

## ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ТЕРМОСТАТА НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ СПЕКТР ШУМОВ МЕРЫ ЧАСТОТЫ

Н.И. Свитенко

(представил д.т.н., проф. Э.Н. Хомяков)

Рассматривается влияние термодинамических процессов в термостате на энергетический спектр шумов прецизионных мер частоты на основе кварцевых генераторов. Дается объяснение наличия в спектре регулярных составляющих, значительно превышающих уровень шумов.

Измерение энергетического спектра фазовых шумов  $S_{\varphi}(\omega)$  прецизионных мер частоты вблизи несущей  $f_0$  существующими средствами измерений возможно лишь косвенным методом, основанным на обращении интегрального уравнения Фредгольма первого рода

$$\int_0^{\infty} |H_N(\omega, \tau)|^2 S_y(\omega) d\omega = D_{H,N}(\tau), \quad (1)$$

где  $D_{H,N}(\tau)$  - оценка дисперсии относительных частотных флуктуаций меры, известная под названием  $N$  - выборочной дисперсии Адамара [1];  $H_N(\omega, \tau)$  - частотная характеристика измерителя, реализующего данную оценку дисперсии;  $\tau$  - интервал времени измерения отклонения частоты.

Исследование тонкой структуры спектральной плотности мощности фазовых флуктуаций (СПМФФ)  $S_{\varphi}(\omega)$  с использованием уравнения (1) позволило выявить ряд её особенностей: на фоне характерного для прецизионных генераторов спектра шумов со степенной зависимостью по частоте [1] наблюдаются всплески спектральной плотности на определенных частотах. Характерное для прецизионных мер распределение СПМФФ по частоте, полученное по результатам двухсуточных сличений группы стандартов частоты и времени СЧВ-74, приведено на рис.1. Видны мощные спектральные линии в области  $\Delta\Omega$  и на частотах, кратных  $\omega_1$  и  $\omega_2$ .

Наличие мощных спектральных линий в области  $\Delta\Omega$  обусловлено взаимными биениями сличаемых между собой стандартов частоты [2] из состава группового хранителя. Частоты  $\omega_1$  и  $\omega_2$  находятся в области частот, обратно пропорциональных характерным временам проявления термодинамических процессов в термостатированных кварцевых гене-

раторах.

В данной работе предложена модель механизма возникновения терморезонанса в прецизионных термостатированных кварцевых резонаторах.

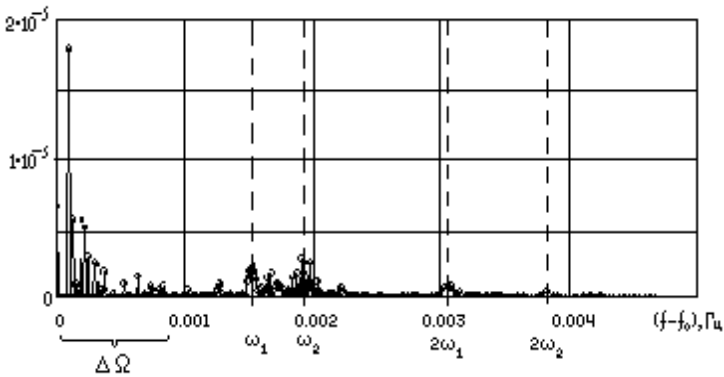


Рис. 1. Распределение СПМФФ по частоте

Система термостатирования кварцевого генератора состоит из резистивного моста с терморезистором в одном плече, усилителя постоянного тока и нагревателя. Поскольку терморезистор является инерционным по отношению к температурным воздействиям элементом, данная система представляет, по сути, усилитель, охваченный обратной связью с задержкой. Как показано в [2], такая система является релаксационной автоколебательной, и для нее существует стационарный режим поддержания температуры в термостате в виде некоего периодического процесса.

Результаты численного решения уравнения теплопроводности при нулевых начальных условиях и граничных условиях первого рода для модели термостата приведено на рис. 2. Видна четкая периодическая зависимость изменения температуры в объеме термостата. Наличие подобных периодических флуктуаций было подтверждено в ряде экспериментов. Причем период колебаний составляет 20...40 минут для различных термостатов.

Спектр данного теплового процесса характеризуется наличием периодического ряда мощных спектральных линий, убывающих с частотой (рис. 3, кривая 1).

Тепловые флуктуации среды внутри термостата приводят к изменению температуры частото задающего элемента – кварцевой пьезопластины, передача тепла которой происходит практически только через кварцедержатель.

На основе решения стационарного уравнения теплопроводности с периодически изменяющейся температурой на свободном конце кварцедержателя была получена амплитудно - частотная характеристика (АЧХ)

передачи тепла кварцедержателем, как функция двух переменных  $f$  и  $L$ , где  $f$  - частота изменения температуры на свободном конце кварцедержателя;  $L$  - длина кварцедержателей. При расчетах предполагалось, что распределение температуры в сечении кварцедержателя однородно, а теплопередача через боковую поверхность отсутствует.

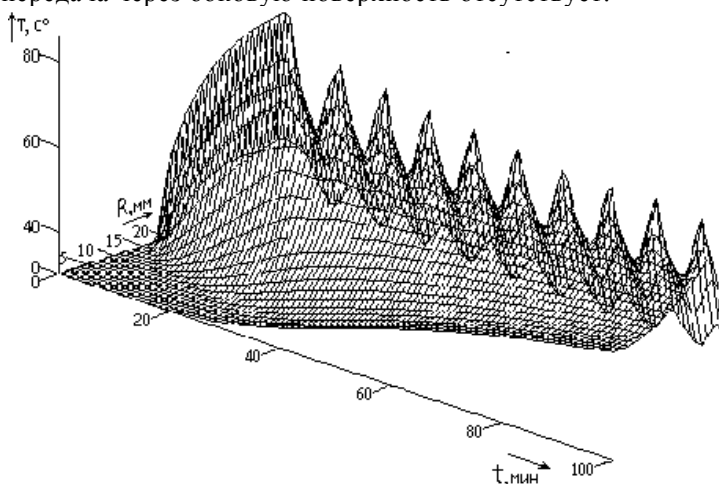


Рис. 2. Результаты решения уравнения теплопроводности для модели термостата

Из рис. 4 видно, что температурные колебания значительно ослабляются с уменьшением длины кварцедержателя  $L$  и ростом частоты  $f$ .

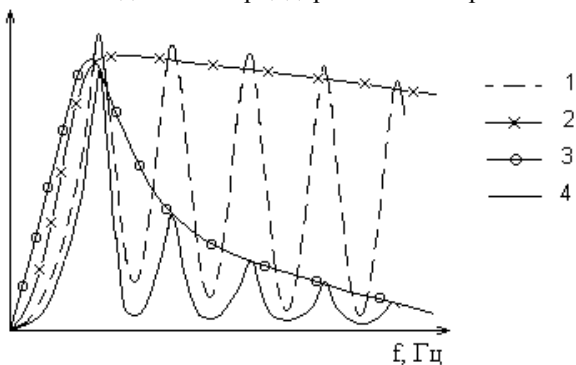


Рис. 3. Кривые АЧХ

АЧХ вариации частоты колебаний самой пьезопластины от частоты вариации температуры, как показано в работе [3] имеют вид кривой 2 на рис. 3.

Общая АЧХ вариации резонансной частоты кварцевого генератора от частоты вариации температуры внутри термостата (кривая 3, рис. 3) есть произведение АЧХ элементов. Видно, что в резонаторе происходит подавление более высокочастотных составляющих вариации температуры и спектр теплового процесса принимает вид кривой 4. При этом происходит совпадение максимума АЧХ теплопередачи системы кварцедержатель - пьезопластина и первой спектральной линии частотного спектра колебаний температуры.

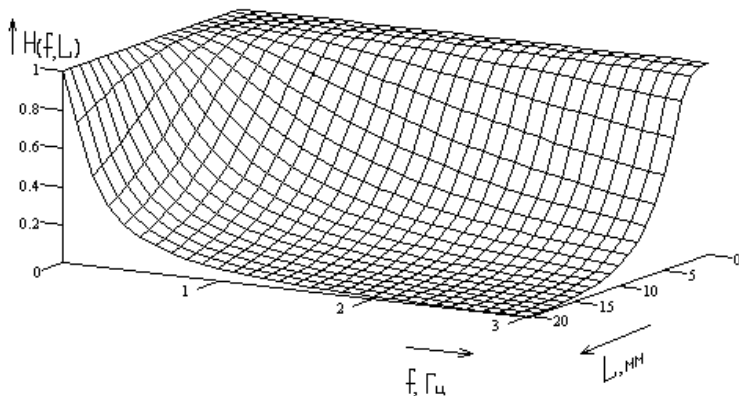


Рис. 4. АЧХ передачи тепла кварцедержателем

Таким образом, дано теоретическое объяснение экспериментально обнаруженного факта наличия в спектре шумов прецизионных мер частоты на основе кварцевого генератора спектральных линий на частотах, характерных для работы системы термостатирования. Сравнение экспериментально полученного энергетического спектра шумов и теоретического спектра тепловых колебаний, воздействующих на кварцевую пластину, подтверждает правильность высказанной гипотезы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Рютман Ж. Характеристики нестабильности фазы и частоты сигналов высокостабильных генераторов: Итоги развития за пятнадцать лет // ТИИЭР. – 1978. – Т.66, № 9. – С. 99 – 102.
2. Мигулин В.В., Медведев В.И., Мустель Е.Р., Парыгин В.Н. Основы теории колебаний. – М.: Наука, 1988. – 326 с.
3. Шмалый Ю.С., Евдокименко Ю.И. Термодинамический резонанс в кварцевых пьезопластинах толщино - сдвиговых колебаний. – М.: Наука, 1987. – 196 с.