

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абейнаике Х. Т., Комоцкий В. А. Измерение отражений поверхностных волн с использованием метода оптического зондирования с опорной дифракционной решеткой // Автометрия.— 1987.— № 6.
2. Бессонов А. Ф., Дерюгин Л. Н., Комоцкий В. А. Оптическое зондирование поверхностных акустических волн в присутствии стационарной периодической решетки // Оптика и спектроскопия.— 1980.— 49, № 1.
3. Komotskii V. A., Black T. D. Analysis and application of stationary reference grating method for optical detection of surface acoustic waves // J. Appl. Phys.— 1981.— 52, N 1.— P. 129.
4. Фильтры на поверхностных акустических волнах/Под ред. Г. Мэтьюза.— М.: Радио и связь, 1981.
5. Поверхностные акустические волны/Под ред. А. Оливера.— М.: Мир, 1981.

Поступило в редакцию 12 мая 1989 г.

УДК 621.378.325

В. В. КИСЛОВ, Г. В. ШАРОНОВ

(Минск)

ФЛУКТУАЦИИ ФАЗЫ ИМПУЛЬСОВ ИЗЛУЧЕНИЯ НЕПРЕРЫВНЫХ ЛАЗЕРОВ С АКТИВНОЙ СИНХРОНИЗАЦИЕЙ МОД

Одним из параметров, ограничивающим предельную погрешность измерения расстояния фазовым способом при использовании непрерывных лазеров с активной синхронизацией мод (СМ), является нестабильность фазы или временной «джиттер» генерируемых импульсов. В этой связи разработка надежных методов контроля и оптимизации режимов работы лазеров с СМ с целью получения минимальных флуктуаций фазы генерируемых импульсов представляет значительный практический интерес, так как позволяет повысить временное разрешение и улучшить отношение сигнал/шум на входе фотоприемного устройства. Исследования временной нестабильности импульсов ранее проводились с использованием спектроанализатора [1] и быстродействующего pin-фотодиода, подключенного к широкополосному осциллографу с полосой 4,5 ГГц [2].

К недостаткам оценки нестабильности фазы импульсов с помощью спектроанализатора следует отнести то, что он регистрирует все виды шумов, присутствующие в излучении, оценить количественный вклад каждого из которых затруднительно. Вследствие этого точность данного способа невысока так же, как и с использованием широкополосного осциллографа. Среднеквадратичная погрешность измерений во времени в этом случае определяется шириной полосы регистрирующей аппаратуры. Так, в [2] было показано, что, используя импульсы аргонового лазера с активной СМ в качестве генератора временных меток большой точности, можно измерять временную нестабильность лазерных импульсов со среднеквадратичной погрешностью ~ 12 пс.

В настоящей работе описываются результаты экспериментального исследования временной нестабильности фазы импульсов в непрерывных лазерах на иттрий-алюминиевом гранате (АИГ:Nd³⁺), аргоновом (Ar⁺), гелий-неоновом (He — Ne) с активной СМ с использованием фазометра, ранее широко применявшегося в фазовых дальномерах и обеспечивающего физическое разрешение $\sim 10^{-12}$ с [3].

Структурная схема экспериментальной установки приведена на рис. 1. Выходное излучение исследуемого лазера с активной СМ 1 подается на

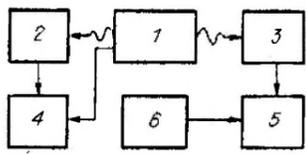


Рис. 1

измерительный pin-фотодиод 3 и с него на одно из плеч фазометра 5. Фазометр регистрирует фазу основной гармоники сигнала, равную частоте межмодовых биений у АИГ: Nd³⁺- и He-Ne-лазеров ~250 МГц, у Ag⁺ ~125 МГц. На второе плечо фазометра подается сигнал генератора опорных частот 6, отличающегося от измеряемого по частоте на

1 кГц, т. е. 249,999 и 124,999 МГц соответственно, стабильный по фазе и лишенный «паразитных» видов модуляции. Синтез опорных частот осуществлялся с помощью кварцевых генераторов «Гиацинт-М» с нестабильностью не более 10^{-9} с⁻¹. Изменение фазы $\Delta\varphi = |\varphi - \varphi_{оп}|$ импульсов лазера с активной СМ регистрируется фазометром по отношению к опорному сигналу с частотой 1 кГц, что при частоте временных меток фазометра $\sim 2,5 \cdot 10^8$ Гц обеспечивает погрешность $\sim 10^{-12}$ с. Время набора данных 10 с. Контроль и оптимизация режима СМ осуществляются с помощью быстродействующего контрольного фотоприемника 2 и строб-осциллографа 4. В качестве источников излучения использовались серийно выпускаемые лазеры: He-Ne-ЛГ-79-2, Ag⁺-ЛГ-106М1, АИГ: Nd³⁺-ЛТН-301М. Исследовались зависимости нестабильности фазы оптических импульсов от мощности выходного излучения и расстройки длины резонатора для разных уровней мощности управляющего сигнала на модуляторе с целью оптимизации режима СМ по минимуму флуктуаций фазы импульсов излучения.

На рис. 2 приведена зависимость нестабильности фазы импульсов от мощности выходного излучения для АИГ: Nd³⁺ — кривая 1, Ag⁺ — 2, He-Ne — 3 при постоянной подводимой мощности к модулятору 0,5 Вт. По оси абсцисс вверху отложена мощность лазеров на алюмоитриевогранате и аргоне, внизу — на He-Ne. Если для АИГ: Nd³⁺- и Ag⁺-лазеров значение нестабильности фазы монотонно растет с увеличением мощности накачки и мощности выходного излучения, то для He-Ne-лазера существует оптимальная мощность накачки, являющаяся общей характеристикой данного типа лазеров, при которой излучение имеет максимальную мощность. После перехода точки максимальной выходной мощности 14 мВт $\Delta\varphi$ растет линейно с уменьшением мощности выходного излучения. Возрастание $\Delta\varphi$ на начальных участках связано с ростом погрешности измерений за счет уменьшения амплитуды сигнала на измерительном фотодиоде и практического значения не имеет. Поэтому с точки зрения получения минимального $\Delta\varphi$ должен существовать при постоянной глубине модуляции оптимальный режим работы. Для АИГ: Nd³⁺-лазера это значение средней выходной мощности ~ 220 мВт, Ag⁺ ~ 180 мВт, He-Ne ~ 5 мВт. Следует отметить, что полученные значения выходной мощности, соответствующие минимальному значению $\Delta\varphi$, слишком малы для целого ряда исследований, поэтому представляет значительный интерес вопрос о минимизации $\Delta\varphi$ для максимальных значений выходной мощности в режиме СМ, в частности, путем выбора оптимальных режимов работы модулятора и расстройки. С этой целью были изучены зависимости $\Delta\varphi$ от мощности управляющего модулятором сигнала для разных расстроек длины резонаторов при средней мощности выходного излучения у АИГ: Nd³⁺- и Ag⁺-лазеров 500 мВт, He-Ne — 14 мВт. Полученные зависимости приведены на рис. 3. Кривые 1—3 соответствуют оптимальному режиму СМ и расстройки $\Delta L/L = 0$, кривые 1а—3а — $\Delta L/L = 10^{-3}$. Ход кривых для всех лазеров аналогичен и отличается лишь значениями $\Delta\varphi$, которые для АИГ: Nd³⁺-лазера больше, чем для Ag⁺- и He-Ne-лазеров, что предположительно объясняется относительно большими внутренними шумами активного элемента АИГ: Nd³⁺-лазера, а также флуктуациями тока разряда лампы накачки. Как следует из рис. 3, минимальное значение для АИГ: Nd³⁺-лазера реализуется в области минимальной расстройки резонатора вблизи $\Delta L/L = 0$. Хотя, как показывают результаты [4], и в этой области существует минимальное значение не-

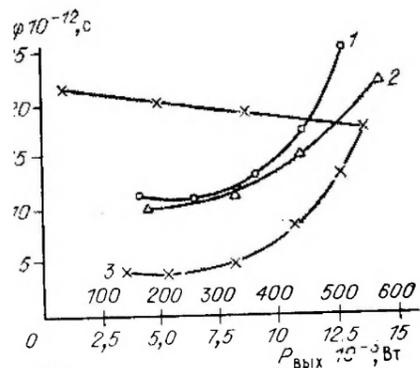


Рис. 2

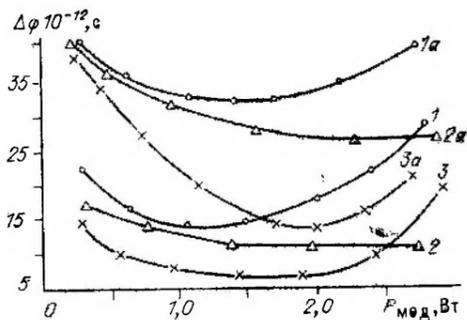


Рис. 3

стабильности при отрицательной расстройке частоты относительно частоты, дающей минимальную длительность импульсов. Как видно из графиков, при увеличении мощности на модуляторе АИГ: Nd^{3+} и He-Ne -лазеров после прохождения точки ~ 2 Вт происходит возрастание $\Delta\varphi$, что предположительно объясняется конструктивными особенностями резонатора. Для Ar^+ -лазера эта тенденция просматривается слабо. Последнее может быть объяснено тем, что спектральная линия аргонового лазера не только является неоднородно уширенной в «чистом» виде, но и обладает однородной шириной, что требует при одинаковых средних мощностях выходного излучения по сравнению с АИГ: Nd^{3+} и He-Ne -лазерами большей глубины модуляции.

Таким образом, посредством увеличения мощности управляющего модулятором сигнала при оптимальной расстройке длины резонатора можно добиться уменьшения $\Delta\varphi$ для АИГ: Nd^{3+} -лазера при максимальной паспортной мощности 500 мВт $\sim 15 \cdot 10^{-12}$ с, для Ar^+ -лазера при той же мощности $\sim 12 \cdot 10^{-12}$ с, для He-Ne (14 мВт) $\sim 7 \cdot 10^{-12}$ с, что в целом находится в хорошем соответствии с результатами [1, 2].

Проведенные исследования указывают на существование для каждого типа лазеров минимальных значений нестабильности фазы в режиме генерации последовательности сверхкоротких импульсов в зависимости от параметров лазера, знание которых позволяет минимизировать погрешности временных измерений, проводимых с помощью этих лазеров.

Полученные результаты могут быть использованы при разработке и аттестации фазовых дальномеров на основе непрерывных лазеров с активной СМ, волоконно-оптических линий задержки, быстродействующих фотоприемных устройств и др.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Linde D., Wiechert P., Kluge J., Kemmler M. Characteristics of actively mode-locked cw lasers // Материалы III симп. «Сверхбыстрые процессы в спектроскопии». — Минск, 1984.
2. Harvey G. T., Gabel C. W., Mourou G. Synchronization of a mode-locked Nd-YAG-argon ion laser system // Opt. Commun.— 1981.— 36, N 3.— P. 213.
3. Михеев В. С. Геодезические дальномеры.— М.: Недра, 1978.
4. Kean P., Smith K., Sibbett W. Modulator frequency detuning effects in a cw mode-locked Nd-YAG laser with active stabilization // Opt. Commun.— 1987.— 61, N 2.— P. 129.

Поступило в редакцию 2 ноября 1988 г.