

Область применения рубидиевых стандартов частоты

Начальник отдела ЗАО «РУКНАР», к.т.н. Пузанов С.Л.

Квантовые стандарты частоты (КСЧ) – устройства, в которых для точного измерения частоты колебаний или для генерирования колебаний со стабильной частотой используются квантовые переходы частиц (атомов, молекул, ионов, из одного энергетического состояния в другое).

Квантовые стандарты частоты принято разделять на два класса. В активных КСЧ квантовые переходы атомов и молекул непосредственно приводят к излучению электромагнитных волн, частота которых служит стандартом или опорной частотой. Такие приборы называются также квантовыми генераторами. В пассивных КСЧ измеряемая частота колебаний внешнего генератора сравнивается с частотой колебаний, соответствующих определённому квантовому переходу выбранных атомов, то есть с частотой спектральной линии.

Рубидиевый стандарт частоты (РСЧ) относится к пассивным КСЧ, главным достоинством которого по сравнению с другими стандартами частоты радиодиапазона (цезиевыми, водородными) является компактность, малое энергопотребление и относительно низкая стоимость при наличии достаточно высоких метрологических характеристик. РСЧ является источником высокостабильного сигнала, формируемого с помощью сигнала кварцевого генератора (КГ), частота которого стабилизируется по частоте перехода между сверхтонкими подуровнями основного состояния изотопа Rb^{87} . Основными метрологическими характеристиками РСЧ являются его кратковременная нестабильность частоты (определяемая дисперсией Алана за времена усреднения от 1 с до 1000 с) и долговременная нестабильность частоты (нестабильность частоты за сутки и систематическое изменение частоты за месяц, год).

Сфера применения РСЧ весьма обширна. Они применяются в радиолокационных и навигационных системах, телекоммуникационных системах и сетях связи, используются в метрологии, спектроскопии и радиоастрономии, бортовых и наземных военных системах слежения, передачи и наведения. В зависимости от сферы применения РСЧ к ним могут предъявляться дополнительные метрологические, конструктивные и потребительские требования, среди которых: периодическая подстройка частоты выходного сигнала по более стабильному источнику сигнала, быстрый выход в рабочий режим, низкий температурный коэффициент частоты, возможность диагностики режима работы, широкий диапазон питающих напряжений, работа в условиях вакуума, устойчивость к спецвоздействиям и т.п.

По сферам применения РСЧ условно можно разделить на три крупные потребительские группы - коммерческого, военного и космического применения. Типичные примеры применения РСЧ, представлены в таблице 1 (данные взяты с официальных сайтов производителей).

Таблица 1

Требования к характеристикам	Потребитель	Типичный пример	Характеристики
Низкая стоимость, минимум сервисных функций, невысокие метрологические характеристики, минимальные габариты и масса, низкая потребляемая мощность	Коммерческое применение Широкое применение во всех сферах Огромный рынок, принадлежащий в настоящее время кварцевым генераторам	Ч1-1012 Производитель ЗАО «РУКНАР» FE-5650, FE-5680 ф. «Frequency Electronics, Inc»	$\sigma(1c) \sim 3 \cdot 10^{-11}$ Дрейф $< 2 \cdot 10^{-9}$ за год
Малые габариты и масса, низкая потребляемая мощность, потенциально низкая стоимость при достаточных объемах	Широкое применение во всех сферах	Ч1-1013 Производитель ЗАО «РУКНАР» 8130A ф. «Symmetricom»	$\sigma(\tau) < 2 \cdot 10^{-11}/\sqrt{\tau}$ Дрейф $\pm 5 \cdot 10^{-10}$ за год
Приемлемая стоимость, пакет дополнительных сервисных функций, интерфейсов, хорошие метрологические характеристики	Коммерческое применение Массовое производство, адаптированное к требованиям заказчика	Ч1-1014 Производитель ЗАО «РУКНАР» PRS10 ф. «Stanford Research Systems»	$\sigma(\tau) < 2 \cdot 10^{-11}/\sqrt{\tau}$ Дрейф $\pm 5 \cdot 10^{-10}$ за год, выход и вход 1Гц для синхронизации от внешних сигналов 1с (GPS/ГЛОНАСС)
Высокие метрологические характеристики, коррекция частоты по сигналам GPS/ГЛОНАСС	Метрологические лаборатории, центры	Ч1-1011, ЧК7-1011 Производитель ЗАО «РУКНАР» FS725 ф. «Stanford Research Systems» GPS-12R ф. «Pendulum»	$\sigma(\tau) < 1 \cdot 10^{-11}/\sqrt{\tau}$ Дрейф $\pm 3 \cdot 10^{-11}$ за мес. $\pm 3 \cdot 10^{-12}$ в режиме подстройки частоты по GPS/ГЛОНАСС
Измерительные приборы с высокими точностными характеристиками	Измерительные лаборатории, рабочие места разработчиков РЭА	Ч7-1014, ЧК7-1012 Производитель ЗАО «РУКНАР»	Погрешность измерения частоты $1 \cdot 10^{-12}$ при 1 с, $5 \cdot 10^{-13}$ при 10 с, $1 \cdot 10^{-13}$ при 100 с.

При этом в каждой группе на первый план выходят те или иные характеристики прибора. Например, для систем телекоммуникации важной характеристикой является стабильность частоты при изменении условий эксплуатации (главным образом изменении температуры окружающей среды), для систем связи – спектральные характеристики выходного сигнала (в частности, низкий уровень фазового шума), и т.п. Наиболее жесткие требования предъявляются к РСЧ, работающим в системах спутниковой навигации (GPS, ГЛОНАСС, Galileo) и изделиях военного назначения.