

ВЫСОКОТОЧНЫЙ МЕТОД СТАБИЛИЗАЦИИ ЧАСТОТЫ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

к.т.н. Ю.П. Рондин, А.В. Коломийцев
(представил д.т.н., проф. Л.Ф. Купченко)

Предлагается устройство стабилизации частоты лазерного излучения, обеспечивающее стабильность частоты порядка $1 \cdot 10^{-12} \div 1 \cdot 10^{-14}$.

Совершенствование лазерных измерительных систем (ЛИС) связано с решением целого ряда научно инженерных задач, в числе которых важное место занимает проблема повышения стабильности частоты лазерного излучения.

В устройствах стабилизации частоты лазерного излучения используется, как правило, одноканальные схемы частотной (фазовой) автоподстройки, обеспечивающие получение характеристики нестабильности порядка $1 \cdot 10^{-9}$. Предлагается устройство стабилизации частоты лазерного излучения, реализующее три канала подстройки с использованием частот межмодовых биений.

Функциональная схема устройства стабилизации частоты излучения приведена на рис. 1. Устройство лазера содержит: стабилизируемый лазер 1; селектор продольных мод (СПМ) 2; поляризационный делитель 3; оптическая линия задержки 4; отражатель в виде непрозрачного зеркала, расположенный под углом 45° к излучению 5; элемент совмещения лучей 6; анализатор поляризации 7; фотодетектор точного канала 8; второй интегрирующий усилитель 9; сумматор сигнала рассогласования 10; резонансный усилитель разностной частоты межмодовых биений 11; линия задержки 12; фазовый детектор 13; третий интегрирующий усилитель 14; фотодетектор частот межмодовых биений 15; гетеродинный приемник 16; фильтр нижних частот 17; частотный детектор 18; первый интегрирующий усилитель 19 и исполнительный привод 20.

Частотно - стабилизированный лазер работает следующим образом.

Одномодовый многочастотный лазер, например пятичастотный ($\nu_1, \nu_2, \nu_3, \nu_4, \nu_5$) генерирует спектр излучения с частотным интервалом между соседними продольными модами, равным

$$\Delta\nu_M = C/2L,$$

где C - скорость света, L - длина резонатора.

В устройстве стабилизации излучения лазера точный контур (канал) стабилизации построен на основе оптического дискриминатора, использующего поляризационные свойства сигналов, которые определяются разностью фаз двух сравниваемых оптических сигналов: прямого и задержанного.

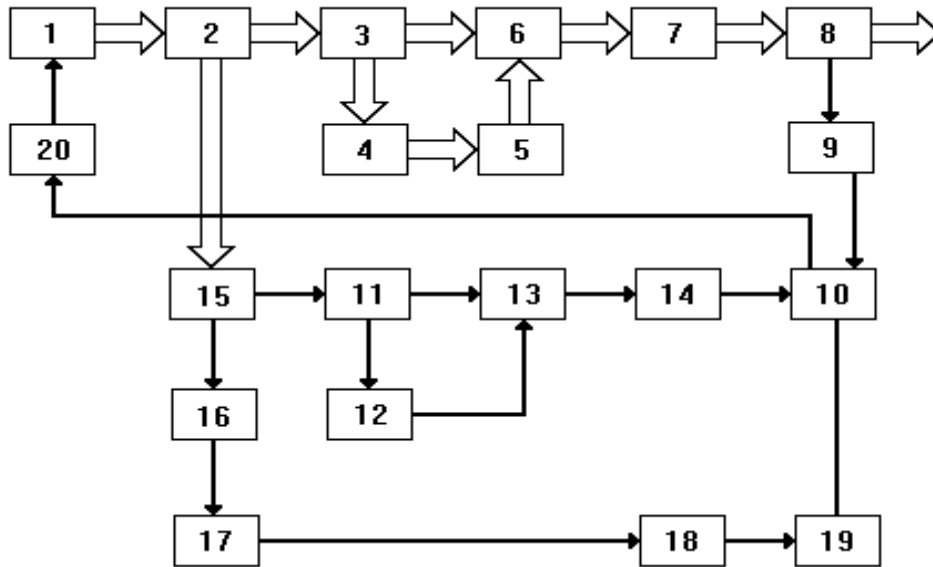


Рисунок 1 - Устройство стабилизации частоты излучения лазера

Излучение лазера 1 поступает на СПМ 2, который выделяет оптический сигнал центральной продольной моды ν_3 . С выхода СПМ 2 оптический сигнал с частотой ν_3 направляется на поляризационный делитель излучения 3, который разделяет в пространстве и по поляризации этот луч на два луча с ортогональной поляризацией. Луч с ортогональной поляризацией поступает на элемент совмещения лучей 6 непосредственно, а луч с вертикальной поляризацией через оптическую линию задержки 4, где осуществляется его задержка, и отражатель 5 - на элемент 6, где совмещается с опорным. При этом поляризация результирующего луча определяется фазой оптического сигнала с выхода оптической линии задержки 4. На анализатор поляризации излучения 7 поступает излучение, представляющее собой сумму лучей с ортогональной поляризацией. Результирующая поляризация будет зависеть от разности фаз между ортогональными компонентами. Так как коэффициент пропускания анализатора поляризации 7 зависит от вида поляризации па-

дающего на него излучения, то он так же будет зависеть от разности фаз между ортогональными компонентами.

Для работы на середине линейного участка необходимо, чтобы линия задержки создавала разность фаз между ортогональными компонентами

$$\Delta\varphi=2n\pi+\pi/4$$

за время задержки.

Если за время задержки произойдет отклонение частоты оптической несущей излучения лазера 1 в ту или иную сторону от номинальной, то на выходе оптической линии задержки 4 появится дополнительная разность фаз между ортогонально поляризованными компонентами. Это приведет к изменению вида поляризации, к смещению рабочей точки в ту или иную сторону, а следовательно к увеличению или уменьшению сигнала на выходе фотодетектора 8. Таким образом, формируется сигнал рассогласования в оптическом дискриминаторе, который с выхода фотодетектора 8, через интегрирующий усилитель 9, поступает на один из входов сумматора сигналов рассогласования 10.

Со второго выхода СПМ 2 многочастотный оптический сигнал ($\nu_1, \nu_2, \nu_3, \nu_4, \nu_5$) направляется на фотодетектор частот межмодовых биений 15, на выходной нагрузке которого выделяется суммарный электрический сигнал межмодовых биений, в частности

$$\Delta\nu_{m1} = \nu_2 - \nu_1, \Delta\nu_{m2} = \nu_5 - \nu_4, \Delta\nu_{m3} = \nu_4 - \nu_2, \text{ и т. д.}$$

В канале грубой стабилизации частоты, с помощью гетеродинного приемника 16, из суммарного сигнала, выделяется сигнал комбинационной частоты $F_k = \Delta\nu_{m1} - \Delta\nu_{m2}$, который после фильтра 17, поступает на вход частотного детектора 18. На выходе частотного фотодетектора 18, формируется сигнал рассогласования, который после усиления усилителем 19, поступает на один из входов сумматора сигналов рассогласования. С помощью резонансного усилителя 11, настроенного на разность частот $\Delta\nu_{m3} = \nu_4 - \nu_2$, выделяется электрический сигнал на удвоенной частоте межмодовых биений $2\Delta\nu_m$. Этот сигнал подается на фазовый детектор 13, непосредственно через электрическую линию задержки 12, используется в качестве опорного, незадержанный сигнал, несущий информацию об изменении фазы сигнала межмодовых биений лазера 1 - в качестве измерительного.

Если за время задержки сигнала произойдет флуктуация частоты межмодовых биений лазера 1, то на выходе фазового детектора 13, выделится сигнал рассогласования, величина и знак которого пропорциональны вели-

чине и стороне ухода частоты межмодовых биений от своего номинального значения. Сигнал рассогласования промежуточного канала поступает также на один из входов сумматора сигналов рассогласования 10, выходной сигнал которого подается на исполнительный привод 20, управляющий длиной резонатора стабилизируемого лазера 1.

Нестабильность частоты, обеспечиваемая в промежуточном канале с фазовой автоподстройкой длины резонатора на частоте межмодовых биений $\Delta\nu_m$, при регистрации разности фаз задержанного и текущего сигналов с точностью до десяти угловых минут и частоте межмодовых биений $\Delta\nu_m = 10^8$ Гц, составит

$$\left. \frac{\Delta\nu}{\nu} \right|_{\Delta\varphi=10^1} = \frac{1}{10^8 \cdot 360 \cdot 6} = 4,6 \cdot 10^{-12}.$$

Окончательно нестабильность стабилизируемого лазера будет определяться крутизной дискриминационной характеристики точного канала фазовой автоподстройки длины резонатора на оптической несущей. Она составит

$$\frac{\Delta\nu}{\nu} = \frac{0,5}{5 \cdot 10^4} = 10^{-5}$$

и выше, так как изменение фазы оптической несущей в оптическом дискриминаторе лежит в пределах от $-\pi$ до π .

ЛИТЕРАТУРА

1. Авторское свидетельство СССР №622377, кл. Н 01 S 3 / 13, 1975.- Частотно – стабилизированный газовый лазер.
2. Справочник по лазерам / Под ред. Л. М. Прохорова. - М.: Сов. радио, 1978. – 228 с.
3. Деланж. Широкополосные оптические системы связи. Ч. 2. Частотное уплотнение каналов // ТИИЭР. – 1970. - Т. 58, № 10. – 304 с.