

ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ СОБСТВЕННОЙ ЧАСТОТЫ РЕЗОНАТОРА В ПЕРЕХОДНОМ И ОСНОВНОМ РЕЖИМАХ РАБОТЫ

А.С.Ковалишин, А.В.Полтораков, И.В.Киселев, Г.И.Ямщиков

Институт ядерных исследований АН СССР, Москва

Назначением системы автоматического регулирования частоты резонатора, изменения температуры (АРЧТ) является стабилизация его собственной частоты во всех режимах работы: в подготовительном, переходном (при вводе ВЧ-мощности) и основном (на номинальном уровне мощности).

В настоящей работе исследуется возможность построения комбинированной системы АРЧТ с целью повышения точности и быстродействия отработки возмущающих воздействий, вызванных введением ВЧ-мощности при тепловом способе подстройки его собственной частоты /1/. Исследование системы АРЧТ в подготовительном режиме (до ввода ВЧ-мощности) представлено в /4/.

Резонатор как объект автоматического регулирования при управлении температурой, а следовательно, и собственной частотой описывается уравнениями /2,3/:

$$\left. \begin{aligned} C_p \frac{dt_p}{d\tau} &= P_{BQ} - \frac{1}{\alpha} (t_p - t_{Bx}) \\ C_{Bx} \frac{dt_{Bx}}{d\tau} &= P_{BQ} - \alpha G(t_{Bx} - t_{Bx}) \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

где $P_{BQ} = \frac{P_0}{1 + K_d t^2}$; C_p, C_{Bx} - теплоемкости резонатора и воды, находящейся в каналах охлаждения; K_d, α, G - коэффициенты пропорциональности; t_p, t_{Bx}, t_{Bx} - температуры резонатора, воды в каналах охлаждения, входной воды; Δt - отклонение температуры резонатора от резонансного значения; P_0 - мощность ВЧ-генератора. Соответствующая структурная схема показана на рис. I, где

$$T_0 = \frac{C_{Bx}}{\alpha G}; \quad T'_0 = C_p \alpha.$$

Поскольку подстройка частоты осуществляется тепловым способом, то справедливо соотношение:

$$\frac{\Delta f}{f_0} = \alpha_r \Delta t, \quad (2)$$

где α_r - коэффициент пропорциональности.

Особый интерес представляет исследование отклонения резонансной частоты Δf в зависимости от изменения температуры охлаждающей воды t_{Bx} и уровне вводимой ВЧ-мощности.

После подстановки t_p в (2) из (1) при $t \rightarrow \infty$ получаем:

$$\frac{\Delta f}{f_0} = \alpha_r (\alpha P_{BQ} + t_{Bx} - t_{Bx}). \quad (3)$$

Приняв резонансную температуру за начало координат, из (3) получаем зависимость изменения температуры воды t_{Bx} от уровня вводимой мощности для настроенного резонатора ($\frac{\Delta f}{f} = 0$):

$$\alpha P_{BQ} = -t_{Bx}. \quad (4)$$

В режиме подготовки резонатор прогревается до температуры $t_{Bx} = t_{Bx}$, что следует из (3) при $P_{BQ} = 0$. В этом случае частота "холодного" резонатора

ра равна резонансной $f_0 = f_p$. При стабилизации температуры воды системой с обратной связью с вводом ВЧ-мощности повышается температура участков резонатора, удаленных от каналов охлаждения, а его собственная частота уменьшается. На рис.2, кривая 1, показан график такой зависимости, при $P_{\text{ВЧ}} = 30 \text{ кВт}$, снятый экспериментально на стенде-модуле II части линейного ускорителя мезонной фабрики. Таким образом, измеряемый параметр t_p может служить координатой обратной связи в системе АРЧТ только в режиме подготовки и при малой ВЧ-мощности, не оказывающей значительного влияния на среднюю температуру резонатора t_p .

При большой введенной ВЧ-мощности управление частотой можно осуществить либо с помощью экстремального регулятора, ведущего поиск, например, минимума отраженной волны, либо используя сигнал с датчика разности фаз между падающей волной и полем в резонаторе в качестве сигнала обратной связи. На Московской мезонной фабрике реализован метод управления по разности фаз.

Как видно из рис.1, основным возмущающим фактором в системе АРЧТ является энергия потерь ВЧ- поля. Поэтому представляется целесообразным компенсировать влияние на собственную частоту резонатора именно этого возмущения.

На рис.3 представлен график зависимости расстройки резонатора Δf от усредненной температуры воды в каналах охлаждения t_p . Наличие такой зависимости с учетом (4) дает возможность создания в системе АРЧТ канала компенсации возмущения введенной ВЧ-мощности.

Канал вырабатывает в зависимости от уровня ВЧ-мощности сигнал, уменьшающий уставку системы стабилизации температуры воды до значения, при котором частотная расстройка резонатора равна $\frac{\Delta f}{f_0} = 0$.

Соответствующий переходный процесс показан на рис.2, кривая 2. Подбором коэффициента передачи системы по возмущению статическую погрешность можно свести к нулю. После окончания переходного процесса, вызванного вводом ВЧ-мощности до номинального уровня ($P_{\text{ВЧ}} = 30 \text{ кВт}$), дальнейшая подстройка частоты резонатора осуществляется по информации о разности фаз. Переходные процессы при отработке системой отклонений частоты, вызванных изменением уровня ВЧ- поля ($\Delta P_{\text{ВЧ}} = 3,3 \text{ кВт}$) и ВЧ-частоты задающего генератора, показаны на рис.4 (кривые 1 и 2 соответственно). Следует отметить, что при ступенчатом вводе ВЧ-мощности с использованием только сигнала обратной связи, при согласовании резонатора с подводящим волноводным трактом с КСВ = 1,5, время ввода составит $\Delta t \approx 30 \text{ мин}$. Точность стабилизации при этом равна $\Delta f = \pm 2 \text{ кГц}$ при $f_0 = 991 \text{ МГц}$.

Таким образом, использование в системе АРЧТ дополнительного канала усиления по возмущению позволяет значительно сократить время переходного процесса и облегчить условие работы ВЧ-канала за счет улучшения согласования волноводного тракта с резонатором при вводе ВЧ-мощности и стабилизировать резонансную частоту резонатора как в переходном, так и основном режимах работы.

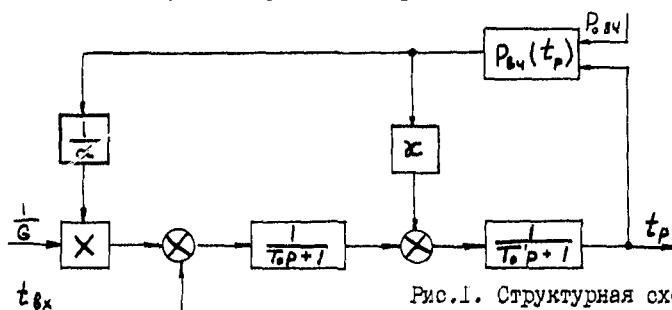


Рис.1. Структурная схема резонатора.

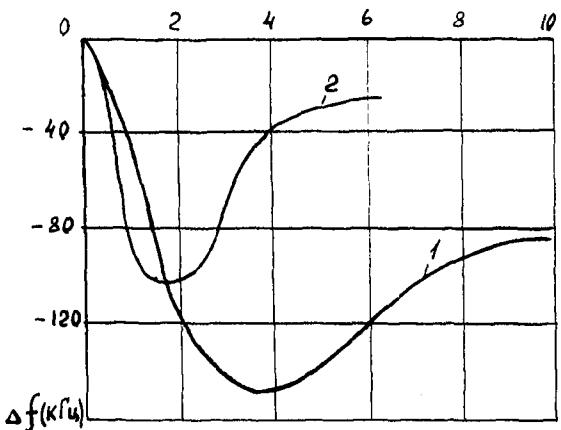


Рис. 2. Переходные характеристики системы при вводе ВЧ-мощности.

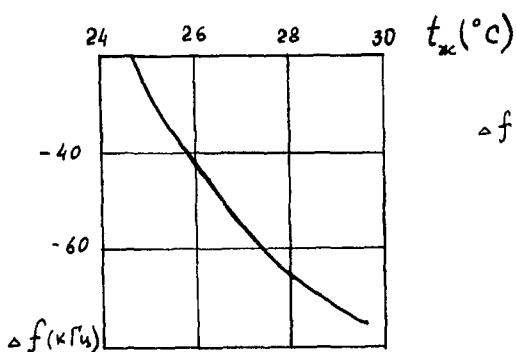
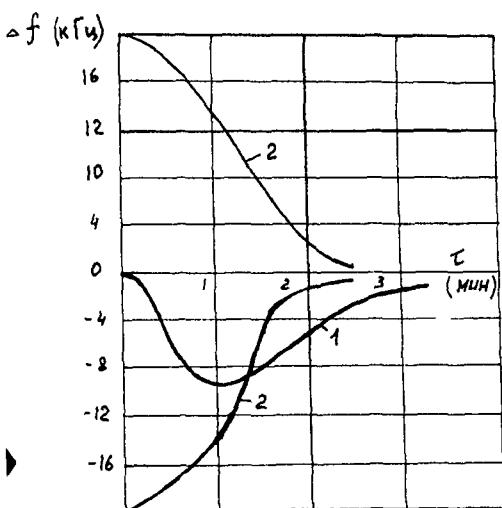


Рис. 3. Зависимость расстройки резонатора от температуры охлаждающей воды.

Рис. 4. Переходные характеристики отработки системой внешних воздействий.



Л и т е р а т у р а

- Башкин Г.И., Бидный С.В., Мирочник Э.А. Тяжелоионные ускорители. В кн.: Труды Радиотехнического института АН СССР, М., 1980, № 36, с.34.
- Ковалишин А.С. Моделирование в автоматизированных системах управления. – В кн. Межвузовский сборник научных трудов. Новосибирск, НЭТИ, 1981, с.189.
- Ковалишин А.С., Лабуть В.И., Копин В.С., Фокин В.Н. Вопросы атомной науки и техники. Серия: техника физического эксперимента, 1984, вып. I (18), с.50.
- Ковалишин А.С., Копин В.С., Полтораков А.В., Ямщиков Г.И. Испытание системы автоматического управления резонансной частотой резонатора в режиме подготовки к вводу ВЧ-мощности на стенде ИЯИ АН СССР. В сб. Труды 9-го Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, ОИЯИ, Дубна, 1985, т. I, с.244.