

УДК 533.6.011

П.Е.Смирнов (5 курс, каф. ПМ), Я.Л.Вороховский, к.т.н.

РАСЧЕТ НЕСТАЦИОНАРНОГО ТЕПЛОВОГО СОСТОЯНИЯ
ТЕРМОСТАТИРОВАННОГО КВАРЦЕВОГО ГЕНЕРАТОРА НА ОСНОВЕ
ТРЕХМЕРНОГО УРАВНЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ
ДЛЯ КОМПОЗИТНОГО ТЕЛА

Современная радио- и микроэлектронная техника предъявляет высокие требования к стабильности частоты. Наиболее широко используется кварцевая стабилизация частоты, позволяющая создать высокостабильные генераторы. Под кварцевой стабилизацией частоты понимается использование кварцевых резонаторов, основным элементом которого является кристаллический пьезоэлемент. Известно, что частота кварцевого генератора зависит как от средней температуры пьезоэлемента, так и от температурных градиентов по нему. Следовательно, для стабильной работы прецизионного кварцевого генератора необходимо поддерживать температуру пьезоэлемента с высокой степенью точности, а также обеспечивать хорошую пространственную однородность его теплового состояния.

Традиционно используемый для расчета теплового состояния генераторов метод сосредоточенных параметров [1] не обеспечивает требуемой в настоящее время точности, что сильно удлиняет период отработки новых конструктивных решений. Вместе с тем, благодаря появлению высокопроизводительных компьютеров, сегодня стала реальной возможность широкого использования методов расчета трехмерного температурного поля внутри генератора на основе уравнения теплопроводности для композитного тела, каковым, в сущности, и является кварцевый генератор, состоящий из многих десятков элементов.

Уравнение, описывающее диффузионный перенос тепла в твердом теле с внутренними источниками тепла, записывается в виде:

$$\rho C_p \frac{\partial \Phi}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\lambda \frac{\partial \Phi}{\partial x_i} \right) = S_{\Phi} \quad (1)$$

Применительно к модели генератора, источниковый член S_{Φ} состоит из двух частей: постоянной и регулируемой, т.е. $S_{\Phi} = S_c + S_a$. Постоянное тепловыделение S_c возникает из-за наличия элементов электронной схемы, мощность которых практически не зависит от их температуры. Регулируемая мощность обеспечивается работой системы терморегулирования, поддерживающей температуру постоянной в малой окрестности датчика, т.о. $S_a = f(T_{sns})$, где T_{sns} - температура датчика. Входящие в уравнение коэффициенты ρ , C_p , λ - соответственно плотность, удельная теплоемкость и коэффициент теплопроводности, могут быть разрывными.

Для реализации расчетной модели имелась программа, включающая базовые модули метода контрольных объемов, которая была доработана с учетом специфики поставленной задачи. Метод контрольного объема [2] позволяет независимо назначать физические свойства для каждой расчетной ячейки, а в приложении к кварцевому генератору – для каждого его элемента (разница по их физическим свойствам может достигать четырех порядков). На рис.1 показано распределение коэффициента теплопроводности по элементам рассматриваемого генератора, принятое при моделировании. Продвижение по времени осуществляется на основе неявной схемы. В вычислительную модель введена имитация системы терморегулирования с обратной связью. Для этого одна или несколько

расчетных ячеек выполняют функции датчика, а другие - нагревателей, выделяемая мощность которых зависит от температуры датчика.

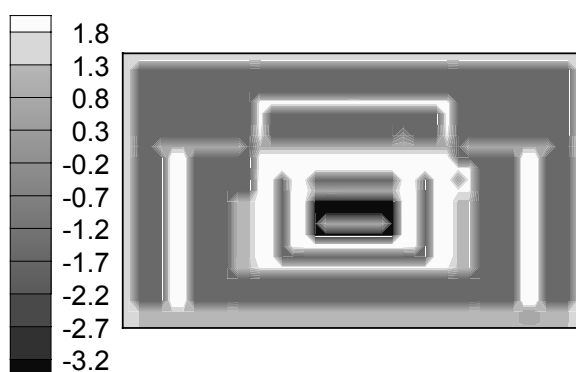


Рис.1. Распределение логарифма коэффициента теплопроводности (в системе СИ) в поперечном сечении генератора

Численное трехмерное моделирование тепловых полей дает детальное представление о распределении температур внутри генератора. В качестве примера на рис. 2 показано распределение температур в одном из сечений генератора в установившемся режиме.

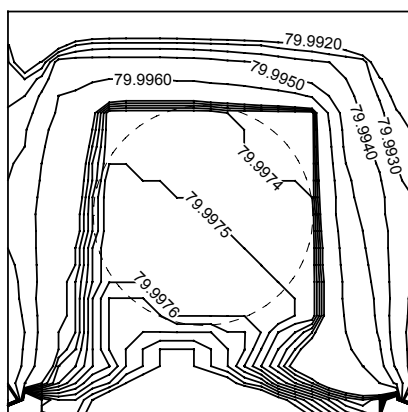


Рис.2. Распределение температур в сечении, включающем пьезоэлемент

Точный расчет теплового состояния генератора позволил впервые получить ценную количественную информацию о влиянии температурных градиентов по пьезоэлементу на нестабильность частоты. Это было достигнуто путем сравнения выбега измеряемой в эксперименте частоты с изменениями градиентов температуры по пьезоэлементу при отстройке датчика терморегулятора реального генератора и, соответственно, его аналога в расчетной модели на одну и ту же величину. Полученные результаты были использованы на ОАО “Морион” для разработки кварцевых генераторов с особо высоким уровнем температурной стабильности.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Дульнев Г.Н., Тарановский Н.Н. Тепловые режимы электронной аппаратуры. Л.: Энергия, 1971.
2. Флетчер К. Вычислительные методы в динамике жидкости. М.: Мир, 1991, Т. 1. 502 с., Т. 2. 552 с.