

ИЗМЕРЕНИЕ ЧАСТОТЫ $\text{He} - \text{Ne}/\text{CH}_4$ -ЛАЗЕРА

Ю.С. Домнин, Н.Б. Кошеллеватский, В.М. Татаренков,
П.С. Шумяцкий

Наиболее точно измерена частота $\text{He} - \text{Ne}$ -лазера, стабилизированного по F_2^2 -компоненте метана. Для измерений реализована полностью синхронизированная лазерная цепь. Значение частоты $\text{He} - \text{Ne}/\text{CH}_4$ -лазера равно $88\,376\,181\,603,4 \pm 1,4$ кГц.

В оптических стандартах частоты значительную роль играет $\text{He} - \text{Ne}$ -лазер, стабилизированный по F_2^2 -компоненте метана. Новые возможности его применения открылись в связи с освоением измерений частот лазеров. Независимые измерения частоты и длины волны $\text{He} - \text{Ne}/\text{CH}_4$ -лазера позволили на два порядка уточнить значение скорости света [1]. Сейчас на повестке дня стоит вопрос о переопределении метра и об использовании оптического стандарта в составе единого эталона времени – частоты – длины. В связи с этим важно точно определить частоту $\text{He} - \text{Ne}/\text{CH}_4$ -лазера.

В данной работе мы сообщаем результаты наиболее точных измерений частоты $\text{He} - \text{Ne}/\text{CH}_4$ -лазера. Относительная погрешность измерений не превышает $1,6 \cdot 10^{-11}$.

Для выполнения измерений была создана умножительная лазерная цепь, упрощенная схема которой показана на рис.1. Главной особенностью этой схемы является то, что субмиллиметровые лазеры синхронизированы по фазе с эталоном, а инфракрасные – с $\text{He} - \text{Ne}/\text{CH}_4$ -лазером. Таким образом умножительная цепь оказывается полностью синхронизирована и измерения проводятся только в одной точке.

Основная идея синхронизации CO_2 -лазера на линии $R(30)$ по $\text{He} - \text{Ne}/\text{CH}_4$ стандарту такая же как в [2], где представлена система синхронизации CO_2 -лазера на линии $R(30)$ по CO_2/OsO_4 стандарту. Достаточно полное изложение системы синхронизации HCN и D_2O -лазеров представлено в [3].

Типичный сигнал биений с измеряемой частотой ν_8 имел следующие параметры: отношение сигнал/шум в полосе 100 кГц 10 – 12 дБ, шири-

на спектра сигнала 70 – 120 кГц. Из-за малого отношения сигнал/ шум измерения частоты вначале производились анализатором спектра. Значительная часть измерений была забракована, так как при их сопоставлении была обнаружена существенная неконтролируемая ошибка, связанная с использованием анализатора спектра. Оказалось, что анализатор дает сдвиг частоты, величина и направление которого зависят от режима работы анализатора, а сам сдвиг обусловлен широким спектром измеряемого сигнала.

Для всех серий измерений с помощью анализатора, которые использовались для определения частоты He – Ne/CH₄-лазера, была измерена соответствующая поправка к показаниям анализатора и соответственно скорректированы результаты измерений. Чтобы определить поправку мы имитировали сигнал биений путем модуляции частоты радиогенератора низкочастотным гауссовским шумом. Далее этот имитированный сигнал преобразовывался с помощью гетеродина, частота которого была в одном случае выше, а в другом ниже частоты сигнала. Анализатором измерялась промежуточная частота. При этом сумма показаний анализатора должна была быть равной разности частот гетеродинов, откуда и определялась поправка на анализатор.

Часть измерений была выполнена частотомером. Так как для непосредственного отсчета частоты сигнала частотомером было недостаточное отношение сигнал/ шум, то мы использовали вспомогательный следящий радиогенератор. По сигналу биений осуществлялась фазовая синхронизация этого генератора и частотомером производился отсчет его частоты. Частота среза этого кольца автоподстройки составляла 27 кГц, при этом достигался удовлетворительный режим синхронизации при отношении сигнал/ шум на входе 10 дБ в полосе 100 кГц и при ширине спектра сигнала биений не более 80 кГц.

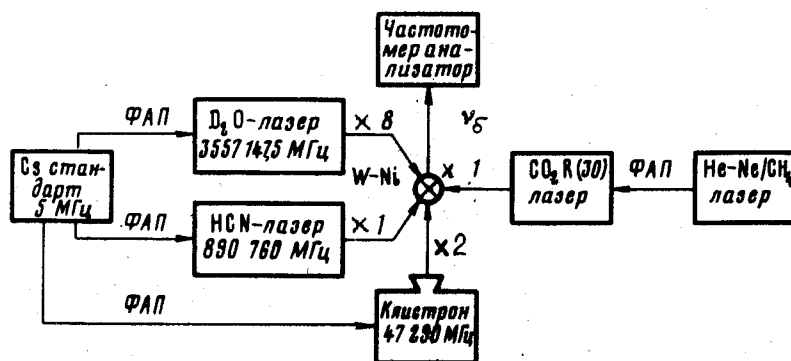


Рис.1. Упрощенная схема лазерной умножительной цепи

В течение трех месяцев в феврале – мае 1981 г. проведены шесть серий измерений. Пять серий (487 отсчетов) выполнены анализатором в различных режимах его работы, одна проведена с предварительным амплитудным ограничением измеряемого сигнала. Поправки на анализатор в различных режимах составляли от $7,8 \pm 2,1$ до $-2,2 \pm 0,9$ кГц. В первой серии дисперсия составила 11,7 кГц и дисперсия среднего

0,94 кГц, в последней — 5,1 и 0,66 кГц соответственно. Самая большая серия измерений проведена частотомером (322 отсчета). Дисперсия составила 8,7 кГц и дисперсия среднего 0,48 кГц.

Гистограммы четырех серий с учетом поправок на анализатор приведены на рис.2. Они показывают, что разброс измеренных значений удовлетворительно соответствует нормальному закону распределения. Выбросы за 3σ отсутствуют. Средние значения частоты $\text{He} - \text{Ne}/\text{CH}_4$ -лазера для всех серий дали близкие результаты, перекрывающиеся в пределах случайных погрешностей.

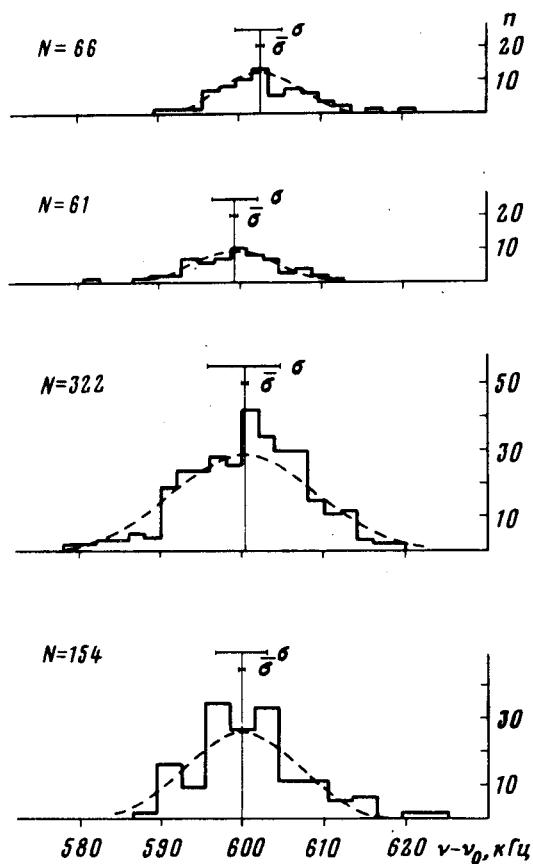


Рис.2. Гистограмма измерений с учетом введенных поправок. Пунктиром показан нормальный закон распределения

Так как каждая серия имеет свои преимущества и недостатки, мы включили в окончательную обработку равноправным образом все шесть серий измерений. В результате получено следующее значение частоты измеряемого портативного $\text{He} - \text{Ne}/\text{CH}_4$ -лазера: $\nu_{\text{п}} = 88\,376\,181\,599,9 \pm 1,2$ кГц. Погрешность 1,2 кГц в основном вызвана неопределенностью поправок на анализатор. Случайная погрешность непосредственно отсчетов частоты заметно меньше и составляет в случае частотомера 0,48 кГц или $\sim 5 \cdot 10^{-12}$ в относительном выражении.

В интервале между различными сериями измерений было осуществлено сличение частоты участвующего в измерениях портативного $\text{He} - \text{Ne}/\text{CH}_4$ -лазера со стационарным $\text{He} - \text{Ne}/\text{CH}_4$ -лазером. В результате

выяснилось, что портативный лазер по частоте ниже стационарного на $3,5 \pm 0,7$ кГц. Таким образом, с учетом всех поправок частота He — Ne/CN₄-лазера оказалась равной $88\ 376\ 181\ 603,4 \pm 1,4$ кГц.

Это значение частоты согласуется с данными [4] ($\dots 618 \pm 13,8$ кГц), но не согласуется с более точными измерениями [5] ($\dots 616 \pm 3$ кГц), а также с нашими предварительными измерениями [2]. Следует отметить, что в наши предыдущие измерения вошла систематическая ошибка, обусловленная анализатором спектра. По оценкам величина этой ошибки составляет не менее 10,4 кГц и с учетом этой поправки наши измерения согласуются.

В результате этой работы для He — Ne/CN₄-лазера, стабилизированного по F_2^2 -компоненте метана практически достигнута предельная точность абсолютного измерения частоты, так как воспроизводимость участвующих в сличениях портативных лазеров ограничена величиной $\sim 10^{-11}$. Отметим, что в 1979 году было проведено сличение нашей стационарной установки с портативными лазерами Международного Бюро Мер и Весов [6] и разность частот между лучшим лазером МБМВ (ВІСН — 4,6) и нашей стационарной установкой составила $-1,26 \pm 0,66$ кГц.

ВНИИФТРИ

Поступила в редакцию
18 июня 1981 г.

Литература

- [1] Evenson K.M., Wells J.S., Petersen F.R., Danielson B.L., Day G.B. Appl. Phys. Lett., 1973, 22, 192.
- [2] Domnin Y.S., Koshelyaevsky N.B., Tatarenkov V.M., Shumjatsky P.S. IEEE Transaction on Instrumentation and Measurement, 1980, IM-29, 264.
- [3] Домнин Ю.С., Татаренков В.М., Шумяцкий П.С. Квантовая электроника, 1980, 7, 200.
- [4] Clairon A., Dahmani B., Rutman J. IEEE Transaction on Instrumentation and Measurement, 1980, IM-29, 268.
- [5] Knight D.E.J., Edwards G.I., Pearce P.R., Cross N.R. IEEE Transaction on Instrumentation and Measurement, 1980, IM-29, 257.
- [6] Koshelyaevsky N.B., Obouchov A.S., Tatarenkov V.M., Titov A.N., Chartier J.-M., Felder R. Metrologia, 1981, 17, 3.