

от внеш. воздействий, избирательно поглощают эл.-магн. излучение с частотой f , формируемой синтезатором частот из частоты кварцевого генератора. Схема сравнения определяет величину и знак разности Δf между частотой f и частотой спектральной линии f_c

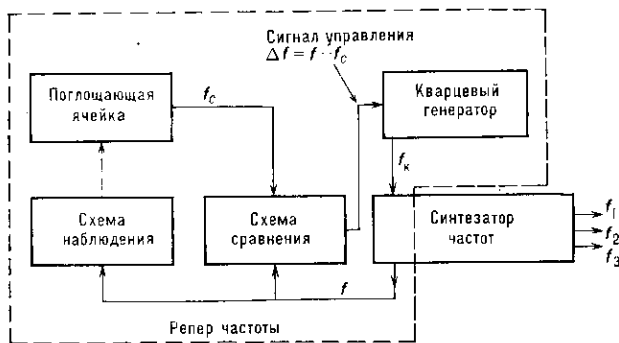


Рис. 2. Блок-схема пассивного стандарта частот.

и вырабатывает управляющий сигнал $k \Delta f$, смещающий частоту кварцевого генератора f_k к её номинальному значению f_n , при котором $\Delta f = f - f_c = 0$. При этом весь набор частот, вырабатываемый синтезатором частот, максимально приближается к их номинальным значениям. К пассивным относятся К. с. ч. на пучке атомов Cs и Rb (см. Цезиевая атомно-лучевая трубка) и К. с. ч. на атомах Rb с оптич. накачкой и индикацией (см. Рубидиевый стандарт частоты).

Если спектральная линия находится в ИК- или оптич. диапазоне, то вместо генератора служит лазер. Поглощающая ячейка содержит разреженный

Кратковрем. относит. нестабильность частоты обратно пропорц. в случае пассивной системы произведению добротности спектральной линии $f_c/\Delta f_c$ на отношение сигнал/шум при её индикации, а в случае активной системы — произведению $f_c/\Delta f_c$ на мощность квантового генератора. Т. к. мощность квантовых генераторов и отношение сигнал/шум пассивных реперов невелики, то для получения кратковрем. относит. нестабильности частоты $\sim 10^{-12} - 10^{-14}$ при времени усреднения $\tau \approx 1$ с необходимо $f_c/\Delta f_c \geq 10^8 - 10^{10}$. Именно это обстоятельство ограничивает снизу диапазон частот для спектральной линии репера, т. к. линии с такой добротностью из-за уширения не обнаруживаются вплоть до частот ~ 1000 МГц (см. Ширина спектральных линий). Отношение сигнал/шум и мощность генерации линейно зависят от интенсивности линии. Поэтому для получения требуемого отношения сигнал/шум или мощности генерации необходимо иметь макс. разность населённости уровней. Для этого используются: сортировка пучка атомов или молекул по энергиям с помощью неоднородного постоянного магн. или электр. полей (водородный генератор, цезиевая трубка); оптич. накачка, приводящая к нарушению максвелловского распределения атомов по энергиям (рубидиевый генератор, рубидиевый К. с. ч. с оптич. накачкой и индикацией).

Высокие требования к долговрем. стабильности и воспроизводимости могут быть выполнены, если относит. нестабильность частоты спектральной линии репера $\leq 10^{-11} - 10^{-14}$ за обусловленное время. Такое значение можно получить только для переходов, слабо зависящих от электр. и магн. полей в условиях ослабления др. внеш. воздействий. Выполнение этих же условий необходимо и для реализации высокой добротности спектральной линии, однако они, как правило, несовместимы с получением большой интенсивности линии. Наиб. перспективен способ наблюдений спектральной линии в атомном (или молекулярном) пучке.

Требованиям, предъявляемым к свойствам квантового перехода, для К. с. ч. в дециметровом и сантиметровом диапазонах λ наиб. полно удовлетворяют переходы $F_1 = F, m_F = 0 \rightarrow F_2 = F + 1, m_F = 0$ между подуровнями магн. сверхтонкой структуры осн. состояния атомов H, Ta ($F = 0$) и щелочных металлов ($F = 1$ для $^{87}\text{Rb}, ^{23}\text{Na}$ и $F = 2$ для ^{133}Cs) (см. Атомные спектры, Зеемана эффект). Наибольшего совершенства достигли активный К. с. ч. на водородном генераторе и пассивные на цезиевой трубке и атомах Rb с оптич. накачкой и индикацией (табл.).

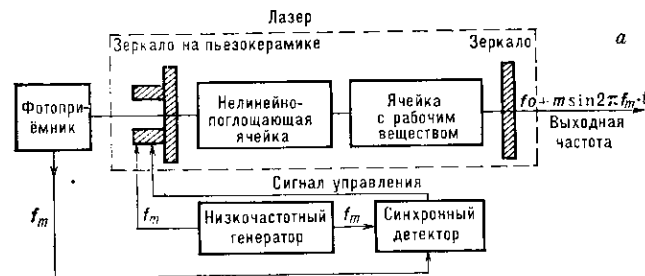


Рис. 3. Блок-схема оптического стандарта частоты: а — внешний репер; б — внутренний. Автоподстроика резонатора необходима для уменьшения эффекта затягивания частоты.

газ, частота спектральных линий которого совпадает с частотой лазера (см. Оптические стандарты частоты).

Стабильность частоты определяется в основном характеристиками спектральной линии в поглощающей ячейке: её относит. шириной $\Delta f_c/f_c$ и интенсивностью (пропорц. произведению квадрата матричного элемента перехода на разность населённости его уровней), а также зависимостью её частоты от внеш. воздействий (магн. и электр. полей, изменения темп-ры, давления и т. п.). Относит. ширина линии $\Delta f_c/f_c$ и её интенсивность определяют гл. обр. стабильность К. с. ч. за короткие времена наблюдения, а степень зависимости частоты от внеш. воздействий обуславливает долговрем. стабильность и воспроизводимость частоты.

Характеристика	Тип стандарта		
	На водородном генераторе	На цезиевой атомно-лучевой трубке	На атомах ^{87}Rb с оптич. накачкой и индикацией
Точность частоты	$1 \cdot 10^{-12}$	$1 \cdot 10^{-13}$	10^{-10}
Относительная погрешность воспроизведения действительного значения частоты	$5 \cdot 10^{-14}$	$5 \cdot 10^{-14}$	$1 \cdot 10^{-12}$
Среднеквадратичное относительное отклонение частоты при времени усреднения:			
$\tau = 1$ с	$5 \cdot 10^{-13}$	$1 \cdot 10^{-12}$	$1 \cdot 10^{-12}$
$\tau = 1$ сут	$5 \cdot 10^{-15}$	$5 \cdot 10^{-15}$	$5 \cdot 10^{-14}$

Атомное время. Для К. с. ч., используемых в службе времени, важнейшими характеристиками являются точность частоты (нескомпенсированная систематич. относит. погрешность воспроизведения частоты невозмущённого перехода) и относит. погреш-