

УДК 531.715.1

Разработка принципа построения прецизионного лазерно-интерферометрического измерителя расстояний и перемещений

Ю.Б. Минин^{1,2}, Е.С. Крупник¹, М.Н. Дубров^{1,2}

¹Московский физико-технический институт (государственный университет)

²Институт радиотехники и электроники имени В.А. Котельникова РАН

Рассмотрен принципиально новый метод выполнения высокоточных измерений абсолютного расстояния до отражающего объекта. Предлагаемый принцип измерения объединяет радиотехнический метод определения расстояний и интерферометрический метод регистрации перемещений с использованием измерителя дробной доли интерференционной полосы.

Исследования проводились на экспериментальной установке (рис.1), содержащей He-Ne газоразрядные лазеры ЛГН-207 и ОКГ-16 с длиной волны оптического излучения $\lambda = 633$ нм.

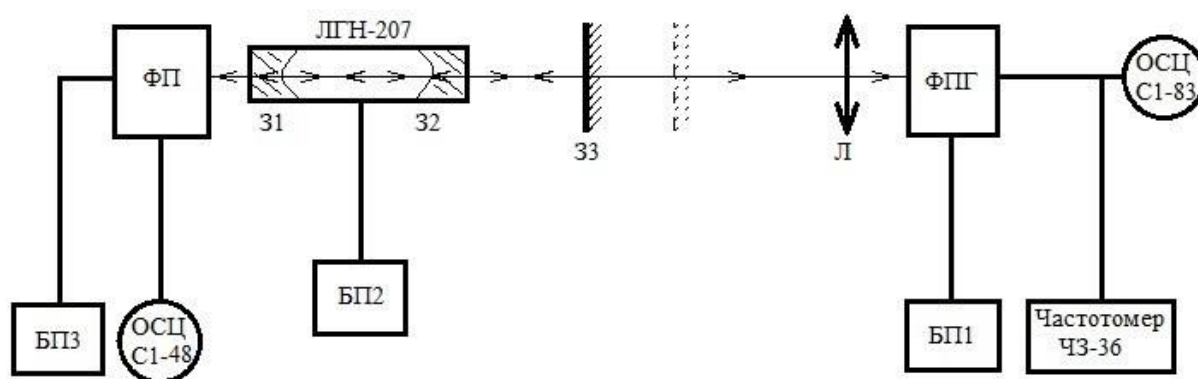


Рис.1 Блок-схема измерительной установки

Лазер ОКГ-16 содержит усилительную He-Ne трубку, на концах которой закреплены пластины под углом Брюстера. В отличие от ОКГ-16 в лазере ЛГН-207 брусетровская пластина находится внутри газоразрядной трубки. У обоих лазеров на концах резонатора установлены зеркала Z_1 , Z_2 . Длина резонатора лазера ЛГН-207 равна 23 см, длина резонатора ОКГ-16 составляет 16 см. Оптические резонансные частоты (моды) определяются формулой

$$\nu_{nq} = c/(2l_{\text{л}}) * (n - \theta_q/(2\pi)) \quad (1)$$

где n – продольный, а q – поперечный номер моды; $l_{\text{л}}$ – оптическая длина лазерного резонатора, θ_q – фазовая добавка, зависящая от конфигурации резонатора и поперечного номера моды, c – скорость света в вакууме.

Межмодовое расстояние определяется как $\nu_{n+1} - \nu_n = c/(2l_{\text{л}})$, из-за чего генерировались 1-2 моды в ОКГ-16 и 2-3 моды в ЛГН-207.

Частота межмодовых биений измерялась методом гетеродинирования. Частота одной из мод излучения лазера определялась относительно частоты другой моды лазера. Общий вид части установки для регистрации и измерения частоты межмодовых биений приведена на рис.2.



Рис.2 Общий вид измерительной установки: лазер ЛГН-207, блок питания БП2, линза Л, гетеродинный фотоприемник ФПГ и блок питания БП1



Рис.3 Общий вид гетеродинного фотоприемника ФПГ установки для измерения зависимости изменения разности частот от времени нагрева

Сигнал, сформированный в ЛГН-207, поступал на гетеродинный фотоприемник ФПГ (рис.3), который имел собственный блок питания БП1. Далее сигнал поступал на осциллограф С1-83 (рис.4, рис.5) и частотомер ЧЗ-36 (рис.4, рис.6), где проводились измерения частоты межмодовых биений.



Рис.4 Общий вид осциллографа С1-83 и частотомера ЧЗ-36 установки для измерения зависимости изменения разности частот от времени нагрева

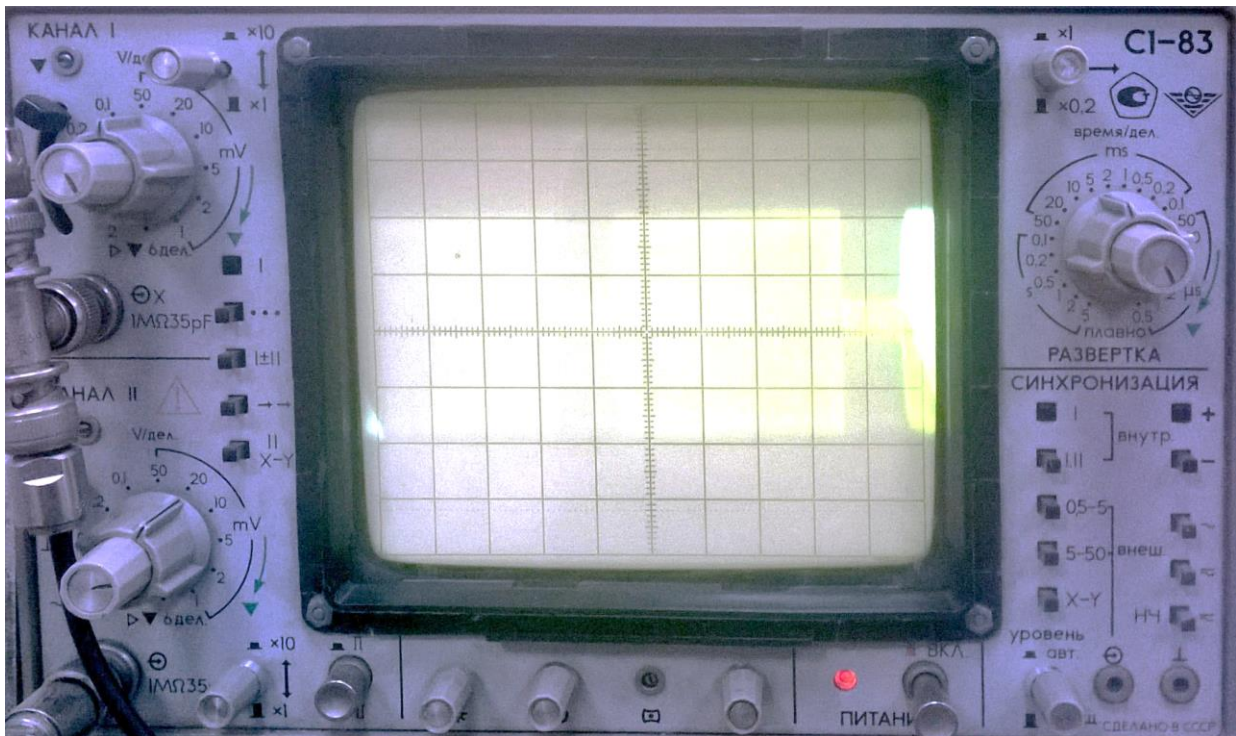


Рис.5 Процесс измерения зависимости разности частот от времени нагрева с использованием осциллографа CI-83



Рис.6 Процесс измерения зависимости разности частот от времени нагрева с использованием частотомера ЧЗ-36

Показания частотомера ЧЗ-36 видеокамерой с частотой видеокадров, равной 20 кадров в секунду, снимались на видео. Частота обновления данных составляла 10 раз в секунду. Часть полученных данных приведена на рис.7, где показана зависимость изменения частоты межмодовых биений лазера ЛГН-207 от времени нагрева. На представленном графике изменение частоты

межмодовых биений определяется формулой (1) и варьирует в диапазоне между 8.3 МГц и 9.2 МГц периодически, так как при нагреве лазера во времени меняется длина его резонатора и формируются новые частоты ν_{nq} , для которых усиление активной среды лазера превышает потери в его резонаторе. Частоты мод лежат в пределах доплеровского контура линии усиления шириной $\Delta\nu_d$, равной 1.5 ГГц для лазеров ЛГН-207 и ОКГ-16. Причиной изменений частоты межмодовых биений являются дисперсионные свойства активной среды.

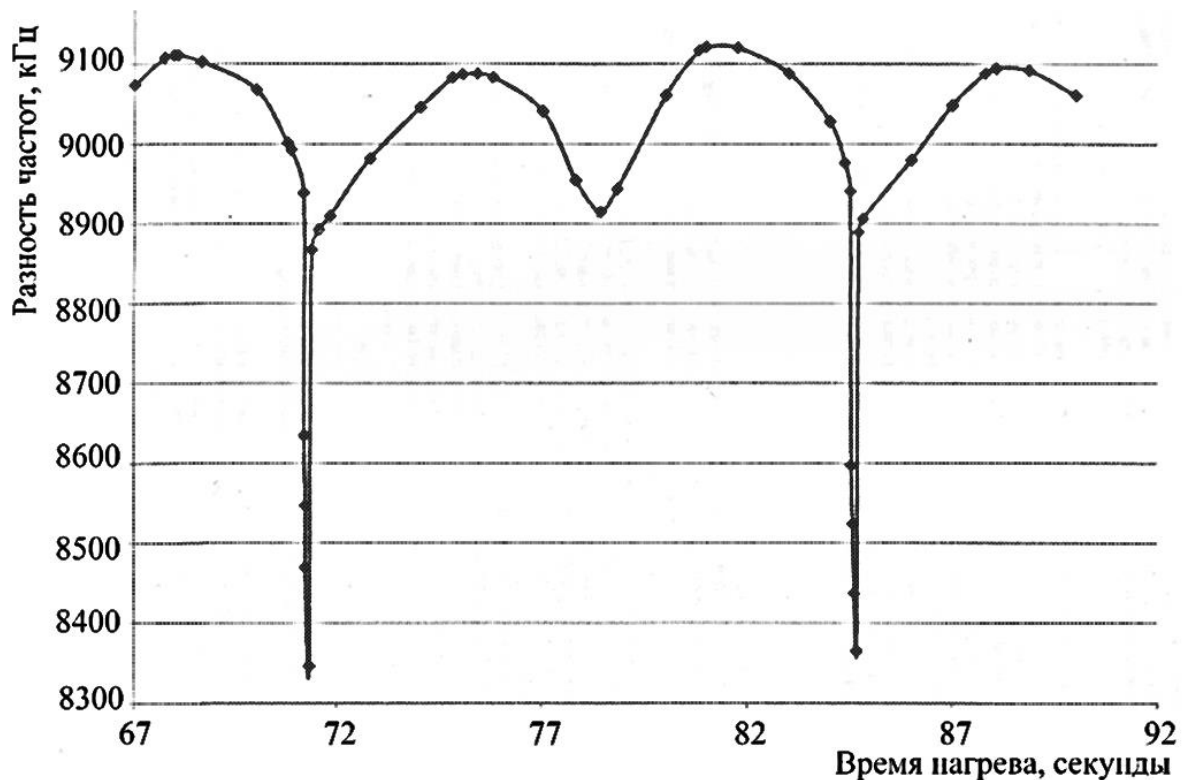


Рис.7 График зависимости частоты межмодовых биений лазера ЛГН-207 от времени нагрева

Для измерения зависимости видности от разности частот $\nu_{n+1} - \nu_n$ использовалась оптическая схема на основе трехзеркального интерферометра. Длина внешнего резонатора лазера ОКГ-16 изменялась с помощью сдвига зеркала Z_3 на измерительной рейке. Выходное излучение лазера поступало на фотоприемник ФП, имеющий свой блок питания БПЗ и подключенный к осциллографу С1-48, с помощью которого проводились измерения зависимости интерференционной картины от расстояния до

зеркала Z_3 . Поставив зеркало Z_3 на расстоянии 8 см от фиксированной точки на рейке, а затем через каждую секунду измеряя ширину колебаний интенсивности ΔI и среднее значение интенсивности \bar{I} на осциллографе С1-48, находили видность v интерференционной картины по формуле $v = \Delta I / (2\bar{I})$. Затем построили график зависимости видности интерференционной картины от времени нагрева лазера ОКГ-16 и соответственно от частоты межмодовых биений (рис.8).

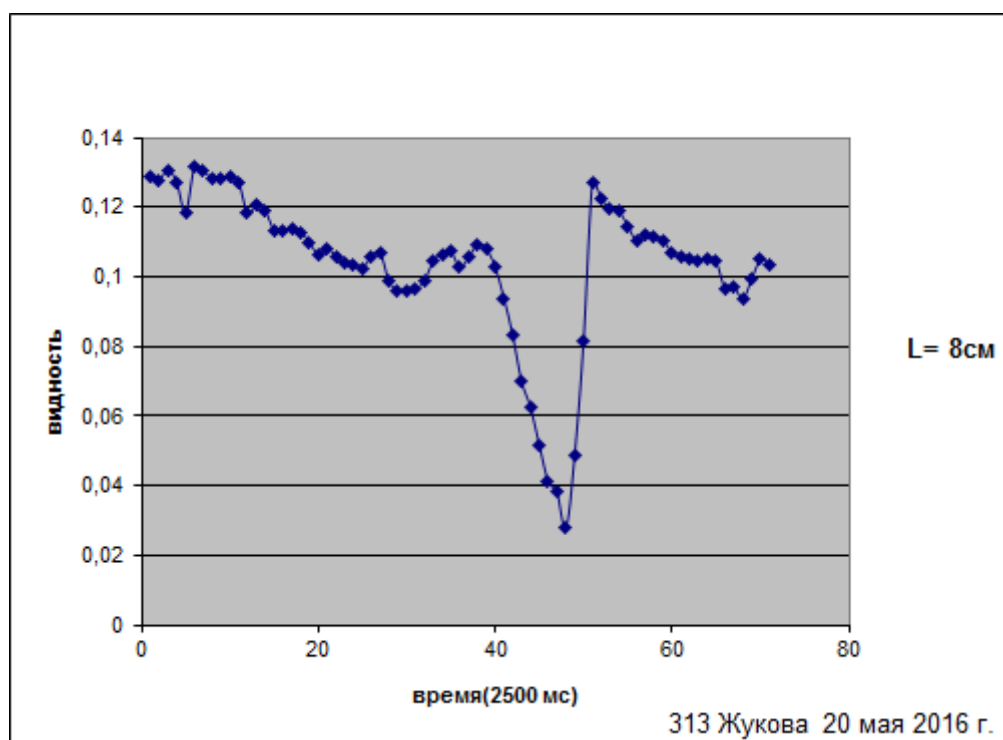


Рис.8 График зависимости видности интерференционной картины лазера ОКГ-16 от времени нагрева

Предложена схема лазерно-интерферометрического измерителя (см.рис.9), состоящая из четырех блоков: блока лазера БЛ, блока зеркала Z_3 БЗЗ, блока фотоприемника гетеродинного БФПГ и аналитического блока АБ.

Зеркала Z_1 , Z_2 лазера ЛГН-207, подключенного к блоку питания БП2, формируют коллимированный пучок, поступающий на подвижное зеркало Z_3 , закрепленное на измерительной рейке, от которого он отражается, а затем фокусируется линзой на фотодиод ФД. На выходе ФД возникает разность потенциалов, линейно зависящая от падающего на него оптического сигнала.

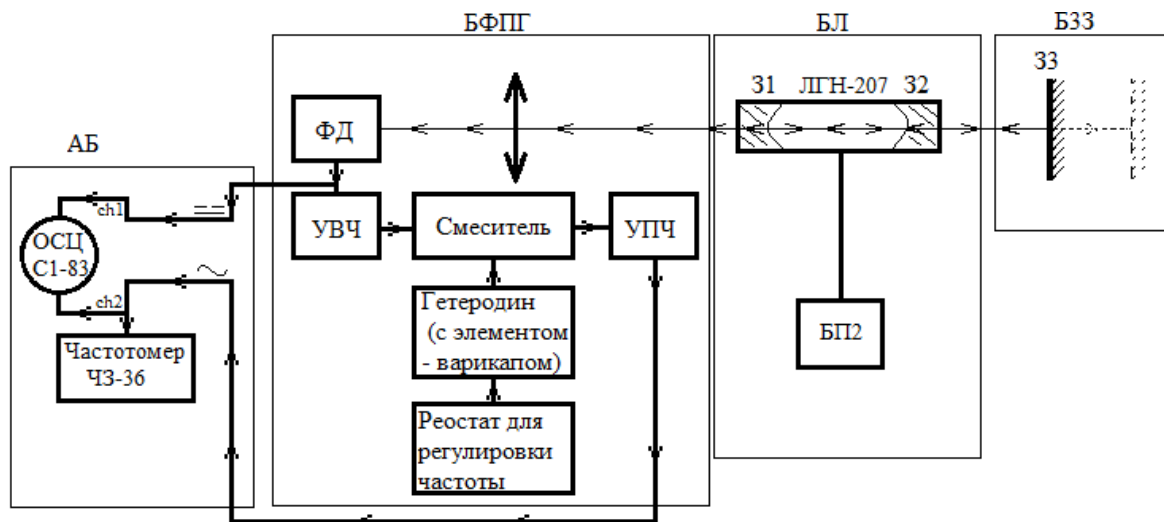


Рис.9 Блок-схема лазерно-интерферометрического измерителя

Напряжение с ФД подается на первый канал ch1 осциллографа С1-83 и на усилитель высоких частот УВЧ. С УВЧ сигнал поступает на смеситель, в котором происходит суперпозиция с гетеродинным сигналом, частота которого регулируется реостатом. Результат суперпозиции сигналов подается на усилитель промежуточной частоты УПЧ, откуда сигнал поступает на второй канал ch2 осциллографа С1-83 и на частотомер ЧЗ-36.

Литература

1. Яриш А. Квантовая электроника и нелинейная оптика // М., "Сов. Радио", 1980, 488 с.
2. Сздаков О.А., Кириллов В.П. Интерференция лазерного излучения, лабораторная работа №403 по курсу "Общая физика" // МФТИ, 1999, 15 с.
3. Дубров М.Н. Длиннобазовая лазерная интерферометрия: учет обратного рассеяния // МФТИ, 2011, 20 с.