

Обзор кварцевых генераторов GEYER ELECTRONIC

Вячеслав ГАВРИКОВ

Компания GEYER ELECTRONIC выпускает широкую номенклатуру генераторов тактовых импульсов: стандартные, термокомпенсированные, с подстройкой частоты управляющим напряжением, с различной формой и уровнями выходного сигнала. В статье приведен обзор предлагаемых устройств.

Компания GEYER ELECTRONIC была основана в 1964 г. и уже несколько десятилетий является одним из лидеров в сфере производства кварцевых резонаторов, генераторов и аналогичных продуктов для формирования частотных сигналов. В дополнение к этому фирма развивает свою деятельность в таких областях, как электрические батареи, аккумуляторы и технологии их зарядки. Высочайшее качество, соответствие высоким требованиям надежности и безопасности — главные особенности продукции фирмы. Чтобы охарактеризовать основные параметры генераторов, стоит вначале рассмотреть принцип действия кварцевых резонаторов и генераторов.

Принцип действия кварцевых резонаторов и генераторов

Принцип работы кварцевых резонаторов основан на применении пьезоэлектрического эффекта.

Некоторые вещества и кристаллы обладают несимметричной структурой (ацентрические кристаллы). Механические силы, действующие на такие кристаллы, вызывают в них не только механические напряжения, но и электрическую поляризацию. В результате на поверхности кристалла образуются заряды. Такой эффект и называют прямым

пьезоэлектрическим эффектом, а кристаллы, соответственно, пьезоэлектриками. Самым распространенным пьезоэлектрическим материалом являются кристаллы кварца.

Существует и обратный пьезоэффект: при воздействии на пьезоэлектрик электрического поля в его структуре возникают механические деформации.

Кварцевый резонатор представляет собой специальным образом распиленный, обработанный и сориентированный кристалл кварца, с внешними электродами, расположенными с противоположных сторон. В процессе работы такой резонатор использует и прямой, и обратный пьезоэффект, в нем происходит постоянное преобразование электрического поля в механические деформации и обратно. Однако, с точки зрения электрической схемы, эти механические колебания остаются в стороне, хотя играют важнейшую роль, поскольку они во многом определяют резонансную частоту.

Внешне конструкция резонатора напоминает конструкцию конденсатора, но наличие пьезоэффекта определяет некоторые особенности его поведения. Характер изменения проводимости в области частот, близких к резонансу, оказывается таким же, как и у колебательного контура, что позволяет применять эквивалентную схему замещения. Эквивалентная электрическая схема кварцевого резонатора содержит четыре элемента (рис. 1). Элементы L1, C1, R1 называют динамическими или эквивалентными индуктивностью, емкостью и сопротивлением соответственно. Емкость C0 называют параллельной емкостью. Такая схема хорошо объясняет наличие резонансной частоты.

Кварцевый генератор представляет собой комплексный компонент, который содер-

жит генератор, кварцевый резонатор и цепи управления. Простейшая схема включения кварцевого генератора требует только подачи питающего напряжения (рис. 2).

Генераторы имеют целый ряд важных параметров, определяющих их применимость в тех или иных случаях.

Основные параметры кварцевых генераторов

Все генераторы имеют ряд общих параметров.

Частота

Основной параметр генератора. Значение частоты колебаний генератора может лежать в очень широких пределах — от единиц кГц до тысяч МГц. По характеру возможности изменения частоты генераторы делят на две группы:

- стандартные и прецизионные генераторы с фиксированной частотой (Crystal Oscillator, XO и Precision Crystal Oscillator, PXO);
- генераторы с подстраиваемой частотой, например с частотой, управляемой напряжением.

Для генераторов, управляемых напряжением и не использующих стабилизацию частоты кварцевым резонатором (Voltage Control Oscillators, VCO), указывают чувствительность подстройки (Tuning Sensitivity, МГц/В).

Кварцевые генераторы, управляемые напряжением и использующие стабилизацию частоты кварцевым резонатором (Voltage Control Crystal Oscillators, VCXO), имеют небольшой диапазон подстройки частоты из-за высокой добротности кварцевого резонатора. Для них указывают диапазон подстройки (Frequency Adjustment/Pullability/Pulling Range, ppm).

Стабильность частоты

Кварцевый генератор обладает высокой стабильностью благодаря высокой стабильности кварцевого резонатора. Однако стоит помнить, что на стабильность резонатора могут влиять различные факторы: темпера-

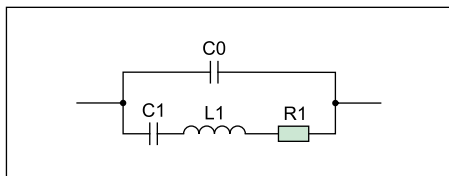


Рис. 1. Эквивалентная схема кварцевого резонатора

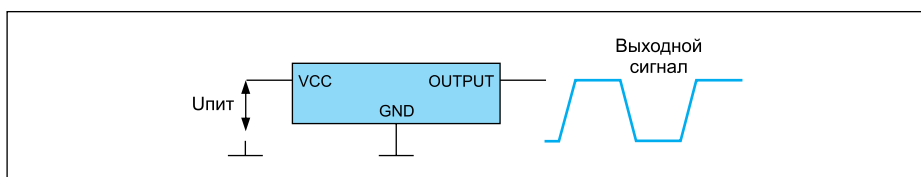


Рис. 2. Схема включения стандартного кварцевого генератора

тура, старение, давление, радиация, механические воздействия. Как правило, основным дестабилизирующим фактором является температура, поэтому в документации указывают стабильность частоты для конкретного температурного диапазона. С целью уменьшения температурной зависимости используют два основных метода: термостабилизацию и термокомпенсирование.

В термокомпенсированных кварцевых генераторах (Temperature Compensated Crystal Oscillator, TCXO) используются специальные электрические цепи и элементы, которые обеспечивают автоматическую подстройку частоты. В качестве таких элементов могут выступать термисторы и варикапы, которые также имеют температурную зависимость, помогающую компенсировать зависимость резонатора.

Джиттер

Джиттер (jitter) характеризует фазовое случайное «дрожание» сигнала (рис. 3). Реальный генератор дает не идеальную частоту сигнала: значения длительности каждого периода отличаются друг от друга. Для характеристики этого «дрожания» применяют:

- случайный джиттер (random jitter);
- максимальный джиттер (peak-to-peak jitter).

Симметричность

Симметричность (symmetry) сигнала — соотношение длительности полупериода сигнала к полному периоду (рис. 3). Важным является как само значение симметрии, так и его допуск на точность.

Длительность фронтов

Длительность фронтов (rise & fall time) — это время нарастания и спада входных сигналов (рис. 3). Данный параметр важен для приемников тактового сигнала, склонных к возникновению глитчей. Как правило, он не является критичным, если и генератор, и приемник сигнала соответствуют стандартам на уровни и форму сигналов.

Время запуска

Время запуска (start up time) — это время, проходящее от момента подачи питания на микросхему генератора до возникновения стабильного тактового сигнала.

Напряжение питания

Для стандартных генераторов напряжение питания определяет амплитуду выходного сигнала. Соответственно, генератор необходимо выбирать с учетом логических уровней напряжения используемых логических схем (процессоров, микроконтроллеров и т. д.). Одним из способов актуального для современной электроники сокращения потребляемой мощности является уменьшение питающих напряжений: чем меньше питающее напряжение, тем меньше потери мощности и токи потребления.

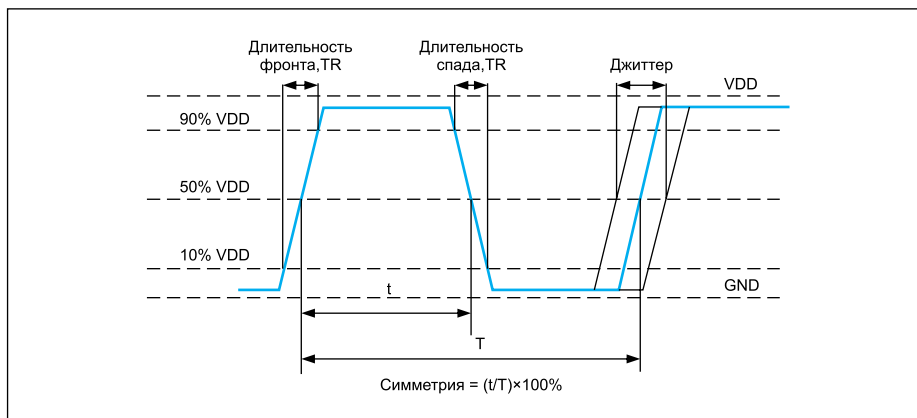


Рис. 3. Параметры тактового сигнала

Ток потребления

Как было сказано выше, ток потребления будет увеличиваться с ростом частоты и напряжения. Поэтому производители указывают ток потребления для определенного диапазона частот и конкретных напряжений. Например, в таблице 1 приведены значения потребляемого тока для серии КХО-V95.

Таблица 1. Ток потребления КХО-V95 для различных режимов

Частота, МГц	Ток потребления (типовой), мА		
	+1,8 В	+2,5 В	+3/+3,3 В
1–20	3,5	4	4
20,1–50	4,5	4	6
50,1–70	6	6	9

Тип выходного сигнала

Существует множество разновидностей выходных сигналов генераторов, отличающихся по форме и уровню напряжения. Основной причиной такого многообразия является необходимость борьбы с помехами.

Одним из главных источников помех может стать тактовый сигнал генератора. Для уменьшения помех кроме стандартных генераторов с прямоугольным выходным сигналом применяют генераторы с выходными сигналами особой формы:

- с синусоидальным выходным сигналом;
- с выходным сигналом в виде усеченной синусоиды;
- с распределенным спектром.

Использование синусоидального сигнала позволяет избавиться от более высокочастотных составляющих спектра, характерных для

прямоугольного сигнала. Генераторы с распределенным спектром (Spread Spectrum Oscillator, SSO) используют особую схему распределения спектра тактового сигнала. В этом случае вместо ярко выраженного пика на резонансной частоте образуется распределенный спектр, который оказывается «размазанным» около резонансной частоты (рис. 4). Это позволяет заметно снизить мощность возникающих помех. Для таких генераторов вводят коэффициент расширения спектра (Spectrum Spread Coefficient, %).

Генераторы могут отличаться и по логическому уровню сигналов (TTL, CMOS, ECL, PECL, LVDS и т. д.).

Генераторы PECL, LVDS, в отличие от стандартных генераторов, используют дифференциальные выходные сигналы с логическими уровнями PECL и LVDS соответственно. Снижение амплитуды тактового сигнала, очевидно, приводит к уменьшению мощности помех.

С учетом приведенных параметров и классификаций рассмотрим генераторы компании GEYER ELECTRONIC.

Обзор генераторов GEYER ELECTRONIC

Стандартные и прецизионные кварцевые генераторы (PXO, XO)

Компания предлагает широкий выбор стандартных и прецизионных кварцевых генераторов (табл. 2, 3). Генераторы выпускаются для четырех температурных диапазонов:

- –20...+70 °С;
- –40...+85 °С;

Таблица 2. Стандартные генераторы GEYER ELECTRONIC kHz-Туре (диапазон частот 32,768 кГц)

Модель	Размер (Д×Ш×В), мм	Исполнения для различных температурных диапазонов, °С				Особенности
		–20...+70	–40...+85	–40...+105	–40...+125	
КХО-V95	2,5×2×0,82	есть	есть	есть	есть	Входное напряжение +1,8/2,5/2,8/3/3,3 В
КХО-V96	3,2×2,5×1,2	есть	есть	есть	есть	
КХО-V99	5×3,2×1,2	есть	есть	есть	есть	
КХО-97	7×5,08×1,3	есть	есть	есть	есть	Входное напряжение 5 В, высокая температурная стабильность, АЕС-Q200
КХО-V97	7×5,08×1,3	есть	есть	есть	есть	Входное напряжение +1,8/2,5/2,8/3/3,3 В, высокая температурная стабильность, АЕС-Q200

Таблица 3. Стандартные генераторы GEYER ELECTRONIC МГц-диапазона

Модель	Размер (Д×Ш×В), мм	Диапазон частот, МГц	Исполнения для различных температурных диапазонов, °С				Особенности
			-20...+70	-40...+85	-40...+105	-40...+125	
КХО-V94	2×1,6×0,8	1–80	есть	есть	–	–	Входное напряжение +1,8/2,5/2,8/3/3,3 В, низкие входные токи
КХО-V95	2,5×2×0,82	1–70	есть	есть	есть	есть	Входное напряжение +1,8/2,5/2,8/3/3,3 В, низкие входные токи, высокая температурная стабильность, АЕС-Q200
КХО-V96	3,2×2,5×1,2	1–133	есть	есть	есть	–	
КХО-V99	5×3,2×1,2	1–200	есть	есть	есть	есть	
КХО-97	7×5,08×1,3	1–50	есть	есть	есть	есть	Входное напряжение +5 В, низкие входные токи, высокая температурная стабильность, АЕС-Q200
		50,1–80	есть	есть	есть	есть	
		80,1–100	есть	есть	есть	есть	
КХО-V97	7×5,08×1,3	1–50	есть	есть	есть	есть	Входное напряжение +1,8/2,5/2,8/3,0/3,3 В, низкие входные токи, высокая температурная стабильность, АЕС-Q200
		50,1–80	есть	есть	есть	есть	
		80,1–160	есть	есть	есть	есть	
КХО-200	20,8×13,2×5,08	0,5–100	есть	есть	–	–	Монтаж в отверстия DIL 14 TTL/HC MOS
КХО-400	20,8×13,2×5,08	0,5–100	есть	есть	–	–	Монтаж в отверстия DIL 14
КХО-210	13,2×13,2×6	0,5–100	есть	есть	–	–	Монтаж в отверстия DIL 8 TTL/HC MOS
КХО-410	13,2×13,2×6	0,5–100	есть	есть	–	–	Монтаж в отверстия DIL 8

- -40...+105 °С;
- -40 ... +125 °С.

Выходной сигнал — прямоугольные тактовые импульсы с уровнями напряжения 1,8–3,3 В. Серия КХО-97 используется для уровней сигналов 5 В. Корпусное исполнение генераторов также различно: от миниатюрных КХО-V94 (2×1,6×0,8 мм), предназначенных для поверхностного монтажа, до выводных серий КХО-200/210 и КХО-400/410.

LVDS-генераторы

LVDS — одна из самых распространенных технологий передачи данных, когда данные передаются с помощью дифференциального сигнала со скоростью до нескольких мегабит в секунду. Уровень перепадов дифференциального сигнала от ±250 до ±450 мВ, при этом ток передатчика составляет всего несколько мА. Таким образом, LVDS является высокоскоростной, надежной и экономичной технологией. В настоящее время она применяется во многих компьютерных шинах: HyperTransport, FireWire, USB 3.0, PCI Express, DVI, Serial ATA. LVDS также используется для обмена не только в рамках одной платы, но и для связи отдельных устройств. Самым ярким примером является применение этого стандарта для TFT-панелей.

Непосредственно LVDS-генераторы необходимы для тактирования сериализаторов данных, микросхем FPGA (например, Xilinx Virtex, Artix), процессоров. Однако LVDS-генератор не всегда напрямую тактирует какую-либо микросхему или процессор, очень часто генератор выступает как источник исходного высокостабильного тактового сигнала для всей системы. Этот высокостабильный тактовый сигнал является основой буферизованных производных тактовых LVDS-сигналов, которые тактируют микросхемы либо испытывают дополнительную буферизацию и преобразование в другие стандарты физических сигналов.

Генераторы серий КХО-V66 и КХО-V65 обладают выходным дифференциальным сигналом LVDS-уровня (табл. 4), стабильностью

не хуже ±100 ppm во всем температурном диапазоне. Существует два температурных исполнения: -20...+70 °С и -40...+85 °С.

Представители серии КХО-V63 — это LVDS-VCXO-генераторы со стабильностью ±100 ppm. Они обладают выходным дифференциальным сигналом уровня LVDS и возможностью подстройки. Диапазон подстройки позволяет компенсировать нестабильность во всем температурном диапазоне и составляет ±100 ppm.

Особенностью всех устройств является наличие возможности переводить выход в Z-состояние для снижения потребления.

PECL-генераторы

Назначение технологии PECL (Positive Emitter-Coupled Logic) сходно с назначением технологии LVDS: получение высокоскоростного и энергетически эффективного потока данных с низким уровнем шумов. В общем

случае PECL имеет больший уровень потребления, чем у LVDS, но уровень джиттера при этой технологии также меньше. Этот факт позволяет применять PECL-генераторы в качестве формирователя системообразующего тактового сигнала для дальнейшей буферизации (например, буферы SY10E111 и SY10H842 от Micrel) и получения тактовых сигналов отдельных микросхем.

Серии КХО-68 и КХО-67 имеют выходной дифференциальный сигнал с уровнем PECL (табл. 5). Существуют модификации А, В, D с погрешностями частоты ±100, ±50 или ±25 ppm соответственно. Обе серии выпускаются в исполнениях для температурных диапазонов -20...+70 °С и -40...+85 °С. Особенностью генераторов является наличие возможности перевода выхода в третье состояние.

VCO-генераторы

Серия КХО-59 представляет собой генераторы, управляемые напряжением (табл. 6). Их частота зависит от напряжения на входе управления. Типовой диапазон управляющих напряжений составляет 0,7–4,3 В, при этом типовая чувствительность изменения частоты 28 МГц/В. Генераторы имеют питающие напряжения 5 В ±10%.

VCXO-генераторы

Серии кварцевых генераторов, управляемых напряжением, КХО-75/75R/800/810, в отличие от рассмотренных выше VCO-генераторов, имеют возможность подстройки лишь в диапазоне частот вблизи основной резонансной частоты, что связано с высокой добротностью кварцевого резонатора. Серии выпускаются с выходным CMOS-сигналом, имеют температурную погрешность частоты ±50 ppm и равную ей возможность подстройки (табл. 7).

Таблица 4. LVDS-генераторы

Модель	Размер (Д×Ш×В), мм	Диапазон частот, МГц	Стабильность, ppm	Диапазон рабочих температур, °С	Особенности
КХО-V66	5×3,2×1,2	40–180	±100	-40...+85 -20...+70	Миниатюрные, с возможностью перехода в Z-состояние, с высокой температурной стабильностью, АЕС-Q200
КХО-V65	7×5×1,7	19,44–700			
КХО-V63	7×5×1,7	27–700			

Таблица 5. PECL-генераторы

Модель	Размер (Д×Ш×В), мм	Диапазон частот, МГц	Стабильность, ppm	Диапазон рабочих температур, °С	Напряжение питания, В	Особенности
КХО-68	5×3,2×1,2	25–180	±100 ±50 ±25	-20...+70	2,5 3,3	Возможность перехода в Z-состояние
КХО-67	7×5×1,7	50–212,5		-40...+85	3,3	

Таблица 6. Генераторы, управляемые напряжением (VCO)

Модель	Размер (Д×Ш×В), мм	Диапазон частот, МГц	Чувствительность, МГц/В	Напряжение подстройки, В	Диапазон рабочих температур, °С
КХО-59 RSV925A	12,7×12,7×2,8	890–960	27 (тип.)	0,5–4,5	-40...+85
КХО-59 RSV2545A		2390–2700			
КХО-59 RSV1550A	8×6×1,8	1500–1600	28 (min)	0,7–4,3	
КХО-59 RSV1650A		1600–1700			
КХО-59 RSV1750A		1700–1800			
КХО-59 RSV1850A		1800–1900			

Таблица 7. Кварцевые генераторы, управляемые напряжением (VCXO)

Модель	Размер (Д×Ш×В), мм	Диапазон частот, МГц	Напряжение подстройки, В	Диапазон рабочих температур, °С	Особенности
КХО-75 (низкопрофильные) и КХО-75R (миниатюрные)	7×5×1,7	1,544–77,76	0–3,3	–40...+85	CMOS, с возможностью перехода в Z-состояние
КХО-800	20,8×13,2×5,08 (7,5)	1–155,52	+2,5 В ±2 В	–40...+85	CMOS/TTL, монтаж в отверстия DIL 14, высокостабильные, старение ± 3 ppm/год
КХО-810	13,2×13,2×6	1–60	+1,65 В ±1,65 В	–20...+70	CMOS/TTL, монтаж в отверстия DIL 8, высокостабильные, старение ± 3 ppm/год

ТСХО-генераторы

Термокомпенсированные генераторы серий КХО-86/85/83/82/900 имеют слабую температурную зависимость, не превышающую 3,5 ppm (табл. 8). Они имеют выходные сигналы в форме усеченной синусоиды или прямоугольного HCMOS. Серии КХО-900/910 предназначены для монтажа в отверстия.

Таблица 8. Термокомпенсированные генераторы (ТСХО)

Модель	Размер (Д×Ш×В), мм	Диапазон частот, МГц	Диапазон рабочих температур, °С	Стабильность, ppm	Особенности
КХО-86 HCMOS	2,5×2×0,7	3,25–54	–40...+85	2,5	HCMOS
КХО-83 HCMOS	5×3,2×1,5	10–40	–40...+85	1–3	HCMOS
КХО-82 HCMOS	7×5×2,4	10–30	–20...+70		
КХО-85	11,4×9,6×2,8	10–27	–40...+85	2,5	Усеченная синусоида
КХО-900	18,5×11,7×8,5	1,2–100	–40...+85	3,5	Монтаж в отверстия, усеченная синусоида
КХО-900	18,5×11,7×8,5	9,6–35	–20...+70		Монтаж в отверстия, TTL/HCMOS

VCTCXO-генераторы

Термокомпенсированные управляемые напряжением генераторы серий КХО-86/84/83/82/950 (табл. 9) имеют различную форму выходного сигнала. Серия КХО-950 предназначена для монтажа в отверстия.

Таблица 9. Термокомпенсированные генераторы, управляемые напряжением (VCTCXO)

Модель	Размер (Д×Ш×В), мм	Диапазон частот, МГц	Стабильность, ppm	Диапазон рабочих температур, °С	Особенности
КХО-86 CLIPPED SINE	2,5×2×0,7	13–40	±9...±15	–40...+85	Миниатюрные, усеченная синусоида
КХО-84 CLIPPED SINE	3,2×2,5×0,9	10–26			Для автомобильных приложений: высокая температурная стабильность и устойчивость к механическим воздействиям, усеченная синусоида
КХО-84 HCMOS	3,2×2,5×1	8–40	±5...±20	–40...+85	Миниатюрные, HCMOS
КХО-83 CLIPPED SINE	5×3,2×1,5	12–26	±5	–20...+70	Миниатюрные, усеченная синусоида
КХО-82	7×5×2	12,6–20	±5	–40...+85	Миниатюрные, усеченная синусоида
КХО-950 TTL/HCMOS	18,3×11,7×8,5	1–27	±3	–40...+85	Монтаж в отверстия, TTL/HCMOS
КХО-950 CLIPPED SINE	18,3×11,7×8,5	9,6–27	±0,3	–40...+105	Монтаж в отверстия, усеченная синусоида

SSO-генераторы

Стандартные цифровые устройства, тактируемые от обычных генераторов, имеют достаточно узкий спектр вблизи основной частоты и ее гармоник. Узкий спектр приводит к тому, что вся энергия помехи концентрируется на конкретной частоте и ее гармониках. В ряде случаев это может привести к тому, что мощность помех на этих частотах превышает мощность, ограниченную стандартами по ЭМС (например, стандартами таких организаций, как ИЕС в Европе, JEITA в Японии и FCC в США). Чтобы соответствовать этим стандартам, применяют различные методы расширения спектра. SSO (Spread Spectrum Oscillators) — генераторы, спектр которых «размазан» около основной

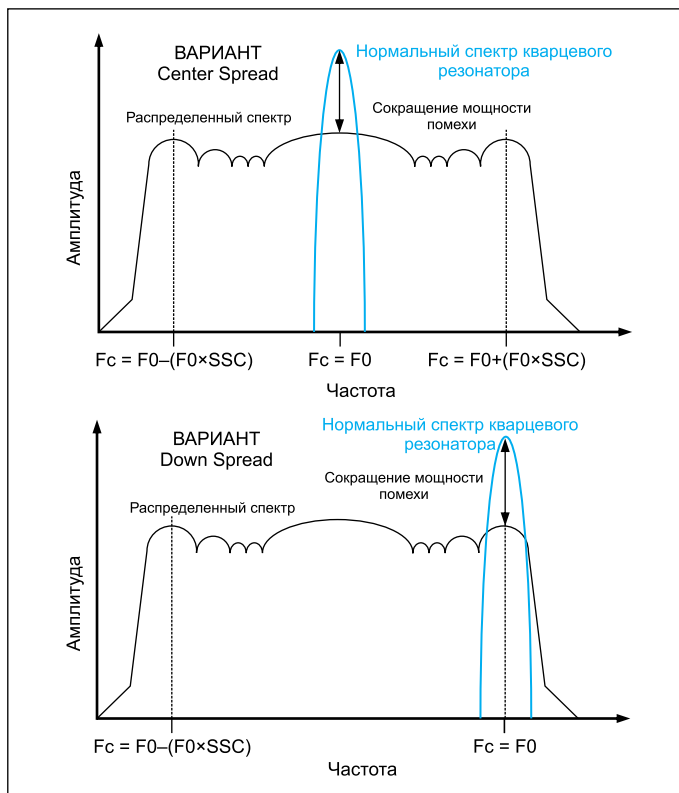


Рис. 4. Спектр выходного сигнала SSO-генератора КХО-56

частоты. Результирующая мощность любой частотной составляющей в спектре оказывается меньшей, чем в стандартном генераторе.

SSO-генераторы могут применяться в компьютерах, в портативных устройствах с ЖК-экранами высокого разрешения.

Серия КХО-56 имеет скорректированный распределенный спектр. Существует два варианта распределения спектра — Center Spread и Down Spread (рис. 4). Коэффициент распределения составляет от ±0,5 до ±2% (Center Spread) и от ±0,5 до ±4% (Down Spread) (рис. 3).

Характеристики КХО-56:

- диапазон частот 1–134 МГц;
- стабильность ±50 ppm;
- диапазон рабочих температур –40...+85 °С;
- габариты (Д×Ш×В) 5×3,2×1,2 мм;
- возможность перехода в Z-состояние.

Заключение

Компания GEYER ELECTRONIC предлагает широкую номенклатуру различных генераторов:

- стандартные и прецизионные генераторы (PXO и XO) для различных частот в различных корпусах;
- генераторы с частотой, управляемые напряжением (VCO и VCXO);
- термокомпенсированные генераторы (ТСХО);
- термокомпенсированные генераторы с частотой, управляемые напряжением (VCTCXO);
- генераторы с различными выходными уровнями напряжений (TTL, CMOS, LVDS, PECL);
- генераторы с различной формой выходных сигналов (прямоугольной, урезанной синусоидой, распределенным спектром).

Такое многообразие позволяет удовлетворить требованиям самых специфических задач.

Литература

1. Андросова В. Г., Банков В. Н., Дикиджи А. Н. и др. Справочник по кварцевым резонаторам/Под ред. П. Г. Позднякова. М.: Связь. 1978.
2. www.geyer-electronic.de