

Письма в ЖЭТФ, том 15, вып. 8, стр. 461 – 464. 20 апреля 1972 г.

КВАНТОВЫЙ РЕПЕР ЧАСТОТЫ НА ДЛИНЕ ВОЛНЫ 3,39 мкм

Н.Б.Кошеляевский, В.М.Татаренков, А.Н.Титов

В работе [1] указывалось на ряд преимуществ оптических стандартов (реперов) частоты по сравнению со стандартами частоты радиодиапазона. Однако, до последнего времени оптические стандарты по своим характеристикам значительно уступали квантовым генераторам радиодиапазона, в частности, воспроизводимость частоты лазерного излучения в лучшем случае составляла величину $\approx 1 \cdot 10^{-11}$ [2 – 4]. В настоящей статье сообщается о создании и исследовании оптического генератора, не уступающего по своим частотным характеристикам лучшим стандартам частоты радиодиапазона.

Оптический репер частоты создавался на основе He – Ne ОКГ с внутренней метановой нелинейно поглощающей ячейкой [1 – 2]. Значительное повышение стабильности и воспроизводимости частоты было достигнуто в результате исследований по оптимизации параметров квантового генератора. Во-первых, благодаря снижению давления метана в ячейке до нескольких миллиторров, подбору интенсивности насыщающего поля и существенному уменьшению потерь резонатора

были получены узкие и контрастные пики мощности на частоте колебательно-вращательного перехода $\nu_3[P(7)]$ молекул CH_4 (добротность пика $\approx 1 \cdot 10^9$, относительная величина — до $15 \pm 20\%$, против $2 \pm 3\%$ в [2 - 4]). Во-вторых, применение усилительной трубки лазера со специальной конфигурацией разрядного промежутка [5] резко снизило шумы плазмы газового разряда. "Малозумящая" усилительная трубка состояла из ряда чередующихся каналов длиной 9 см и сфер диаметром 3 см и обеспечивала подавление низкочастотных шумов в лазерном излучении приблизительно в 250 раз по сравнению с трубками обычной конструкции. Высокая контрастность пиков, значительное снижение шумов, а также эффективная защита генераторов от внешних акустических, механических и температурных возмущений позволили осуществить высокоточную настройку частоты генерации ОКГ на вершину пика мощности.

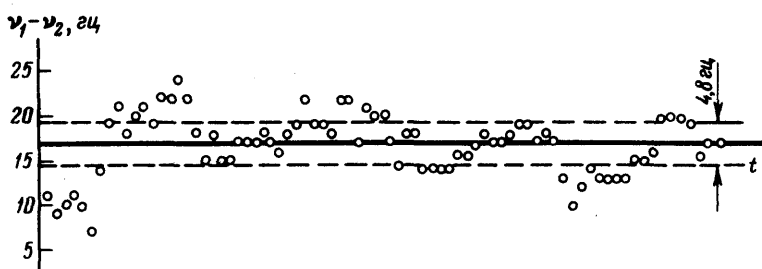


Рис. 1. Запись разностной частоты для двух стабилизированных ОКГ. Интервал выборки 2 мин

Исследование стабильности и воспроизводимости частоты лазеров проводилось на установке, состоящей из двух генераторов с поглощающими ячейками, систем настройки частоты ОКГ на вершину молекулярного резонанса и лазерного гетеродина, "привязанного" со смещением на 3 мГц к частоте одного из исследуемых генераторов. Излучение каждого из стабилизируемых лазеров независимо смешивалось с излучением гетеродина. Синхронизированное во времени измерение частот, возникающих при оптическом гетеродинировании двух сигналов "биений", позволяло определять величину и направление сдвигов частоты изучаемых ОКГ, исключая при этом нестабильность частоты гетеродина и взаимное влияние генераторов друг на друга.

Характерная запись флуктуаций разностной частоты для двух независимо стабилизированных генераторов приведена на рис. 1. При времени усреднения 100 сек на интервалах времени в несколько часов среднеквадратичное отклонение частоты для каждого из генераторов от своего среднего значения составило величину 2,4 Гц, что соответствует нестабильности $3 \cdot 10^{-14}$.

Изучение влияния различных параметров генератора и режима его работы на частоту выходного излучения показало, что наиболее важным фактором, ограничивающим воспроизводимость частоты ОКГ, является зависимость частоты излучения от интенсивности насыщающего поля. Установлено, что для широкой области параметров насы-

нения σ в метане от значений $\sigma < 1$ до $10 \div 12$ смещение частоты происходит по линейному закону (рис. 2). Учет этой зависимости (экстраполяция в область малых полей, либо сравнение частот генераторов при одинаковых параметрах насыщения) позволил достигнуть точности воспроизведения частоты ОКГ $\pm 5 \cdot 10^{-13}$.

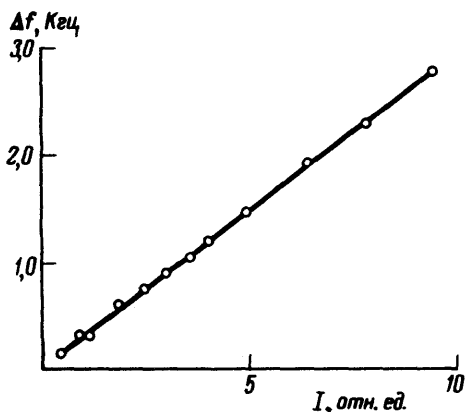


Рис. 2. Зависимость частоты генерации ОКГ от интенсивности поля в резонаторе (в относительных единицах)

Полученные значения стабильности и воспроизводимости частоты лазерного излучения показывают, что рассматриваемый тип ОКГ по своим характеристикам не уступает лучшим стандартам частоты радиодиапазона. При этом можно надеяться, что в дальнейшем на данном генераторе погрешность воспроизведения частоты невозмущенного молекулярного перехода будет снижена до величины $1 \cdot 10^{-13} \div 5 \cdot 10^{-14}$. Действительно, проведенные нами эксперименты показали, что смещение частоты перехода во внешних постоянных электрических и магнитных полях оказывается очень малым. Так, например, приложение к метановой ячейке электрического поля до 100 в/см и магнитного поля до 10 э не приводит к заметному сдвигу частоты при точности регистрации $3 \cdot 10^{-14}$. Сдвиг же частоты из-за столкновений молекул метана друг с другом может быть измерен с необходимой степенью точности, либо практически полностью исключен в генераторах с пучковой нелинейно поглощающей ячейкой [6].

В заключение отметим, что рассматриваемый квантовый репер частоты может быть использован в экспериментах по уточнению величины одной из основных физических констант – скорости света, а в метрологии – при реализации единого эталона частоты – времени – длины .

Институт физико-технических
и радиотехнических измерений

Поступила в редакцию
2 марта 1972 г.

Литература

- [1] Н.Г.Басов, В.С.Летохов. УФН, 96, 585, 1968.
- [2] R.L.Barger, J.L.Hall. Phys. Rev. Lett., 22, 4, 1969.
- [3] Н.Г.Басов, М.В.Данилейко, В.В.Никитин. Письма в ЖЭТФ, 12, 95, 1970.

- [4] Н.Б.Кошеляевский, А.Ф.Мухамедгалиева, В.М.Татаренков, А.Н.Титов. Измерительная техника, №8, 38, 1970.
- [5] T.Suzuki. IEEE J. of Quantum Electronics, QE - 5, 94, 1969.
- [6] Ю.М.Мальшев, В.М.Татаренков, А.Н.Титов. Письма в ЖЭТФ, 13, 592, 1971.
-