

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ ЧАСТОТЫ МАГНЕТРОНОВ С РАЗЛИЧНЫМИ АНОДНЫМИ БЛОКАМИ

А. И. Терещенко, А. Г. Шенин

Развитие современной науки и техники ставит перед конструкторами СВЧ-приборов ряд серьезных требований, одно из которых — повышение стабильности частоты генераторов типа *M*-магнетронов.

Характер и величина изменения частоты в каждом отдельном случае зависят от целого ряда факторов, определяемых электроникой прибора, температурным режимом, характером нагрузки и т. п. Сдвиг частоты, обусловленный действием дестабилизирующего фактора  $\alpha$ , можно оценить, исходя из баланса фаз. Для конечного приращения  $\Delta\alpha$  относительное изменение частоты [1]

$$\frac{\Delta\omega}{\omega_0} = \frac{\frac{\partial\varphi_\alpha}{\partial\alpha} + \frac{\partial\varphi_\kappa}{\partial\alpha} + \frac{\partial\varphi_s}{\partial\alpha}}{-\omega \left( \frac{\partial\varphi_\alpha}{\partial\omega} + \frac{\partial\varphi_\kappa}{\partial\omega} + \frac{\partial\varphi_s}{\partial\omega} \right)} \quad (1)$$

Числитель данного выражения определяет степень влияния дестабилизирующего фактора на фазовые углы  $\varphi_\kappa$ -контура,  $\varphi_\alpha$ -лампы и  $\varphi_s$ -цепи обратной связи, а знаменатель — фиксирующую способность генератора. В магнетронах с узкополосной колебательной системой фиксирующая способность в целом определяется фиксирующей способностью резонаторной системы, т. е.

$$-\omega \frac{\partial}{\partial\omega} (\varphi_\alpha + \varphi_\kappa + \varphi_s) \approx -\omega \frac{\partial\varphi_\alpha}{\partial\omega}$$

В связи с этим целесообразно исследовать влияние геометрии анодного блока магнетрона, в частности, формы резонаторов на стабильность частоты.

Основные дестабилизирующие факторы в магнетронах — влияние нагрузки и проводимости сгруппированного электронного потока. Эти элементы в общем случае представим включенными параллельно резонаторной системе магнетрона, как показано на рис. 1. Поскольку условию резонанса всей системы удовлетворяет равенство нулю суммарной проводимости всех элементов, определим относительный сдвиг частоты по изменению этой проводимости. Одновременный учет электронного смещения частоты и затягивания частоты — задача довольно сложная, поэтому сравнивать стабильности различных магнетронных систем будем отдельно для каждого случая в предположении, что все остальные параметры фиксированы.

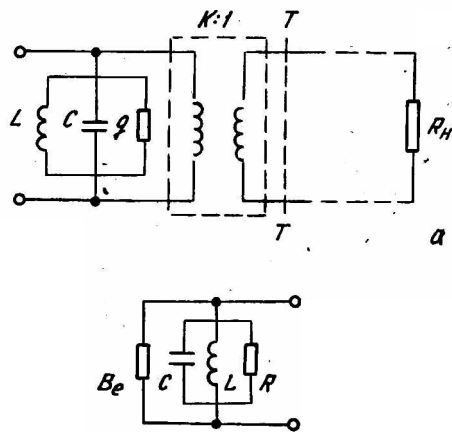


Рис. 1.

### Влияние проводимости нагрузки на изменение частоты магнетронов

Эквивалентная схема магнетрона с учетом элемента связи резонаторной системы с нагрузкой может быть представлена в виде пассивного четырехполюсника (рис. 1, а), образованного параллельным включением резонаторной системы магнетрона и нагрузки.

Условие резонанса такой системы

$$Y_{\Sigma} + Y_n = 0, \quad (2)$$

где  $Y_{\Sigma}$  — суммарная проводимость резонаторной системы и пространства взаимодействия;  $Y_n$  — проводимость нагрузки, пересчитанная к щели связи. Относительное смещение частоты определяется соотношением [2]

$$2j \frac{\Delta\omega}{\omega_0} = \frac{Y_n}{Y_c} - \frac{1}{Q_0} - \frac{J_T}{Q_{\text{вн}}}. \quad (3)$$

Здесь  $Y_c$  — характеристическая проводимость резонаторной системы;  $J_T$  — нормализованная проводимость в сечении  $T$  (в случае согласованной передающей линии  $J_T = 1$ );  $Q_0$  — ненагруженная добротность резонаторной системы,  $Q_{\text{вн}}$  — внешняя добротность, определяемая как произведение коэффициента отражения  $\Gamma$  на  $Q_0$  [2]:

$$Q_{\text{вн}} = |\Gamma| Q_0. \quad (4)$$

Исходя из соотношений (3) и (4), сделаем вывод о том, что затягивание частоты обратно пропорционально ненагруженной добротности системы. Следовательно, эффективность работы прибора возрастает при использовании в анодных блоках резонаторов с большими величинами  $Q_0$  или при специальных мерах стабилизации резонансной частоты (присоединение стабилизирующего контура).

Было проведено сравнительное исследование стабильности частоты для различных конструкций анодных блоков. Расчет производился для обычных симметричных анодных блоков с резонаторами щелевого типа, щель-отверстие, лопаточными, каплевидными и эллиптическими (рис. 2). Результаты численного расчета представлены на рис. 3. Все исследуемые системы имели одинаковую частоту колебаний  $\pi$ -вида, одинаковые геометрические размеры пространства взаимодействия и равное число резонаторов, размещенных по окружности анодного блока.

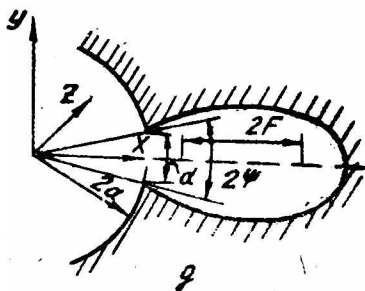
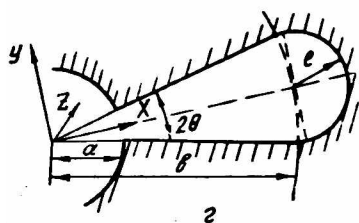
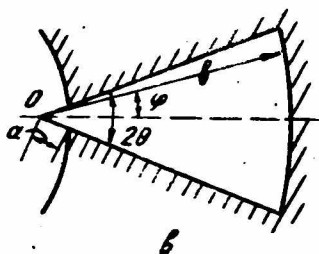
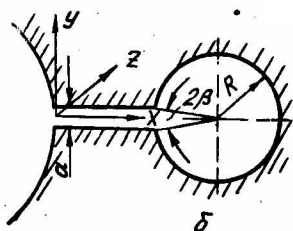
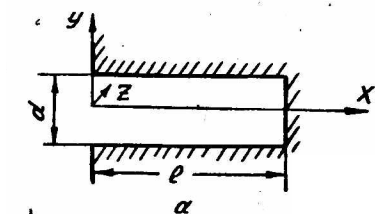


Рис. 2.

Из сравнения полученных результатов видно, что среди симметричных систем наибольшую стабильность обеспечивают анодные блоки с резонаторами каплевидной формы поперечного сечения. В основном это определяется наибольшей величиной ненагруженной добротности таких систем [3].

**Сравнительное исследование электронного смещения частоты (ЭСЧ)**

Эквивалентная схема магнетрона с учетом электронного пучка показана на рис. 1, б. Условие резонанса требует равенства нулю результирующей проводимости системы. В общем случае эквивалентная проводимость пучка имеет комплексный характер:

$$B_e = q_e + jJ_e,$$

где  $q_e$  и  $J_e$  — активная и реактивная составляющие электронной проводимости. Реактивная составляющая этой проводимости обуславливает смещение частоты генерируемых магнетроном колебаний относительно резонансной частоты колебательной системы, которое определяем из соотношения [1]:

$$\frac{\Delta\omega}{\omega_0} = \frac{1}{2Q_H} \operatorname{tg} \left[ \arcsin \frac{L_2}{C_2} - \arcsin \frac{1}{C_2 \sqrt{I_0}} \right]. \quad (5)$$

Здесь  $I_0$  — постоянная составляющая анодного тока; величины  $L_2$  и  $C_2$  получаются из соответствующих соотношений работы [1]. Расчет по приведенному соотношению позволяет оценить электронное смещение частоты магнетрона при различных величинах анодного тока.

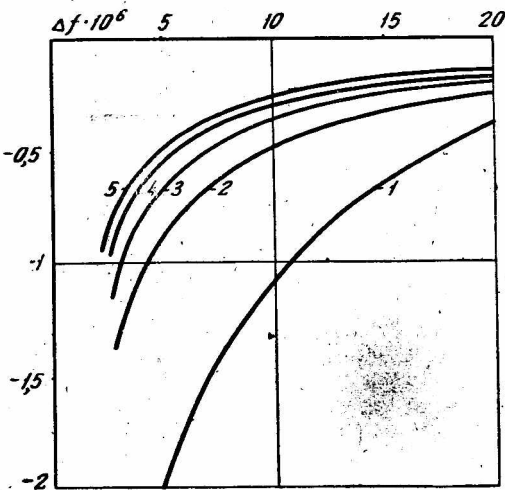


Рис. 4.

роким (каплевидные и эллиптические). Так, при токе 10 а анодные блоки с каплевидными резонаторами обеспечивают ЭСЧ в 1,4 раза меньшее, чем соответствующие им блоки с лопаточными резонаторами, и в 1,7 раза меньшее, чем система с резонаторами типа щель-отверстие.

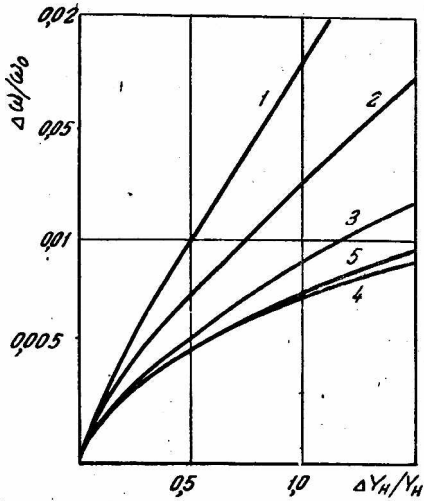


Рис. 3.

На рис. 4 приведены результаты численного счета смещения частоты в зависимости от величины анодного тока. Как и в предыдущем случае, анализировались магнетроны, имеющие симметричные анодные блоки с резонаторами различной формы поперечного сечения (щелевые, щель-отверстие, лопаточные, каплевидные и эллиптические). Здесь также наблюдается улучшение характеристик (уменьшение ЭСЧ) при переходе от узких и длинных резонаторов (щелевые) к широким (каплевидные и эллиптические).

Следовательно, можно ожидать, что улучшение формы резонаторов анодных блоков позволит не только улучшить разделение частот видов колебаний, но и увеличить стабильность работы прибора и уменьшить влияние нагрузки на его характеристики.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. С. И. Бычков, Н. И. Буренин, Р. Т. Сафаров. Стабилизация частоты генераторов СВЧ. Изд-во «Советское радио», 1962.
2. Магнетроны сантиметрового диапазона (пер. с англ. под ред. С. А. Зусмановского), т. I. Изд-во «Советское радио», 1950.
3. А. И. Терещенко, А. Г. Шенн, А. Е. Зайцев. Сб. докладов XXI Всесоюзной научной сессии НТОРиЭ им. А. С. Попова, секция Электроники, 1965.