходимо на дискете указать и набор используемых шрифтов («фонтов»). Возможно использование и других текстовых процессоров и издательских систем типа MS Word, PCTEX, Ventura и др. по согласованию с редакцией.

(Контактный телефон (8-8312) 36-01-71. Мурашкина Ксана Борисовна)

Статьи, оформленные таким образом, будут иметь меньший срок публикации. Дискеты будут возвращены авторам (организациям) после публикации статьи в течение 2—3 месяцев. На дискете указывать организацию и фамилии авторов (необходимые дополнительные сведения можно заносить в информационный файл с именем типа readme.doc, написанным в обычных текстовых редакторах типа Multi-Edit v. 2.0—6.0; MicroStar, Norton Editor и др. ASCII редакторах).

Статьи могут быть высланы электронной почтой: mark@carpl.pnov.su или le@carpl.pnov.su.

(Контактный телефон (8-8312) 36-01-88. Шварц Марк Михайлович)

Адрес редакции: 603600, г. Нижний Новгород, ул. Большая Печерская, 25.

Научно-исследовательский радиофизический институт,  
редакция журнала «Радиофизика».

Телефон 36-01-71