

В.А.Гудков (5 курс, каф. КЭ), В.И.Хуторщиков, д.т.н., проф. РИРВ

ЦИФРОВОЙ КВАНТОВЫЙ СТАНДАРТ ЧАСТОТЫ НА РУБИДИЕВОЙ ЯЧЕЙКЕ

ABSTRACT: This article describes a new digital quantum standard of frequency based on the rubidium gas cell, it's behaviour and foundation of functioning.

В наше время большое внимание уделяется точности измерения частоты и времени. Для этого было разработано большое количество различных стандартов частоты. Основной идеей квантовых стандартов является использование атомных переходов для стабилизации частоты. В 1957-1959 гг. американские физики Чи, Бендер и др. предложили использовать радиооптический резонанс как метод стабилизации частоты (КСЧРГЯ).

Среди других приборов был разработан квантовый стандарт частоты на рубидиевой газовой ячейке. Выбор рубидия, как рабочего вещества, был обусловлен особенностью структуры энергетических уровней его изотопов Rb^{87} и Rb^{85} . У этих изотопов присутствуют уровни близкие по частоте, что обеспечивает возможность создания фильтра с эффективной фильтрацией одной из компонент, что позволяет создать преимущественное заселение одного из подуровней сверхтонкой структуры атомов рубидия.

Таблица

Параметр	Прогнозируемые значения	Достигнутые на макете
Частота	5 МГц	5 МГц
Выходной сигнал	Синусоидальный	Меандр, синусоидальный
Выходное напряжение на 50 Ом, не менее, В	0,5	0,5
Подстройка номинала, диапазон перестройки	10^{-11}	10^{-11}
Нестабильность, не более: при $t = 1$ сек при $t = 10$ сек при $t = 100$ сек при $t = 1000$ сек	$4 \cdot 10^{-11}$ $1,5 \cdot 10^{-11}$ $4 \cdot 10^{-12}$ $1,5 \cdot 10^{-12}$	$3 \cdot 10^{-11}$ $7 \cdot 10^{-12}$ $2 \cdot 10^{-12}$ $7 \cdot 10^{-13}$
Сдвиг частоты, не более В диапазоне температур °С	$2,5 \cdot 10^{-10}$ -50...60	$2,5 \cdot 10^{-10}$ 0...40
Месячный дрейф, не более	$2,5 \cdot 10^{-11}$	$2 \cdot 10^{-11}$
Питание, В	-	18...36
Объем, л	0,8	0,89
Размеры	-	66*98*136
Масса, кг	0,5	1,27
Потребляемая мощность, Вт, не более		
при разогреве (не более 6 мин)	70	65
в стационарном режиме (-50 С)	18	16
в стационарном режиме (+25 С)	12	10

Стабилизация частоты в КСЧРГЯ осуществляется подстройкой кварцевого генератора под частоту спектральной линии. Линия поглощения формируется в квантовом дискриминаторе. Принцип его работы заключается в пропускании через газовую ячейку, содержащую рабочее вещество резонансного излучения и одновременного приложения к ней поля, с частотой близкой к частоте атомного перехода между уровнями сверхтонкой структуры основного состояния.

В результате интенсивность света проходящего через ячейку света будет тем меньше, чем ближе частота поля к частоте атомного перехода. Для определения знака отклонения в КСЧРГЯ используется фазовый детектор, принцип работы которого заключается в модуляции радиочастотного поля по частоте и сравнении фазы выходного сигнала квантового дискриминатора с модулирующим сигналом.

Построенный на этих принципах КСЧ имел следующие недостатки: сложность настройки, большие габариты (хотя и значительно меньшие, чем у многих стандартов используемых в наше время), зависимость от окружающей среды, отсутствие возможности подключения внешних устройств, сложность в управлении. Но, несмотря на все эти недостатки, прибор показал высокие точностные характеристики, а также высокую кратковременную и долговременную стабильности.

Следующим шагом стала модернизация этого КСЧ. В результате был разработан цифровой КСЧРГЯ. Его особенностью стала реализация системы подстройки частоты кварцевого генератора на базе цифровой электроники. Это позволило устранить упомянутые выше недостатки его предшественника. Кроме того, это позволило разработать методы по устранению проблем связанных с отклонениями частоты атомного перехода, возникающими в результате изменения температуры окружающей среды и старения газовой ячейки. Эти методы основаны на аппроксимации и экстраполяции экспериментальных зависимостей отклонения частоты и последующем учёте этих зависимостей в реализации каждого, отдельно взятого прибора.

Характеристики экспериментального цифрового КСЧРГЯ приведены в таблице.