

ВЫСОКОСТАБИЛЬНЫЕ МАЛОШУМЯЩИЕ КВАРЦЕВЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ РОССИЙСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

Прецизионные и ультрапрецизионные кварцевые генераторы, разрабатываемые и выпускаемые в России, по своим параметрам, объёму производства и стоимости не только практически полностью удовлетворяют потребностям внутреннего рынка, но и вполне конкурентоспособны на мировом рынке. Лидирующие позиции среди отечественных производителей этих приборов занимает ОАО "МОРИОН" [1–4] (www.morion.com.ru), уверенно входящее в первую пятёрку, если не тройку, мировых производителей опорных кварцевых генераторов высокой стабильности. Предлагаем вниманию читателей обзор кварцевых генераторов этого предприятия, в который включены результаты, достигнутые в 2004 – начале 2005 годов.

Высокостабильные кварцевые генераторы (КГ) разделяются на термостатированные и термокомпенсированные (табл.1). Рассмотрим каждое из этих семейств.

ПРЕЦИЗИОННЫЕ ТЕРМОСТАТИРОВАННЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ

Термостатированные КГ (ТСКГ), выпускаемые ОАО "МОРИОН", обладают высоким уровнем всех параметров, характеризующих стабильность частоты, в сочетании с малыми габаритами и энергопотреблением, высокой надёжностью при эксплуатации в жёстких условиях при умеренной стоимости. Так, достигнуты температурная стабильность частоты $\pm 1 \cdot 10^{-10}$ в интервале температур $-40...70^\circ\text{C}$, долговременная стабильность частоты $- 1 \cdot 10^{-8}$ за год и $5 \cdot 10^{-8}$ за 10 лет, кратковременная нестабильность частоты (КНЧ) $- 1 \cdot 10^{-12}$ за 1 с, уровень фазовых шумов (ФШ) составляет -115 и -160 дБ/Гц при отстройках от несущей на 1 Гц и 10 кГц, соответственно.

ТСКГ изготавливаются как на основе резонаторов с внутренним термостатированием (резонаторы-термостаты – РТ) (рис.1) [1], так

Таблица 1. Основные параметры высокостабильных кварцевых генераторов компании ОАО "МОРИОН"

Параметр	Прецизионные термостатированные					Термокомпенсированные
	На основе резонаторов с внутренним термостатированием (РТ)	С внешним термостатированием резонатора			Высококачественные	
		Малогабаритные и миниатюрные	Ультрапрецизионные			
			С одноступенчатым термостатированием	С двухступенчатым термостатированием		
Эксплуатационная стабильность частоты (порядок)	10^{-8}	10^{-8}	10^{-9}	10^{-10}	10^{-7} 10^{-9}	10^{-6}
Кратковременная нестабильность частоты за 1 с	$(1...5) \cdot 10^{-12}$	10^{-11}	$5 \cdot 10^{-12}$	$(1...2) \cdot 10^{-12}$	–	10^{-10}
Диапазон частот, МГц	4,4–20	4,0–40	4,0–40	4,0–16,384	50–700	9,6–20
Энергопотребление, Вт	0,3	1–2	2,5–3	3,5–4	1,5–3,5	0,02–0,1
Время выхода на режим, мин	1–3	3	5–8	10–15	5–10	0,01
Габариты, мм	$51 \times (41...51) \times (17...25)$	$20 \times 20 \times 10$ $25 \times 25 \times 12,7$ $36 \times 27 \times 16$	$36 \times 27 \times 15$ $51 \times (41...51) \times (13...25)$	$36 \times 27 \times 19$ $51 \times 51 \times (25...38)$	$36 \times 27 \times 16$ $51 \times 51 \times (12,7...25)$	$21 \times 13 \times 9,5$ $36 \times 27 \times 10$

Я.Вороховский, В.Ильичёв
yakov@morion.ru

и с использованием кварцевых резонаторов (КР) в вакуумных металлических корпусах с внешним термостатированием.

Генераторы на основе РТ (табл.2) были первыми прецизионными КГ, освоенными в производстве на заводе "МОРИОН". Благодаря высоким теплоизолирующим свойствам вакуума и хорошей тепловой связи нагревателя с пьезоэлементом применение РТ и сейчас позволяет проектировать и выпускать наиболее экономичные по энергопотреблению ТСКГ с самым быстрым выходом на рабочий режим после включения. Генераторам на основе РТ присущи такие характеристики, как высокая стабильность частоты, низкий уровень ФШ (рис.2) и КНЧ (рис.3), а также высокая надёжность в условиях жёстких внешних воздействующих факторов (ВВФ).

В последние несколько лет за счет применения кварца SC-среза параметры КГ на РТ существенно улучшены. Сегодня на основе РТ выпускаются прецизионные генераторы с позисторным нагревателем (ГК54-ТС и ГК75-ТС) и с комбинированным транзисторно-плёночным нагревателем. Применение последнего наряду с серьезными мерами по улучшению конструкции термостатируемого узла [5] позволило добиться установления частоты генератора с точностью $1 \cdot 10^{-7}$ за 30–60 с после включения (ГК68-ТС и ГК80-ТС).

Ещё одна особенность генераторов на РТ с комбинированным нагревателем – очень малое энергопотребление не только в установившемся, но и в переходном режиме после включения. Новыми устройствами этого типа являются низкопрофильные генераторы ГК93-ТС и ГК143-ТС, стойкие к жестким ВВФ. Благодаря использо-

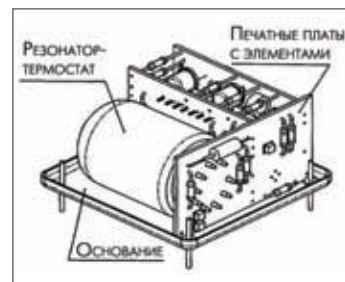


Рис.1. Внутреннее устройство генераторов на основе РТ



Таблица 2. Основные параметры генераторов на основе РТ

Параметр	ГК54-ТС ГК75-ТС	ГК68-ТС	ГК80-ТС	ГК93-ТС	ГК143-ТС
Стандартные частоты или диапазон частот, МГц	4,9152; 5,0; 6,4; 8,192; 9,8304; 10,0; 12,8; 16,384; 20,0	9,6; 10,0	10,0; 10,1507	9,166208; 10,0	9,0–13,0
Габариты корпуса, мм	51×51×25	51×41×25	51×41×25	51×41×17	51×41×17
Температурная нестабильность частоты в интервале температур -10...70°C -40...70°C -60...70°C	±5·10 ⁻⁹ ±1,5·10 ⁻⁸ ±2,0·10 ⁻⁸	±1·10 ⁻⁸ ±2·10 ⁻⁸ ±3·10 ⁻⁸	±1·10 ⁻⁸ ±2·10 ⁻⁸ –	±5·10 ⁻⁸ (-30...50°C) ±2·10 ⁻⁷ (-55...60°C) –	– – ±5·10
Долговременная нестабильность частоты за год, ×10 ⁻⁸ за 10 лет, ×10 ⁻⁷	±(3–5) ±2	±20 ±5	±20 ±5	±20 ±5	±20 ±5
Кратковременная нестабильность за 1с	1·10 ⁻¹² 2·10 ⁻¹² (0,5–2)·10 ⁻¹¹	3·10 ⁻¹¹	3·10 ⁻¹¹	1·10 ⁻¹⁰	2·10 ⁻¹¹
Фазовый шум (для 10 МГц), дБ/Гц, Δf = 1 Гц Δf = 10 кГц	-105 / -115 (10 / 5 МГц) -160	-90 -157	-90 -155	-70 -150	-120 (Δf=10 Гц) -155
Напряжение питания, В	12	12	5 12	12	12
Потребляемый ток, мА: в установившемся режиме пиковый, при разогреве	40 400	40 120	40 35 250 150	40 140	40 100
Время установления частоты, мин (точность)	3; 5 (±1·10 ⁻⁷)	1 (±1·10 ⁻⁷)	1 (±1·10 ⁻⁷)	1 (±5·10 ⁻⁷)	1 (±5·10 ⁻⁷), 3 (±1·10 ⁻⁷)
Вибростойкость: диапазон частот, Гц ускорение, g	1–2000 10	1–2000 10	10–200 8	1–2000 10	1–2000 10
Одиночный удар, g	100	100	100	300	150

ванию новейших РТ с диаметром баллона 13 мм высота корпуса генераторов – всего 17 мм.

Генераторы с внешним термостатированием резонатора уступают генераторам на основе РТ по энергопотреблению и скорости выхода на рабочий режим после включения. Однако у этих генераторов существенно лучше температурная стабильность частоты и меньшие габариты. К тому же они более технологичны в производстве. Улучшение температурной стабильности частоты в значительной мере обусловлено уменьшением температурных градиентов в термостатируемом узле и самом пьезоэлементе, чего легче достигнуть у резонаторов с металлическими корпусами, выполняющими функцию первичного теплового шунта. У генераторов на основе РТ снижение температурных градиентов затруднено их конструкцией, а также противоречит стойкости к жестким механическим воздействиям.

Малогабаритные и миниатюрные прецизионные КГ используют КР в корпусах НС-43 с кварцем преимущественно SC-среза, реже – АТ-среза. Генераторы этого типа немного уступают КГ на основе РТ по стабильности частоты и спектральным характеристикам и значительно проигрывают по экономичности энергопотребления. Но при

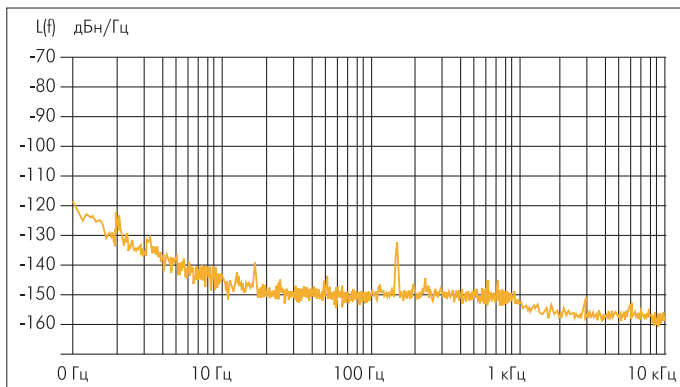


Рис.2. Типовой спектр фазовых шумов 5-МГц генератора на основе РТ с кварцевым резонатором SC-среза

этом они гораздо дешевле и миниатюрнее генераторов на основе РТ (табл.3). Так, габариты самого миниатюрного из высокостабильных ТСКГ – ГК118-ТС – составляют 20×20×10 мм. Генератор ГК103-ТС на диапазон частот 10–40 МГц выполнен в стандартном "европейском" корпусе СО-08 с габаритами 36×27×16 мм.

Важное достижение АО "МОРИОН" – разработка термостатированных генераторов в корпусах для поверхностного монтажа (SMD). Первый генератор этого семейства – ГК115-ТС-SMD. Существенно, что освоены варианты его исполнения с напряжениями питания 3,3 и 5 В. Запущен в производство и SMD-генератор ГК140-ТС со значительно более высокой стабильностью частоты : ±5·10⁻⁹ (-20...70°C). Из-за худших условий теплоизоляции от внешней среды энергопотребление SMD ТСКГ несколько выше, чем у других генераторов этой группы.

Ультрапрецизионные КГ (класса 10⁻⁹) с одноступенчатым термостатированием, выпускаемые ОАО "МОРИОН", представлены в табл.4. Характерный представитель этого семейства – генератор ГК62-ТС, построенный на КР SC-среза в корпусе НС-37.

Его конструкция оптимизирована по тепловым потокам. Повышенную точность поддержания температуры обеспечивает система термостатирования, дополненная узлом коррекции. Этот узел реагирует на изменение температуры окружающей среды, регистрируемой отдельным датчиком. В результате температурная нестабильность частоты составляет ±10⁻⁹ в интервале температур -40...70°C. По остальным показателям стабильности ГК62-ТС сопоставим с генераторами на основе РТ при достаточно малых габаритах

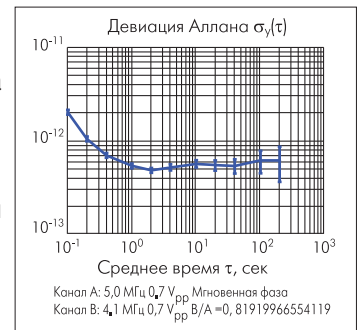


Рис.3. Типовая зависимость кратковременной нестабильности частоты от времени усреднения для 5-МГц генератора на основе РТ SC-среза

Таблица 3. Основные параметры малогабаритных и миниатюрных прецизионных генераторов

Параметр	ГК85-ТС		ГК118-ТС		ГК95-ТС		ГК103-ТС		ГК115-ТС-SMD		ГК140-ТС-SMD	
Диапазон частот, МГц	10–25		10–25		–		10–40		10–40		–	
Стандартные частоты, МГц	10,0; 12,8; 13,0 16,0; 20,0; 25,0		10,0; 12,8; 13,0 16,0; 20,0; 25,0		10,0; 19,683		10; 12; 12,8; 13; 15,36; 16; 16,384; 20; 26; 30,72; 32; 32,768		10; 12,8; 16,384; 20; 26; 32,768; 40		10,0	
Габариты корпуса, мм	25x25x12,7		20x20x10		25x25x12,7		36x27x16		25x22x15		25x22x14	
Температурная нестабильность частоты в интервале температур: -10...70°C -40...70°C -60...70°C	±1·10 ⁻⁸ ±3·10 ⁻⁸ –		±1·10 ⁻⁸ ±2·10 ⁻⁸ –		±1·10 ⁻⁸ ±2·10 ⁻⁸ ±5·10 ⁻⁸		±5·10 ⁻⁹ ±2·10 ⁻⁸ –		±1·10 ⁻⁸ ±2·10 ⁻⁸ –		±5·10 ⁻⁹ (-20...70°C) – –	
Долговременная нестабильность частоты: за год, × 10 ⁻⁷ за 10 лет, × 10 ⁻⁷	±(0,5–1) ±5		±(0,5–1) ±5		±1 ±5		±(0,5–1) ±5		±(0,5–1) ±5		±(0,5–1) ±5	
Кратковременная нестабильность за 1 с	5·10 ⁻¹¹		5·10 ⁻¹¹		3·10 ⁻⁹ (1–50) мс		2·10 ⁻¹¹		2·10 ⁻¹¹		5·10 ⁻¹²	
Фазовый шум (для 10 МГц), дБ/Гц: Δf = 1 Гц Δf = 10 кГц	-85 -155		-85 -150		-90 -150		-90 -150		-90 -145		-90 -150	
Напряжение питания, В	5	12	3,3	5	12	5	12	3,3	5	12		
Потребляемый ток, мА: в установившемся режиме пиковый, при разогреве	200 600	80 300	250 700	150 450	150 500	200 600	80 300	300 720	200 600	80 300		
Время установления частоты с точностью ±1·10 ⁻⁷ , мин	3		3		3 (с точностью ±1·10 ⁻⁶)		3		3		3	
Вибростойкость: диапазон частот, Гц, ускорение, g	1–500 10		1–500 10		1–2000 15		1–500 10		1–500 10		1–500 10	
Одиночный удар, g	100		100		100		100		100		100	

Таблица 4. Основные параметры ультрапрецизионных термостатированных КГ

Параметр	КГ с одноступенчатым термостатированием					КГ с двухступенчатым термостатированием						
	ГК62-ТС	ГК90-ТС	ГК102-ТС	ГК172-ТС	ГК178-ТС	ГК89-ТС	ГК89-ТС	ГК145-ТС	ГК180-ТС			
Стандартные частоты, МГц	5,0; 8,192; 10,0; 16,384	10,0; 13,0; 16,384	5,0; 8,192; 10,0; 16,384	4,096; 5,0; 8,192; 10,0; 16,384; 20	5,0; 8,192; 10,0	4,096; 5,0; 8,192; 10,0; 16,384	4,096; 5,0; 8,192; 10,0	5,0; 8,192; 10,0	5,0; 10,0			
Габариты корпуса, мм	51x41x19; 51x41x25	51x41x12,7; 51x51x12,7	51x51x19 (16); 51x51x13	51x51x19; 51x51x25	36x27x15	51x51x38	51x51x25	36x27x19	51x51x19			
Температурная нестабильность частоты в интервале температур: -10...70°C -40...70°C	±(0,5–1)·10 ⁻⁹ ±(1–2)·10 ⁻⁹	±1·10 ⁻⁹ ±2,5·10 ⁻⁹	±2·10 ⁻⁹ ±4·10 ⁻⁹	±2,5·10 ⁻⁹ ±5·10 ⁻⁹	±2,5·10 ⁻⁹ ±5·10 ⁻⁹	±(0,5–1)·10 ⁻¹⁰ ±1,5·10 ⁻¹⁰	±(1–2)·10 ⁻¹⁰ ±(2–3)·10 ⁻¹⁰	±3·10 ⁻¹⁰ ±5·10 ⁻¹⁰	±1·10 ⁻¹⁰ ±3·10 ⁻¹⁰			
Долговременная нестабильность частоты: за год, × 10 ⁻⁸ за 10 лет, × 10 ⁻⁷	±(3–5) ±(1,5–2,5)	±5 ±3	±3 ±2	±1 ±1	±3 ±2	±(0,5–2) ±(0,3–1)	±(0,5–2) ±(0,3–1)	±3 ±2	±2 ±1			
Кратковременная нестабильность за 1 с	1·10 ⁻¹¹	1·10 ⁻¹¹	5·10 ⁻¹²	3·10 ⁻¹²	5·10 ⁻¹²	1·10 ⁻¹² ; 2·10 ⁻¹²	(1...3)·10 ⁻¹²	5·10 ⁻¹²	3·10 ⁻¹²			
Фазовый шум, дБ/Гц Δf = 1 Гц Δf = 10 кГц	Для 5 МГц -100 -155	Для 10 МГц -90 -150	Для 8,192 МГц -95 -155	Для 5 МГц -100 -155	Для 10 МГц -90 -150	Для 5 МГц -105 -155	Для 5 МГц -105 -155	Для 10 МГц -95 -150	Для 10 МГц -95 -150			
Напряжение питания, В	12	12	5	12	5	3,3	5	12	12			
Потребляемый ток, мА: в установившемся режиме пиковый, при разогреве	180 500	200 500	500 1200	200 600	500 1200	200 600	350 1200	50 800	350 1500	250 1000	180 700	250 500
Время установления частоты, мин (точность)	5 (±5·10 ⁻⁸)	5 (±5·10 ⁻⁹)	5 (±1·10 ⁻⁸)	8 (±1·10 ⁻⁸)	5 (±1·10 ⁻⁸)	5 (±1·10 ⁻⁸)	15 (±1·10 ⁻⁸)	15 (±1·10 ⁻⁸)	10 (±1·10 ⁻⁸)	10 (±1·10 ⁻⁸)		
Вибростойкость: диапазон частот, Гц, ускорение, g	1–200 5	1–200 5	1–200 5	1–200 5	1–200 5	1–200 5	1–500 5	1–500 5	1–500 10	1–500 5		
Одиночный удар, g	100	40	75	75	75	75	75	75	150	150		

(51x41x19 мм). Еще меньшей высотой (12,7 мм) отличается ГК90-ТС с аналогичными ГК62-ТС показателями стабильности. Это достигнуто за счёт применения резонатора в плоском корпусе НС-43. Типовой спектр ФШ ГК90-ТС показан на рис.4.

В 2004–2005 годы в производство передано высокоэффективное семейство унифицированных генераторов этого класса – ГК102-ТС и ГК172-ТС, варианты исполнения которых удовлетворяют самому широкому кругу запросов разработчиков аппаратуры. А в мае 2005 года закончена разработка миниатюрного

(36,1x27,2x15 мм) ультрапрецизионного генератора ГК178-ТС. Он лишь немного уступает по температурной и долговременной стабильности генераторам данного класса с большим в два-три раза объемом. Напряжение питания нового генератора – 3,3 или 5 В.

Ультрапрецизионные КГ (класса 10⁻¹⁰) с двухступенчатым термостатированием (см. табл.4). Первым отечественным ультрапрецизионным КГ класса 10⁻¹⁰ по стабильности с двухступенчатым термостатированием стал генератор ГК89-ТС. Он выполнен на резонато-

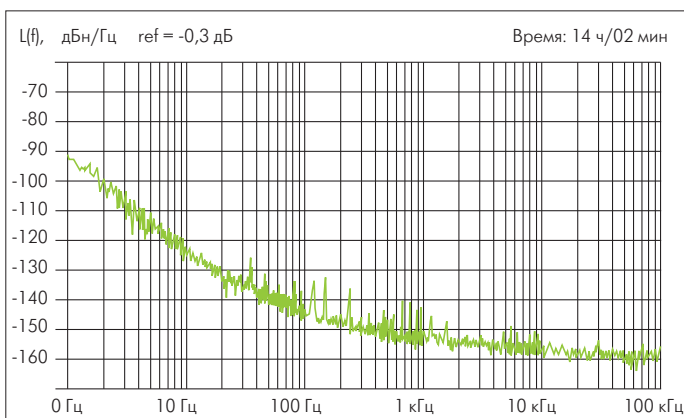


Рис.4. Типовой спектр ФШ генератора GK90-TC на частоту 10 МГц

ре SC-среза в корпусе HC-40 (рис.5). По температурной стабильности частоты GK89-TC на порядок и более превосходит КГ с одноступенчатым термостатированием и не уступает рубидиевым стандартам частоты. При этом он не только гораздо дешевле последних, но и намного превосходит их по КНЧ, спектральным характеристикам ФШ и массогабаритным показателям (рис.6–8).

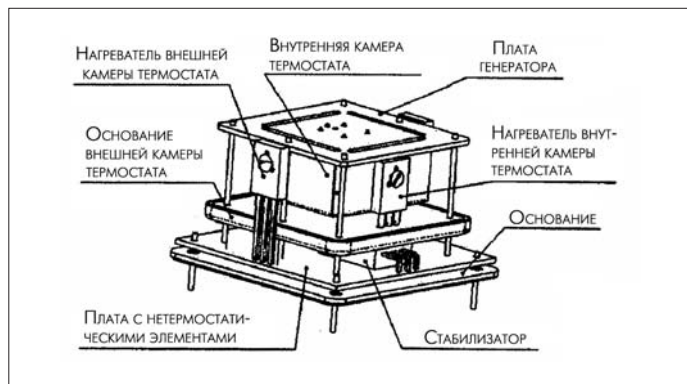


Рис.5. Конструкция генератора GK89-TC

Выпущенный в 2004 году генератор GK142-TC по показателям стабильности частоты идентичен GK89-TC, но его высота уменьше-

Таблица 5. Основные параметры высокочастотных прецизионных КГ

Параметр	ГК87-ТС		ГК136-ТС		ГК148-ТС	ГК174-ТС	ГК137-ТС
	Для 100 МГц	Для 500 МГц	Для 100 МГц		Для 56 МГц	Для 56 МГц	Для 100 МГц
Диапазон частот, МГц	50–700		50–120		56–100	–	–
Стандартные частоты, МГц	61,44; 100; 500		100		56; 80; 100	56	100
Габариты корпуса, мм	51×51×12,7		36×27×16		51×51×25	50×40×22	51×51×19
Температурная нестабильность частоты в интервалах:	±1·10 ⁻⁷		±1·10 ⁻⁷		–	–	±1·10 ⁻⁹
	±1,5·10 ⁻⁷		±1,5·10 ⁻⁷		–	–	±2·10 ⁻⁹
	–		±3·10 ⁻⁷		±5·10 ⁻⁷	±5·10 ⁻⁷	±3·10 ⁻⁹
Долговременная нестабильность частоты:	±3·10 ⁻⁷		±3·10 ⁻⁷		±5·10 ⁻⁷	±5·10 ⁻⁷	±5·10 ⁻⁸
	±2,5·10 ⁻⁶		±2,5·10 ⁻⁶		±2,5·10 ⁻⁶	±2,5·10 ⁻⁶	±2,5·10 ⁻⁷
Фазовый шум, дБ/Гц	Для 100 МГц		Для 100 МГц		Для 56 МГц	Для 56 МГц	Для 100 МГц
	Δf =	10 Гц	100 Гц	10 Гц	300 Гц	300 Гц	10 Гц
	Δf = 10 кГц	-95	-110	-95	-125	-125	-105
		-165	-145	-165	-160	-160	-165
Напряжение питания, В	12		12	5	12	12	12
Потребляемый ток, мА: в установившемся режиме	120	150	150	300	400	400	300
	400	450	500	950	600	600	700
Время установления частоты, мин (точность)	5		3		3	3	10
	±2·10 ⁻⁷		±3·10 ⁻⁶		±3·10 ⁻⁶	±3·10 ⁻⁶	±1·10 ⁻⁸
Вибростойкость:	1–500		1–500		1–2000	1–2000	1–300
	диапазон частот, Гц	5		5		5	5
ускорение, g	100		100		100	100	100

на с 38 до 25 мм, а энергопотребление почти в полтора раза ниже. В 2005 году был создан ещё более плоский GK180-ТС высотой 19 мм (!) при тех же показателях стабильности частоты. В начале 2005 года передан в производство миниатюрный ультрапрецизионный генератор GK145-ТС размером 36×27×19 мм с лишь несколько худшими показателями температурной и долговременной стабильности частоты (около ±3·10⁻¹⁰ и ±3·10⁻⁸/год, соответственно).

Развитие беспроводных сетей мобильной связи потребовало освоения технологий крупносерийного производства ультрапрецизионных генераторов класса 10⁻⁹ и 10⁻¹⁰, что успешно сделали специалисты ОАО "МОРИОН". В результате рассмотренные КГ имеют все шансы в ближайшие годы стать основными для решения многих задач частотно-временного обеспечения.

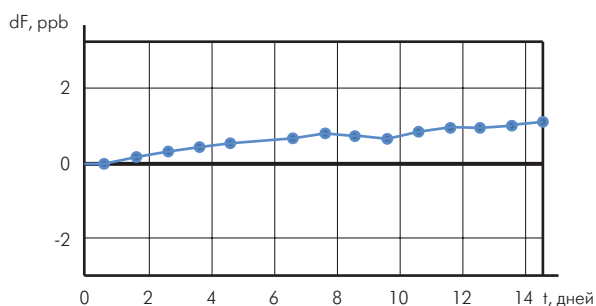


Рис.6. Характеристика долговременной стабильности КГ GK89-TC

Высокочастотные прецизионные КГ с низкими уровнями ФШ и КНЧ представляют сегодня особый интерес в связи с общей тенденцией освоения всё более высоких частот в радиоэлектронике. Однако повышение частоты генераторов путём умножения приводит к росту фазовых шумов приблизительно на 6 дБ при каждом удвоении, что нередко затрудняет применение опорных генераторов диапазона 5–20 МГц. Эффективный путь получения высокой и стабильной частоты – разработка малозумящих высокочастотных генераторов на основе КР SC-среза с колебаниями пятого порядка (табл.5). Именно таким является генератор общепромышленного исполнения GK87-ТС (рис.8, 9) на диапазон частот 50–700 МГц.

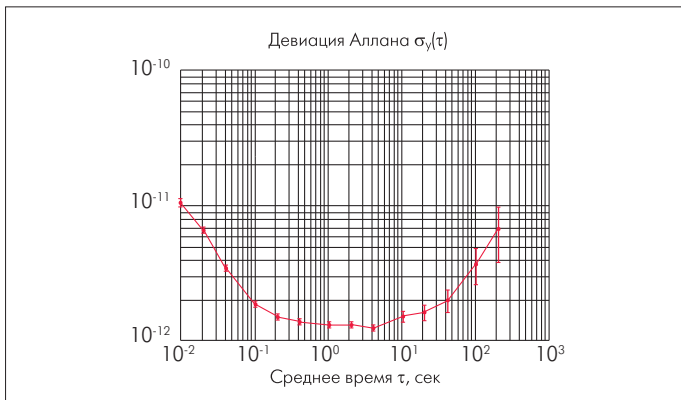


Рис.7. Типовая зависимость КНЧ от времени усреднения для генератора ГК89-ТС

В диапазоне 100–120 МГц частота автогенератора передается непосредственно на выход, для получения более высоких выходных частот используется встроенный умножитель на целое число в пределах от 2 до 7.

На основе ГК87-ТС в 2003–2004 годы разработан миниатюрный генератор ГК136-ТС для диапазона 50–120 МГц со значительно меньшими габаритами (36×27×16 мм), повышенной стойкостью к механическим воздействиям и расширенным интервалом рабочих температур. Спектр его ФШ идентичен ГК87-ТС без умножителя частоты. Завершена разработка и освоена модификация ГК136-ТС с напряжением питания 5 В. Для специальной аппаратуры предназначены генераторы ГК148-ТС и ГК174-ТС, характерная особенность которых – очень низкий уровень ФШ при эксплуатации в условиях жестких механических воздействий.

С ростом частоты КР уменьшается толщина пьезоэлемента и увеличивается долговременная нестабильность частоты. А чем больше номер используемой гармоники резонатора, тем сложнее подавить возбуждение нежелательных мод и гармоник. Кроме того, на гармониках свыше пятой или седьмой снижается добротность резонаторов. Поэтому на практике верхняя граница частоты прецизионных маломощных генераторов без умножителей частоты не намного превышает 100 МГц.

Таблица 6. Основные параметры термокомпенсированных генераторов

Параметр	ГК88-ТК	ГК96-ТК	ГК99-ТК	ГК120-ТК	ГК121-ТК	ГК144-ТК	ГК146-ТК, ГК147-ТК
Диапазон частот, МГц	9,6–20	19,183* 19,683* 3,317278	9,8–20	9,6–20	9,6–20	9,6–20	9,6–20
Габариты корпуса, мм	36×27×10	25×25×12,7	21×13×9,5 (DIL 14)	21×13×9,5 (DIL 14)	20×20×10	36×27×10 36×27×8,5 (свыше 16 МГц)	25×25×8,5 (ГК146-ТК) 25×25×12,7 (ГК147-ТК)
Температурная нестабильность частоты, ×10 ⁻⁶ (в интервале температур, °С)	±2,0 (-40...70); ±0,5 (-30...55)	±4,5 (-60...80)	±3,0 (-55...75); ±1,5... ±2 (-40...70)	±1,0 (-30...70)	±2,0 (-40...70)	±2,0 (-60...85) ±0,5; ±1,0 (-40...70) Sin, 10 МГц	±2,0 (-60...85) ±1,0 (-40...70)
Долговременная нестабильность частоты за год, ×10 ⁻⁶	±1,0	±1,0	±1,0	±1,0	±1,0	±1,0	±1,0
Фазовый шум, дБ/Гц, при отстройках от несущей:							
10 Гц	-90	-70	-95	-95	-95	-90	-95
10 кГц	-140	-140	-145	-155	-145	-145	-145
Номинальное напряжение питания, В	12	5	2,7; 3; 5	12	12	12	5
Потребляемый ток, мА	4 (Sin)	30	12	5	6	9 (Sin); 20 (ТТЛ-КМОП)	15 (ГК146); 30 (ГК147)
Вибростойкость:							
диапазон частот, Гц	1–500	1–2000	1–2000	1–500	1–500	1–2000	1–2000
ускорение, g	10	15	10	10	10	10	10
Одиночный удар, g	500	1000	1000	100	500	1000	1000

* Возможен выпуск генераторов на частоту 20 МГц

Получить очень низкий ФШ в средней и дальней зонах (отстройки от несущей 1–10 кГц и более) со значительно сниженным ФШ в ближней зоне (при отстройках 1–100 Гц), а также высокую долговременную и температурную стабильность частоты позволяет устройство, содержащее два различающихся по частоте на порядок или более генератора, охваченных системой фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ). В петлю ФАПЧ входит либо делитель частоты высокочастотного управляемого генератора, либо умножитель частоты низкочастотного опорного генератора. Здесь принципиально важно, что оба генератора реализованы и термостатированы в единой конструкции. Это позволяет существенно улучшить как стабильность частоты, так и спектральные характеристики. Спектр ФШ такого генератора – ГК137-ТС – в дальней зоне определяется высокочастотным генератором, а в ближней и средней – опорным низкочастотным генератором с добавлением шумов, вносимых цепью ФАПЧ (рис. 10).

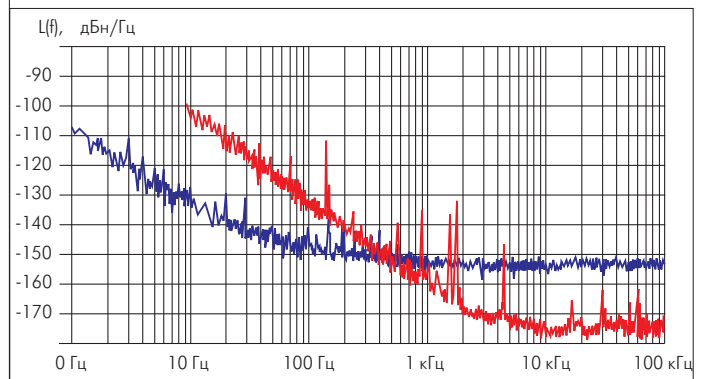


Рис.8. Типовые спектры ФШ генератора ГК89-ТС на частоту 10 МГц (синий) и генераторов ГК87-ТС и ГК136-ТС на частоту 100 МГц (красный)

ТЕРМОКОМПЕНСИРОВАННЫЕ КВАРЦЕВЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ

Высокостабильные маломощные термокомпенсированные кварцевые генераторы (ТККГ) заметно уступают термостатированным по стабильности частоты и уровню ФШ, однако существенно превосходят их по экономичности энергопотребления, массогабаритным характеристикам и скорости выхода на рабочий режим после

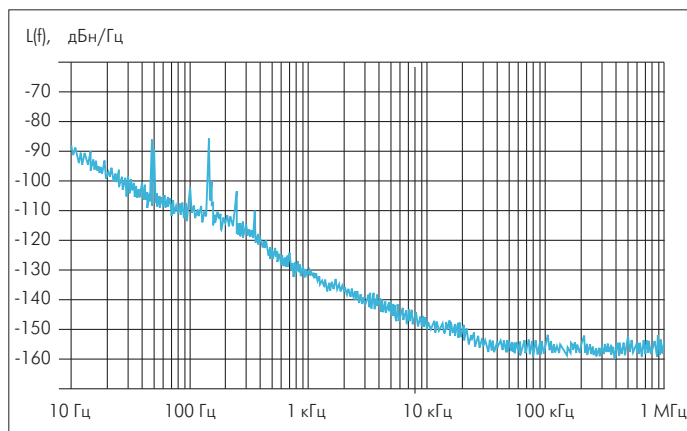


Рис.9. Типовой спектр ФШ генератора GK87-TS частотой 500 МГц со встроенным умножителем частоты на 5

включения (табл.6). Поэтому ТККГ устойчиво сохраняют значительную долю рынка пьезоэлектронной продукции.

В отличие от термостатированных генераторов, в ТККГ кварцевый резонатор работает при температуре, практически совпадающей с температурой окружающей среды. Стабильность повышается за счёт управляющего воздействия, вызывающего изменения частоты, противоположные собственным температурным изменениям частоты резонатора и в идеале равные им по величине. К резонаторам, предназначенным для ТККГ, предъявляются повышенные требования в отношении температурно-частотных характеристик, тщательно контролируемых в производстве.

Производство ТККГ было освоено заводом "МОРИОН" в конце 70-х годов. Сейчас предприятие располагает всем необходимым для изготовления десятков тысяч ТККГ общепромышленного и специального назначения в год. Широким спросом пользуется генератор GK88-TK, выпускаемый в двух вариантах: с выходным синусоидальным сигналом с напряжением 300 ± 75 мВ на нагрузке 50 Ом или с сигналом ТТЛ/КМОП-уровня. Его фазовые шумы (рис.11) приемлемы для большинства современных потребителей.

Генератор GK96-TK был разработан для специальной аппаратуры. Его особенности – очень быстрый вход в режим после включения и стойкость к жёстким условиям эксплуатации. Выходной сигнал – импульсный ТТЛ/КМОП-уровня. Унифицированный генератор GK99-TK, также для специальной аппаратуры, выполнен в корпусе DIL-14 объёмом $2,5 \text{ см}^3$. Возможные значения напряжения питания – 2,7; 3 и 5 В (с погрешностью $\pm 5\%$). Выходной сигнал – синусоидальный с напряжением 400 ± 150 мВ на нагрузке 10 кОм при допустимой нагрузочной ёмкости 5 пФ.

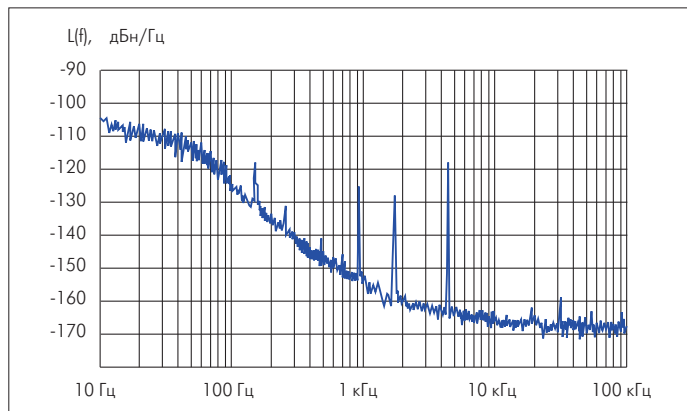


Рис.10. Спектр ФШ генератора GK137-TS частотой 100 МГц

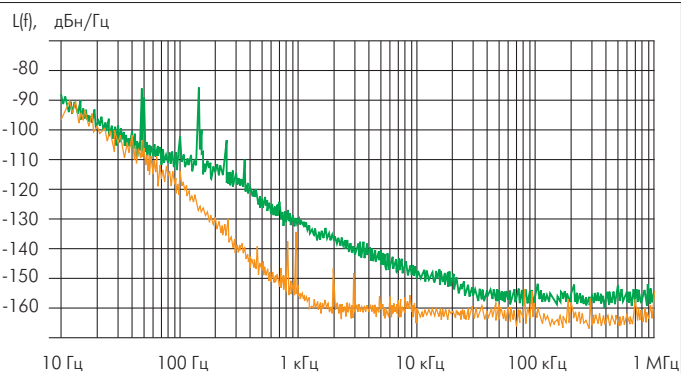


Рис.11. Типовые спектры ФШ генераторов GK88-TK (зеленый) и GK120-K (оранжевый)

При необходимости генератор может быть согласован на ёмкость более 5 пФ.

Генераторы GK120-TK и GK121-TK с малыми габаритами и большой выпускаются в общепромышленном исполнении. Их особенности – низкий уровень ФШ (GK120-TK, см. рис.11) и повышенное выходное напряжение – 500 мВ на нагрузке 2 кОм (GK121-TK). Генераторы GK144-TK, GK146-TK и GK147-TK предназначены для специальной аппаратуры. GK146-TK имеет синусоидальный выходной сигнал напряжением 300 ± 75 мВ на нагрузке 50 Ом, GK147-TK – сигнал ТТЛ/КМОП-уровня. Отметим, что это весьма маломощные генераторы.

Объём производства генераторов с эксплуатационной стабильностью частоты от $\sim 10^{-9}$ до $\sim 10^{-10}$ в ОАО "МОРИОН" составляет несколько десятков тысяч в год. Выпускаются высокочастотные прецизионные КГ, термокомпенсированные КГ высокого уровня, а также управляемые напряжением и тактовые КГ, кварцевые фильтры и резонаторы. Объём продаж предприятия за 10 лет вырос в 20 раз, причем более половины из них приходится на высокостабильные опорные генераторы. Немаловажно, что предприятие охотно и быстро модифицирует генераторы под конкретные требования заказчиков. Поэтому можно утверждать, что по крайней мере в плане высокостабильных генераторов отечественная промышленность избавлена от зависимости от зарубежных поставок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вороховский Я. Базовые и перспективные модели прецизионных кварцевых генераторов для телекоммуникационных и навигационных систем. – Электронные компоненты, 2003, № 5, с.57–61.
2. Добровольский А. Высокочастотные прецизионные маломощные кварцевые генераторы. – Электронные компоненты, 2003, № 8, с.79–81.
3. Яковлев С., Илличев В. Высокостабильные маломощные термокомпенсированные кварцевые генераторы – базовые модели и их развитие. – Электронные компоненты, 2004, № 2, с.69–72.
4. Вороховский Я. "Чертова дюжина" основных шагов по коренной реорганизации предприятия. – Живая электроника России, 2004, с.17–19.
5. Пат. 2155442 РФ. Кварцевый резонатор с внутренним термостатированием / И.Г. Петросян. Кл. Н03Н 9/19, Н03Н 9/15. Приоритет 4 июня 1999 г. Опубл. 27 августа 2000 г. Патентообладатель ОАО "МОРИОН".