



## МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЧАСТОТНО- СТАБИЛИЗИРОВАННЫХ ЛАЗЕРОВ

П.Воробьев, Ю.Керносов, А.Кондрахин,  
Г.Мельничук, Е.Чуляева,  
ОАО "Плазма", Рязань

Наиболее распространенные методы измерения параметров лазерного излучения включают в себя, в частности, измерение пространственных и энергетических характеристик пучка. Для измерения таких характеристик разработаны автоматизированные устройства, например [1]. Измерение характеристик частотно-стабилизированных лазеров требует разработки нескольких установок и методик измерения. К таким характеристикам следует отнести спектрально-частотные. В работе продемонстрированы методы, применяемые в промышленном производстве. Предлагаемая работа публикуется по рекомендации Оргкомитета Международного научного семинара "Физика лазерных процессов и применений" (PHLPA-2012), проводимого в Рязани.

### МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТАБИЛЬНОСТИ ЧАСТОТЫ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Метод измерения нестабильности частоты, подобно описанному в [2, 3], осуществляется во временной области и заключается в измерении частоты биений между двумя лазерами с помощью частотомера. Затем данные анализируются и статистически обрабатываются.

Нестабильность частоты определяется через среднеквадратическое относительное отклонение как

$$\frac{\Delta\nu}{\nu} = \frac{1}{\nu\sqrt{2}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\nu_i - \bar{\nu}_i)^2}{N}}, \quad (1)$$

## THE MEASUREMENT METHODS OF PARAMETERS OF THE FREQUENCY-STABILIZED LASERS

P.Vorobiev, M.Kernosov, A.Kondrakhin, G.Melnichuk,  
E.Chulyaeva, OAO "Plasma", Ryazan

The most common methods of measurement of laser emission parameters include, in particular, measurement of the spatial and energy characteristics of the beam. To measure such characteristics, automatic instruments, such as [1], have been developed. Measurement of frequency-stabilized laser characteristics requires development of a number of measurement installations and methods. Such characteristics include spectral-frequency characteristics. In this paper, we consider methods, which are used in industrial production. The proposed work is published on the advice of the Organizing Committee of International Scientific Seminar "Physics of laser processes and applications" (PHLPA-2012) held in Ryazan.

### METHODS OF LASER RADIATION FREQUENCY STABILITY DETERMINATION

Similar to the method described in [2, 3], the method of frequency instability measurement, used in the time domain, consists in the measurement of the beat frequency between two lasers using frequency meter. Thereafter, the data obtained is analyzed and subject to statistical treatment.

Determination of frequency instability through root-mean-square relative deviation as

$$\frac{\Delta\nu}{\nu} = \frac{1}{\nu\sqrt{2}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\nu_i - \bar{\nu}_i)^2}{N}}, \quad (1)$$

where  $\frac{\Delta\nu}{\nu}$  is instability of the tested laser's emission frequency;  $\bar{\nu}_i$  is the average value of the measured beat frequency;  $N$  is the number of frequency meter counts;  $\nu_i$  is the nominal frequency value, is justified if the emission frequency fluctuations occur at random. However, in the course of time, changes in the laser emission frequency are not always of random



где  $\frac{\Delta\nu}{\nu}$  – нестабильность частоты излучения испытуемого лазера;  $\bar{\nu}_i$  – среднее значение измеряемой частоты биений;  $N$  – число отсчетов с частотомера;  $\nu_i$  – номинальное значение частоты, справедливо в случае, если флуктуации частоты излучения носят случайный характер. Однако изменения частоты лазерного излучения со временем не всегда носят случайный характер. Причем эти изменения на фоне случайных флуктуаций частоты могут быть выражены неявно.

При наличии систематического характера изменения частоты среднеквадратическое отклонение расходуется с увеличением числа измерений. При наличии дрейфа нестабильность частоты лазерного излучения вычисляется по формуле (2) и не совпадает со значением нестабильности частоты, вычисленной с учетом формулы (1).

Нестабильность частоты в случае дрейфа определится по формуле

$$\frac{\Delta\nu}{\nu} = \frac{1}{\nu\sqrt{2}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\nu_{2i} - \nu_{2i-1})^2}{N}}, \quad (2)$$

где  $N$  – число пар отсчетов с частотомеров;  $\nu_{2i}$  – текущее значение измеренной частоты биений;  $\nu_{2i-1}$  – предшествующее значение частоты биений.

Параметр Аллена меняется с изменением времени усреднения. Обычно для характеристики лазера строят параметр Аллена в зависимости от времени усреднения, что и позволяет судить о спектре возмущений [4]. Тип шума исследуемого лазера обычно неизвестен, поэтому при определении стабильности частоты этот метод дает большие погрешности.

Таким образом, выбор формулы для определения нестабильности частоты (1) или (2) будет зависеть от типа шумов в спектре лазерного излучения. Если процесс изменения оптической частоты носит случайный характер, то справедлива формула (1).

Анализ проведенных измерений показывает, что стабильность частоты в частотно-стабилизированных лазерах, выпускаемых ОАО ПЛАЗМА, подчиняется закону Гаусса при

character. Moreover, against the background of random fluctuations, such changes may not manifest themselves clearly.

With the systematic character of frequency changes, the root-mean-square deviation starts to deviate as the number of measurements increases. In the presence of such drift, the laser emission frequency instability is calculated in accordance with Formula (2), and it differs from the frequency instability value calculated in accordance with Formula (1).

In the event of drift, frequency instability is calculated in accordance with the following formula:

$$\frac{\Delta\nu}{\nu} = \frac{1}{\nu\sqrt{2}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\nu_{2i} - \nu_{2i-1})^2}{N}}, \quad (2)$$

where  $N$  is the number of pairs of frequency meter readings;  $\nu_{2i}$  is the current beat frequency value measured;  $\nu_{2i-1}$  is the previous beat frequency value.

The Allen parameter changes as the averaging time is changed. Usually, for laser characteristic purpose, the Allen parameter is built depending on the averaging time, which makes it possible to judge the disturbance spectrum [4]. Since the noise of the tested laser is usually unknown, this method has low accuracy.

Therefore, selection of frequency instability determination formula (1) or (2) will depend on the type of laser emission spectrum. If the process of light frequency change is of random character, formula (1) is true.

An analysis of the measurements made shows that frequency stability of frequency-stabilized lasers produced by OAO PLAZMA obeys the Gaussian law after two hours' warm-up, while in the first hours of operation, the beat frequency is drifting. For this reason, to characterize frequency stability, the root-mean-square error is specified for different averaging time. The installation consists of an optical heterodyne unit and an automatic data registration unit. The results obtained were processed applying different averaging time.

## MEASUREMENT OF TIME COHERENCE LENGTH

The time coherence length was investigated using a modernized Michelson interferometer. The



работе лазера после двухчасового прогрева, в то время как в первые часы происходит дрейф частоты биений. Поэтому для характеристики стабильности частоты приводится СКО при разных временах усреднения. Схема установки представляет собой схему оптического гетеродинамирования с автоматической регистрацией данных. Обработка результатов проводилась при разных временах усреднения.

### ИЗМЕРЕНИЕ ДЛИНЫ ВРЕМЕННОЙ КОГЕРЕНТНОСТИ

Исследование длины временной когерентности проводилось с помощью модернизированного интерферометра Майкельсона. Опорное плечо интерферометра образовано зеркалом с пьезокорректором. Измерительное плечо образовано делительным зеркалом и подвижным измерительным зеркалом. Излучение, отраженное от измерительного зеркала, снова возвращается к делительному зеркалу, отражается от него и совмещается с опорным излучением.

На фотоприемнике мы получаем интерференционную картину. Пьезокорректор осуществляет модуляцию опорной длины интерферометра. За счет использования модулируемой опорной длины интерферометра Майкельсона возникает переменный сигнал интенсивности, отображаемый регистрирующим устройством, который демонстрирует сигнал с выхода интерферометра. При равенстве плеч интерферометра глубина модуляции составляет 100%. При неравенстве плеч интерферометра глубина модуляции уменьшается. При модуляции сигнала глубиной 50%, что происходит при изменении расстояния в измерительном плече до длины когерентности, видность интерференционной картины тоже равна 50%.

Преимущества метода заключаются в снижении погрешности измерения с 25% до 2%.

### МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ПОЛЯРИЗАЦИОННОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ В ЧАСТОТНО-СТАБИЛИЗИРОВАННОМ ЛАЗЕРЕ

Исследования поляризационно-частотных свойств активных элементов с внутренними зеркалами проводились, например, авторами работ [5,6]. Однако причины нестабильности

interferometer's reference arm was formed of a mirror with a piezocorrector. The reference arm was formed of a dividing mirror and moving mirror (moving, measuring). The light reflected by the measuring mirror comes back to the dividing mirror, is reflected by it and is combined with the reference emission.

The interference pattern is obtained by the photosensor. The piezocorrector modulates the reference length for the interferometer. Owing to the use of the reference length of the Michelson interferometer, the variable intensity signal is produced, which is reflected by the registration device and brought out at the interferometer's output. When the interferometer's arms are equal, the modulation depth is 100%. When the interferometer's arms are unequal, the modulation depth decreases. In the event of modulation of a signal with a 50-percent depth, which happens when the distance in the measuring arm changes to become equal to the coherence length, the visibility of the interference pattern is also equal to 50%.

The advantage of the method is that the measurement error decreases from 25% to 2%.

### METHOD OF POLARIZATION INSTABILITY MEASUREMENT IN A FREQUENCY-STABILIZED LASER

Polarization-frequency qualities of active elements with internal mirrors were studied, for instance, in papers [5, 6]. However, the causes of instability were revealed only in part. For comprehensive instability analysis, this paper presents a measurement installation which made it possible to simultaneously measure changes in the laser light intensity and register the difference frequency in the event of transverse magnetic field imposition on the active medium of a laser.

The laser emission was forwarded to a polaroid and photo sensor. The signal derived from the scanning interferometer came to the C1-117 oscilloscope's input. Emission from the other input of the laser was forwarded to a two-sector photo sensor attached to an amplifier, APPA multimeter and computer, with each of the polarization signals being recorded by a respective channel of the computer. The computer display shows output signals of each of the components of laser emission, which are, respectively,  $I_1$ ,  $I_2$ .

Thus, the installation makes it possible to perform a complete analysis of instability of frequency-stabilized lasers.



были выявлены лишь частично. Для полного анализа нестабильности предложена в настоящей работе схема измерительной установки, которая позволяла одновременно измерять изменение интенсивности лазерного излучения, а также регистрировать разностную частоту при наложении поперечного магнитного поля на активную среду лазера.

Излучение лазера направлялось на поляроид и фотоприемник. Сигнал с фотоприемника сканирующего интерферометра поступал на вход осциллографа С1-117. С другого выхода лазера излучение направлялось на двухсекторный фотоприемник, подключенный к усилителю, мультиметру АРРА и компьютеру, причем каждый сигнал поляризации записывался соответствующим каналом компьютера. На экране компьютера отображался сигнал выходной мощности каждой из составляющих лазерного излучения, соответственно  $I_1$ ,  $I_2$ .

Таким образом установка, позволяет провести полный анализ нестабильности частотно-стабилизированных лазеров.

## ЛИТЕРАТУРА

1. <http://www.lamet.ru>. СИПХ-1 – Средство измерения пространственно-энергетических параметров лазерного излучения.
2. Хирд Г. Измерение лазерных параметров. – М.: Мир, 1970.
3. Котюк А.Ф. Измерение спектрально-частотных и корреляционных параметров и характеристик лазерного излучения/ Под ред. А.Ф.Котюка и В.А.Степанова. – М.: Радио и связь, 1982.
4. Rutman J. Characterization of Frequency: a Transfer Function Approach and its Application to Measurements via Filtering of Phase Noise. – IEEE Trans on Instrum. and Meas., 1974, v. IM – 23, №1.
5. Арефьев А.С., Борисовский С.П., Кондрахин А.А., Чуляева Е.Г. Стабильная генерация в частотно-стабилизированном гелий-неоновом лазере. – Вестник РГРТА, 2004, вып.14, Рязань, с. 80–83.
6. Бадамшина Э.Б. и др. Экспериментальное исследование искажений поляризационных характеристик интерференционных зеркал. – Вестник СПбО АИН, 2008, вып.5.– Санкт-Петербург, с.206–212.



## БЕРЕЖНО ОТНОСИТЬСЯ К ИСТОРИИ ЛАЗЕРА

Уважаемая Редакция!

В журнале "Фотоника" № 1 за 2013 год опубликована заметка В. Петрова "Страсти по лазеру еще не утихли" [1], основанная на ошибочном представлении ее автором истории создания полупроводникового инжекционного лазера, как она изложена в нашей работе [2].

Содержательная часть [1] исходит из безапелляционного утверждения, что авторам статьи [2] (т. е. Ю. Носову и А. Сметанову) якобы "оказалось неизвестно" авторское свидетельство №25760 В. И. Швейкина по заявке № 714114 [3] и что упоминание этой заявки позволяет ему (т. е. В. Петрову) провозгласить: "В своем открытии (каком? – Ю. Н.) Швейкин оказался впереди многих ученых, имена которых современники ошибочно называют первооткрывателями". Оба эти утверждения В. Петрова ложны.

Во-первых, текст заявки [3] с приложением Справки о ее рассекречивании был лично передан В. И. Швейкиным мне (Ю. Носову) в начале 2000-х годов и неоднократно мною использовался в статьях по истории электроники (см., напр., [4]). Во-вторых, заявка [3] не имеет никакого отношения к созданию первых инжекционных лазеров (в США – Р. Холлом, в СССР – группой сотрудников ФИАН: Б. М. Вул, А. П. Шотов и др.) и именно поэтому не упоминается в [2]. И прежде, и теперь мое мнение по заявке [3] неизменно: а) она свидетельствует о том, что В. И. Швейкин уже в 1961 году (а возможно и раньше) был, как говорится, "в теме" (речь об инжекционных лазерах) и это очень полезно "сработало" при организации НИИ "Полюс" летом 1962 года; б) существенным фактом истории науки и техники она не является, и, как мне представляется, осталась, как говорят, "американским бумажным патентом". Дело в том, что в [3] была предложена пятислойная структура, которую, по моему мнению, реализовать в 1960-е годы было крайне затруднительно, а после создания "лазера Холла", необходимость в этом отпала. Хорошо бы В. Петров обосновал, что это не так, а не ограничился пустым заявлением: "Швейкин продолжал заниматься своим изобретением", не указав, что же на этом пути (т. е. именно по заявке [3]) было достигнуто.

К сожалению, "продолженные истории" зарождения лазеров, подобные [1], нередко выходили (и выходят) из-под пера и других авторов, порой весьма авторитетных. Для примера напомним [5], что в 1998 году Ч. Таунс и А. Шавлов, оба к тому времени Нобелевские лауреаты, организовали в Сан-Франциско торжественное празднование сороковой годовщины рождения лазера, хотя общеизвестно, что его создал Т. Мейман в 1960 году (а они позволили себе вести отсчет от выхода в свет их заявочной статьи 1958 года).

Пользуясь случаем, еще раз подчеркнем наше однозначное мнение о первых создателях важнейших приборов квантовой электроники: лазер – Ч. Таунс, первый лазер – Т. Мейман, инжекционный лазер – Р. Холл, гетеролазер – Ж. Алферов (разумеется, с участием

членов своих команд). Все остальное – предсказания, теории, изобретения и т. п. (при всей своей значимости) никак не может подменить факт создания первого образца.

Вызывают недоумение рассуждения В. Петрова о Ленинской премии – 1972 за гетероструктуры: к чему собственно он клонит, о "каком первоначальном" списке ведет речь, почему позволяет себе ставить фамилию В. И. Швейкина перед "рядом сотрудников ФТИ"? Между тем история этой премии общеизвестна и предельно ясна: работа была выполнена и выдвинута на Премию ленинградским Физтехом единолично без участия каких-либо других предприятий; представленный авторский коллектив: Ж. И. Алферов, В. М. Андреев, Д. Э. Гарбузов, В. И. Корольков, Е. Л. Портной, Д. Н. Третьяков. В процессе общественного обсуждения (обязательная процедура при прохождении работы на Премию) по настоящему предложению директора НИИ "Полюс" М. Ф. Стельмаха авторский коллектив был дополнен "от промышленности" В. И. Швейкиным (вследствие чего, из-за формального ограничения состава шестью членами из первоначального списка пришлось вывести Е. Л. Портнова).

В своей заметке В. Петров оперирует ошибочной датой основополагающей заявки Ж. И. Алферова и Р. Ф. Казаринова на гетеролазер, почему-то "не заметив" правильную дату в нашей статье (30.03.63., ссылка [22] в [2]). Между тем, дата этой заявки имеет принципиальное значение, так как утверждает приоритет отечественных ученых перед статьей Г. Кремера (декабрь 1963 года).

Личность и достижения проф. В. И. Швейкина хорошо известны отечественному электронному научному сообществу и вряд ли нуждаются в неуклюжих восхвалениях, основанных на некорректном отношении автора [1] к истории. Свое высокое мнение о научном уровне и достижениях В. И. Швейкина я высказывал в печати неоднократно, в частности в [5] он поставлен в один ряд с В. Г. Дмитриевым, М. Ф. Стельмахом, Г. М. Зверевым – все они составили "золотой фонд" НИИ "Полюс".

Если бы В. Петров вместо "углубления" истории выступил как мемуарист с рассказом о деятельности "коллеги по аспирантуре" это, возможно, оказалось бы интересным и полезным, а к углублению истории надо подходить аккуратно.

Ю. Носов, [nosov-diod@yandex.ru](mailto:nosov-diod@yandex.ru)

### Литература

1. Петров В. М. Страсти по лазеру еще не утихли. – Фотоника, 2013, № 1, с. 72.
2. Носов Ю., Сметанов А. Страсти по лазеру. – Фотоника, 2012, № 6, с. 50.
3. А.с. 25760 по заявке № 714114 с приоритетом 25.11.1961. Способ квантовомеханического усиления и генерирования электромагнитных колебаний/ В.И. Швейкин.
4. Носов Ю.П. Создание светодиодов и лазеров: вклад российских ученых. – ВИЕТ. 2006. № 2, с. 49–61.
5. Носов Ю.П. Страсти по лазеру. – История науки и техники, 2012, № 12, с. 51.

