

# Высокостабильные миниатюрные и сверхминиатюрные кварцевые генераторы

Анатолий Куталев (Омск)

В статье рассмотрены особенности построения и характеристики миниатюрных и сверхминиатюрных высокостабильных генераторов на основе кварцевых резонаторов-термостатов, разработанных в Омском НИИ приборостроения в период с 1990 по 2010 гг.

## ВВЕДЕНИЕ

На протяжении всего периода существования кварцевой стабилизации частоты основной задачей являлось повышение стабильности частоты генераторов. Однако в последнее время, благодаря расширению областей использования кварцевых генераторов и быстрому развитию различных проводных и беспроводных систем связи, определяющими стали такие требования, как существенное снижение уровня шумов, повышение частоты, уменьшение времени готовности и энергопотребления, уменьшение габаритов при сохранении необходимой стабильности частоты.

В значительной степени решить эту задачу позволяет переход от традиционного объёмного термостата к кварцевым резонаторам-термостатам (КРТ), у которых термостатируется только пьезоэлемент, помещённый в вакуумированный корпус. Генераторы на основе КРТ имеют в несколько раз меньшие габариты тепловой системы, низкую потребляемую мощность как в режиме разогрева, так и в стационарном режиме, и меньшее время разогрева термостата до рабо-

чей температуры. Совершенствование КРТ позволило обеспечить стабильность частоты и шумовые характеристики генераторов, сравнимые или даже превосходящие таковые у генераторов традиционной конструкции. Основные этапы развития и принципы построения генераторов на основе КРТ можно проследить на примере разработок ФГУП ОНИИП в течение 1990–2010 гг.

## ГЕНЕРАТОРЫ НА ОСНОВЕ КРТ В СТЕКЛЯННЫХ БАЛЛОНАХ

В конце 1980-х годов был разработан кварцевый резонатор-термостат для использования в высокостабильных опорных генераторах аппаратуры СВ связи IV поколения [1]. Отличием этого резонатора от предыдущих конструкций является то, что в вакуумированном стеклянном баллоне диаметром 19 мм установлены прецизионный кварцевый резонатор, камера тепла, датчик температуры и нагреватель.

Температурная нестабильность частоты КРТ составляла менее  $5 \times 10^{-9}$  в диапазоне  $-60...70^\circ\text{C}$  при мощности потребления в нормальных условиях ме-

нее 100 мВт. Время установления частоты с точностью  $1 \times 10^{-7}$  при мощности форсированного разогрева 1,5 Вт не превышало 3 мин.

На основе этого резонатора были разработаны и выпускаются в настоящее время кварцевые генераторы «Гладиолус», «Астра» и «Астра-М» на частоты 8...15 МГц и генераторы «Пион» на частоты 50...130 МГц. Генераторы выполнены с применением унифицированных конструктивных решений и отличаются электрическими схемами и типом пьезоэлемента. Благодаря оптимизации режима работы кварцевого резонатора в схеме и оптимизации параметров терморегулятора генераторы отличаются очень низким уровнем фазового шума.

В связи с разработкой аппаратуры связи V поколения, переходом на новую конструктивную базу, применением поверхностного монтажа появился ряд новых требований к генераторам, в том числе, необходимость дальнейшей миниатюризации при сохранении высоких требований к стабильности частоты [2]. Для решения этой задачи в 1998 г. был разработан кварцевый генератор «Георгин», имеющий суммарную нестабильность частоты менее  $\pm 5 \times 10^{-8}$ , уровень фазового шума  $-160$  дБ/Гц, время готовности не более 15 с, объём  $12 \text{ см}^3$  при высоте корпуса менее 12 мм.

В генераторе использован кварцевый резонатор-термостат в стеклянном баллоне диаметром 10 мм. Малые размеры корпуса потребовали существенного изменения конструкции КРТ. Применение принципа перераспределения мощности позволило обеспечить быстрый разогрев резонатора до рабочей температуры, высокую температурную стабильность и низкий уровень шумов генератора вблизи несущей. Время установления частоты с точностью  $1 \times 10^{-7}$  для серийных образцов КРТ находится в пределах от 8 до 12 с в нормальных условиях. Выпускаются варианты генератора с напряжением питания 12 В (М32008) и 5 В (М23011).

## ГЕНЕРАТОРЫ НА ОСНОВЕ КРТ В МЕТАЛЛОСТЕКЛЯННЫХ КОРПУСАХ

Использование металлостеклянных корпусов позволяет устранить многие

Технические характеристики кварцевых генераторов серии «Топаз»

Параметр	М32019	М33007	М34001
Частота, МГц	8-13	50	10
Старение после 30 суток непрерывной работы, не более: за сутки за год	$\pm 5 \times 10^{-10}$ $\pm 5 \times 10^{-8}$	$\pm 5 \times 10^{-7}$	$\pm 2 \times 10^{-7}$
Фазовый шум, дБ/Гц (не более) при отстройке			
1 Гц	-80	-	-
10 Гц	-120	-95	-90
100 Гц	-145	-120	-120
1000 Гц	-155	-150	-150
10 000 Гц	-160	-155	-155
Диапазон рабочей температуры	$-40...70^\circ\text{C}$	$-40...70^\circ\text{C}$	$-40...55^\circ\text{C}$
Отклонение частоты в интервале рабочей температуры, не более	$\pm 5 \times 10^{-8}$	$\pm 2 \times 10^{-7}$	$\pm 2 \times 10^{-7}$
КНЧ (Allan variance) за 1 с	$< 5 \times 10^{-12}$	$< 5 \times 10^{-11}$	$< 5 \times 10^{-11}$
Выходное напряжение	500 мВ (50 Ом)	300 мВ (50 Ом)	КМОП
Время установления частоты с точностью $< 1 \times 10^{-7}$ , не более	15 с ( $25^\circ\text{C}$ ) 40 с ( $-40^\circ\text{C}$ )	15 с ( $25^\circ\text{C}$ ) 40 с ( $-40^\circ\text{C}$ )	5 с ( $25^\circ\text{C}$ ) 15 с ( $-40^\circ\text{C}$ )
Напряжение питания, В	5,0	5,0	5,0
Потребляемая мощность в режиме разогрева, Вт	0,8	0,8	0,5
Потребляемая мощность, Вт: стационарная в НУ при минимальной температуре	0,12 0,3	0,12 0,3	0,08 0,2
Габариты, мм	22,5 × 12,7 × 7		

недостатки, присущие производству КРТ в стеклянных корпусах: невозможность дальнейшей миниатюризации, недостаточную механическую прочность, сложную и трудоёмкую технологию изготовления, наличие стеклодувного производства и др.

В результате проведённой в 2001–2002 гг. ОКР «Оникс» разработана конструкция кварцевого резонатора-термостата в низкопрофильном металлоглазном корпусе НС-37. Компьютерное моделирование КРТ позволило найти оптимальные параметры элементов конструкции и параметры терморегулятора, обеспечивающие наилучшую температурную стабильность и минимальное время готовности. В результате КРТ имеет объём менее 1 см<sup>3</sup>, время готовности не более 15 с и потребляемую мощность менее 80 мВт.

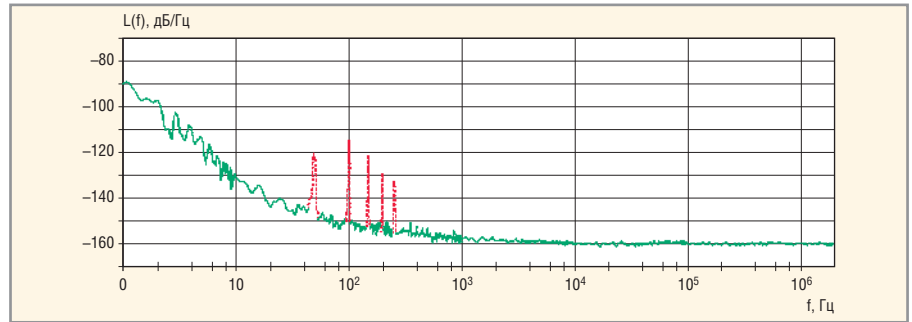
На основе этого КРТ разработана базовая конструкция кварцевого генератора. Унифицированный набор микроплат позволяет реализовать кварцевые генераторы с различными характеристиками и назначением, в том числе, в диапазоне частот 8...130 МГц, с напряжением питания 12 или 5 В.

Малые габариты и низкая потребляемая мощность КРТ в корпусе НС-37 позволили разработать компактный высокостабильный кварцевый генератор М32010 на частоту 100 МГц. Устройство содержит опорный генератор (ОГ) на частоту 10 МГц и малощумящий ГУН на частоту 100 МГц, синхронизируемый частотой ОГ с помощью системы ФАПЧ. Благодаря этому температурная и долговременная стабильность частоты определяется опорным генератором, а уровень фазовых шумов в дальней зоне – шумами ГУН.

### ГЕНЕРАТОРЫ-ТЕРМОСТАТЫ В КОРПУСЕ DIP14

Анализ существующего уровня микроэлектроники позволяет реализовать электронную часть схемы опорного генератора и термостат с резонатором в объёме менее 200 мм<sup>3</sup>, а терморегулятор – в объёме 12 мм<sup>3</sup>. С учётом размещения указанных элементов в корпусе общий объём ОГ составит 1,5...2 см<sup>3</sup> при высоте не более 6...7 мм. Потребление от источника питания не превысит 150 мВт.

Разработка генератора «Топаз», у которого все элементы объединены в одну интегральную конструкцию, помещённую в вакуумированный корпус, потребовала решения многочисленных проблем, таких как оптимизация



Типовая характеристика фазового шума генератора М32019

конструкции с учётом тепловых и термодинамических процессов, разработка электронных схем, обеспечивающих требуемые электрические параметры и имеющих малое потребление и объём, выбор конструкционных материалов и обеспечение высокого вакуума на протяжении всего срока службы [3].

На основе базовой конструкции разработаны три модели генераторов. Генераторы М32019 и М33007 на частоты 10 и 50 МГц имеют время готовности не более 15 с и потребляемую мощность в нормальных условиях не более 120 мВт. Благодаря жёсткой конструкции и малой массе входящих элементов генератор обладает повышенной устойчивостью к механическим воздействиям. Типовое значение G-чувствительности генератора М32019 составляет  $2 \times 10^{-10}$ /g.

В генераторе М34001 используется пьезоэлемент на частоту 10 МГц. Время готовности генератора составляет менее 5 с при температуре +25°C. Генератор потребляет 80 мВт при ком-

натной температуре и может успешно конкурировать с генераторами с цифровой термокомпенсацией, обеспечивая лучшие характеристики по старению и фазовым шумам.

Характеристики генераторов приведены в таблице; спектр фазовых шумов генератора М32019 показан на рисунке.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Тихомиров В.Г., Дикиджи А.Н., Куталев А.И., Бахтинов В.В. Конструирование и технология изготовления миниатюрных кварцевых генераторов для аппаратуры связи IV поколения. Техника средств связи, Серия ТРС. 1988. Вып. 6. С. 32–39.
2. Дикиджи А.Н., Куталев А.И., Тихомиров В.Г. Миниатюрные малощумящие кварцевые генераторы для цифровых станций спутниковой связи. Омский НИИ приборостроения. Техника радиосвязи. 1994. Вып. 1. С. 40–45.
3. Куталев А.И. Кварцевый резонатор-термостат с распределенным нагревателем. Омский НИИ приборостроения. Техника радиосвязи. 2007. Вып. 12. С. 78–87. ©