

Долговременная нестабильность мощности излучения одночастотного He-Ne лазера с ПСВЧР

Необходимость повышения стабильности мощности излучения He-Ne лазера вызвана, прежде всего, решением задач прикладного характера (измерение коэффициента пропускания и поглощения вещества, и т.п.).

Флуктуации выходной мощности промышленных He-Ne лазеров с РПТ (разряд постоянного тока), используемых для этих целей, обычно достигают 10-15% и являются следствием изменения длины и добротности резонатора при его тепловых деформациях, воздействия акустических и механических вибраций нестабильности мод и т.д. Уменьшение действия возмущающих факторов приводит к повышению стабильности излучения лазера.

Исследованию пассивной и активной стабилизации мощности излучения He-Ne лазера с РПТ посвящено множество работ [2-4]. Определены факторы, влияющие на излучение He-Ne лазера с РПТ при его долговременной работе. В результате многолетнего использования стабилизированных He-Ne лазеров с РПТ выявлены следующие недостатки: использование высоковольтного источника питания ведет к неудобству при стыковке со схемой стабилизации; уменьшение выходной мощности при долговременной работе из-за катафореза и перераспределения плотности газа внутри активного элемента; высокий уровень собственных шумов излучения, обусловленных наличием реактивных колебаний и страт в газовом разряде. Эти факторы затрудняют получение высокой стабилизации мощности излучения [4].

Использование ПСВЧР (поперечный сверхвысокочастотный разряд), открывают определенные перспективы устранения вышеперечисленных недостатков, свойственных лазерам на РПТ [5].

Следует отметить, что ряд вопросов, важных при создании долговечных и надежных He-Ne лазеров с ПСВЧР не получил еще достаточного освещения в литературе. К ним относится исследование долговременной нестабильности уровня лазерной мощности.

Нами исследованы факторы, влияющие на стабильность мощности излучения одночастотного He-Ne лазера с ПСВЧР при долговременной работе.

Исследования проводили на одночастотном He-Ne лазере с ПСВЧР, описанном в [1]. Трубка с каркасом помещена в металлический корпус для предохранения зеркал резонатора и окошек трубки от запыления и от СВЧ облучения лиц, работающих с установкой. В трубке можно получить РПТ и ПСВЧР. С помощью детекторной головки на милливольтметре контролировались изменения мощности СВЧ автогенератора накачки. Для измерения температуры на поверхности разрядной трубки (РТ) и инварового стержня были приклеены термоэлементы, ЭДС которых измерялась с помощью электронных цифровых вольтамперметров.

Исследуемый лазерный луч, ослабленный нейтральными светофильтрами, проходя через светоделительную пластинку, разделялся на два пучка. Первый пучок преобразовывался фотодиодом в электрический сигнал. Этот сигнал усиливался усилителем постоянного тока и записывался на самопишущем приборе. Одновременно на анализаторе спектра рассматривался спектр шума лазерного излучения [6]. Второй пучок, отражаясь от зеркала, проходил через сканирующий интерферометр Фабри-Перо и попадал на фотоумножитель. Электрический сигнал с него поступал на осциллограф, где просматривался модовый состав излучения. Сферическое зеркало резонатора приклеено на пьезокорректор типа КП-1.

Одновременно измерялись мощность лазерного излучения, потребляемая мощность автогенератора, мощность СВЧ генераторов, температура разрядной трубки и стержня оптического резонатора. Наблюдался модовый состав излучения и спектр шума лазерного излучения для различных мощностей накачки. Из изменения мощности лазерного излучения для различных значений мощности накачки, записанной на самописце в течение 2 часов 30 минут, подсчитывалась средняя глубина флуктуации мощности излучения $\bar{\gamma}$, за каждые 10 минут по следующей формуле:

$$\bar{\gamma} = \frac{\sum (W_{л} - W_{п})}{W_{л}} \cdot 100\%$$

где $W_{л}$ - значение средней мощности лазерного излучения за 10 минут, $W_{п}$ - значение выходной мощности в определенный момент, n - количество точек. Средний период флуктуаций мощности лазерного излучения подсчитывался по формуле:

$$T_{\phi} = \frac{10 \text{ мин}}{m}$$

где m - количество периодов флуктуаций за 10 минут. Рассмотрим наиболее характерные зависимости, полученные в результате обработки данных. На рис.1 представлены временные зависимости мощности излучения лазера (W), потребляемой мощности автогенераторов ($W_{\text{потр}}$), мощности СВЧ генераторов ($W_{\text{СВЧ}}$), температур разрядной трубки ($T_{\text{тр}}$) и инварового стержня оптического резонатора ($T_{\text{стр}}$) при напряжении питания СВЧ генераторов, равном 20 В (потребляемый генератором накачки ток с течением времени мог изменяться и поэтому контролировался измерителем тока). Аналогичные зависимости были получены и для других значений напряжения питания СВЧ генераторов, равных 23, 25, 27, 30, 33, 34 и 35 В.

Из рисунка 1 видно, что за первые 10 минут работы лазера его мощность уменьшилась на 12%. Это можно объяснить тем, что с включением СВЧ генераторов (т.е. с горением разряда), быстро повышается газовая температура плазмы и температура разрядной трубки и в итоге уменьшается инверсия и, как следствие, уменьшается лазерная мощность. Из рисунка также видно, что мощность лазера совершает квазипериодические колебания, причем период флуктуаций увеличивается с течением времени. Это явление характерно и для других значений напряжения питания при ПСВЧР и для РПТ. Эти флуктуации объясняются тем, что повышение температуры приводит к тепловому расширению трубки и стержня. При этом меняется оптическая длина резонатора, что в свою очередь приводит к дрейфу продольных мод в контуре усиления и квазипериодическому изменению мощности лазера. Увеличение периода флуктуаций с течением времени можно объяснить следующим образом: в начальный период работы лазера температура стержня растет быстро, поэтому быстро меняется оптическая длина резонатора и период флуктуаций составляет 1 мин, а с течением времени лазер входит в стационарный режим (температура трубки и стержня меняется медленней) и медленнее увеличивается оптическая длина резонатора. По мере входа лазера в стационарный режим период флуктуаций увеличивается до 8 минут, а глубина флуктуаций мощности уменьшается до 1,8%.

Из аналогичных результатов для различных напряжений питания СВЧ генератора накачки после обработки были построены зависимости W , $T_{\text{тр}}$, $T_{\text{стр}}$ и от потребляемой мощности $W_{\text{потр}}$ после вхождения лазера в стационарный режим и представлены на рис.2.

Из рис.2 видно, что с увеличением потребляемой мощности (или с увеличением вводимой в плазму СВЧ мощности) от 9 до 26 Вт, мощность лазерного излучения сначала растет, а затем начинает уменьшаться (при потребляемой мощности накачки, равной 22 - 24 Вт). такую зависимость можно объяснить, если рассмотреть зависимость температуры стенки разрядной трубки от потребляемой мощности. Температура стенки разрядной трубки изменилась то 80 С до 202 С при изменении потребляемой мощности от 9 Вт до 26 Вт. Увеличение температуры стенки разрядной трубки (т.е. увеличение газовой температуры смеси) приводит к уменьшению инверсии, соответственно к уменьшению мощности лазерного излучения. Естественно, необходимо отметить, что при больших потребляемых мощностях СВЧ генератор может работать с меньшим КПД и это может приводить к спаду мощности лазерного излучения. При всех этих измерениях с изменением потребляемой мощности производилась настройка резонатора лазера на пик выходной мощности в контур усиления при помощи пьезокорректора.

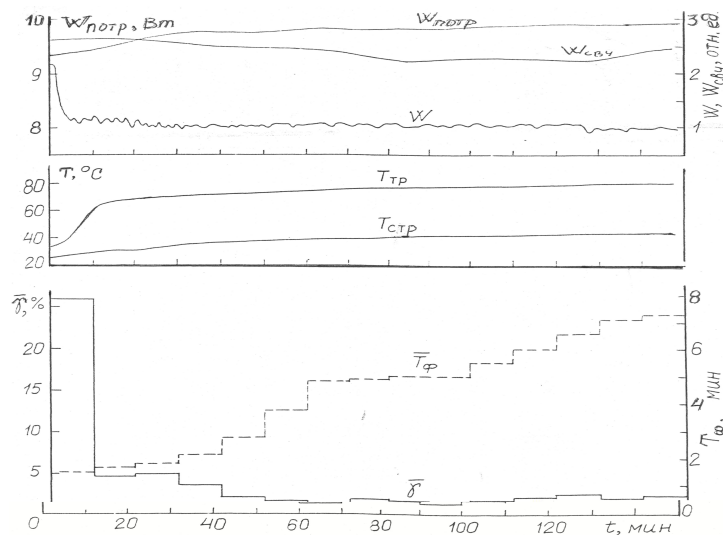


Рис. 1. Зависимость мощности лазера (W), потребляемой мощности ($W_{\text{потр}}$), мощности СВЧ генераторов ($W_{\text{свч}}$), температур трубки ($T_{\text{тр}}$) и стержня ($T_{\text{стр}}$), средних величин глубины ($\bar{\gamma}$) и периода флуктуаций ($T_{\text{ф}}$) от времени измерений при $U_{\text{п}} = 20 \text{ В}$.

Из рис.2 также видно, что с изменением потребляемой мощности СВЧ генераторов накачки средняя глубина флуктуаций также изменяется. При изменении $W_{\text{потр}}$ от 18 Вт до 26 Вт $\bar{\gamma}$ медленно растет и достигает 6%. Такая зависимость от $W_{\text{потр}}$ объясняется тем, что выходная мощность лазера имеет экстремальный вид и в связи с этим в зависимости от характера расположения рабочей точки принимает различные значения. В начальных и конечных участках мощностной характеристики она максимальна, а на среднем участке - минимальна, т.к. флуктуации мощности накачки на этом участке меньше передаются в мощность лазерного излучения.

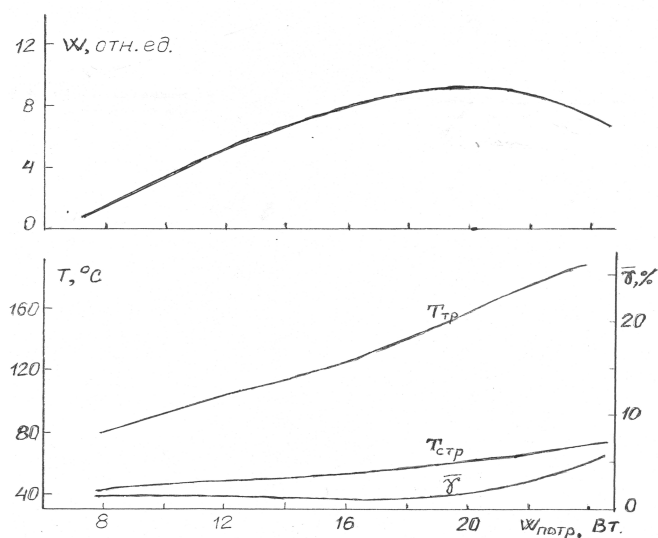


Рис. 2. Зависимость мощности лазера (W), температур трубки ($T_{\text{тр}}$) и стержня ($T_{\text{стр}}$), средней глубины флуктуаций ($\bar{\gamma}$) от потребляемой мощности СВЧ генераторов накачки ($W_{\text{потр}}$).

Для сравнения были проведены аналогичные измерения на той же трубке на разряде постоянного тока. Результаты обработки представлены на рис.3. Из рисунка видно, что зависимость мощности излучения от разрядного тока имеет экстремальный вид. Температуры трубки и стержня изменялись от 70°C и 30°C соответственно до 200°C и 60°C при изменении тока разряда от 4,5 до 20 мА.

В этом же диапазоне изменений разрядного тока средняя глубина флуктуаций изменялась от 8% до 20%. В интервале разрядного тока от 7 до 13,6 мА почти не менялась и равнялась примерно 13%.

Дополнительные измерения для лазера на РПТ ($J_p = 7,5$ мА поддерживалось постоянно в течение всего периода измерений) и ПСВЧР ($U_{п} = 26$ В) в течение 6 часов показали:

- а) лазер на ПСВЧР работал устойчиво и непрерывно;
- б) выходная мощность лазера после вхождения в стационарный режим при РПТ уменьшалась на 10%, выходная мощность при ПСВЧР уменьшалась на 3%. Уменьшение выходной мощности при РПТ объясняется, прежде всего, явлением катафореза, перераспределением плотности газа.

При сравнении температур стенок разрядной трубки для He-Ne лазера при ПСВЧР и РПТ обнаружено, что для лазера с ПСВЧР при одинаковых мощностях накачки трубка нагревается больше, чем для лазера на РПТ.

Это объясняется тем, что при ПСВЧР происходит дополнительный внешний разогрев за счет:

- а) нагревания медных полосок СВЧ током;
- б) диэлектрических потерь при прохождении СВЧ поля через стенку разрядной трубки (СВЧ разогрев разрядной трубки).

В результате исследований одночастотного He-Ne лазера с поперечным СВЧ возбуждением выявлено, что:

1. Мощность лазера первые 10 минут уменьшилась в среднем на 10-15%.
2. Лазер входил в стационарный режим через 10-15 минут после включения питания.
3. Максимальная глубина флуктуации после вхождения в стационарный режим на РПТ при $J_p = 7,5$ мА в течение 6 часов составила 10%.
4. Максимальная глубина флуктуации после вхождения в стационарный режим на ПСВЧР при $U = 26$ В в течение 6 часов составила 3%.

Из полученных результатов выявлены следующие причины нестабильности выходной мощности He-Ne лазера с ПСВЧР:

1. Изменение температуры разрядной трубки инварового стержня оптического резонатора.
2. Разюстировка оптического резонатора за счет неравномерного разогрева частей конструкции лазера.
3. Изменение режима работы СВЧ транзистора при тепловом нагревании.

Учитывая, вышеизложенные причины долговременной нестабильности одночастотного He-Ne лазера с ПСВЧР выяснили, что для устранения этих

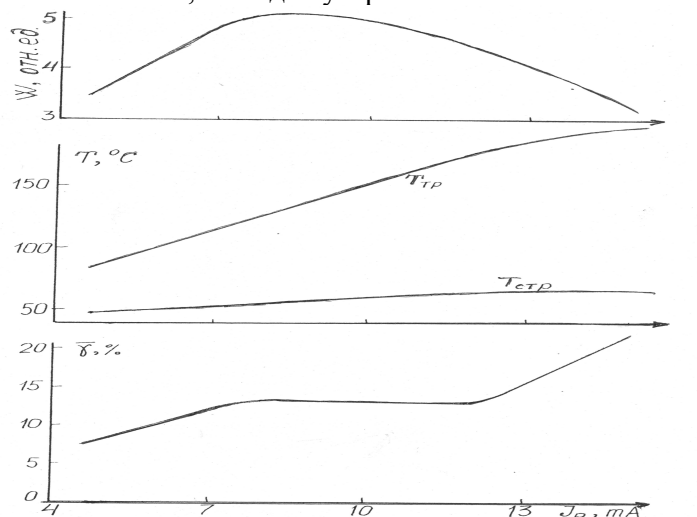


Рис. 3. Зависимость мощности лазера (W), температур трубки (T_{tr}) и стержня ($T_{стр}$), средней глубины флуктуаций ($\bar{\gamma}$) от тока разряда для разряда постоянного тока (РПТ).

нестабильностей необходимо:

1. Прогреть лазер перед работой в течение 10 - 20 минут.

2. Термостабилизировать систему.
3. Использовать оптимальный режим работы в диапазоне потребляемой мощности.
4. Стабилизировать СВЧ автогенератора накачки.

Исследования, проведенные на одночастотном He-Ne лазере с ПСВЧР, показали, что нестабильность мощности излучения (1-3%) обусловлена (кроме изменений добротности резонатора, присущих лазерам с разрядом постоянного тока) дополнительным источником флуктуаций, связанным с нестабильностью работы СВЧ автогенератора. В этих условиях целесообразна активная стабилизация мощности He-Ne лазера, при которой постоянство выходной мощности излучения поддерживается путем регулирования уровня СВЧ мощности, поглощаемой плазмой газового разряда, с помощью системы отрицательной обратной связи (ООС) [7].

Таким образом, экспериментально исследованы факторы, влияющие на стабильность мощности одночастотного He-Ne лазера с ПСВЧР при долговременной работе. Установлено, что флуктуации мощности одночастотного He-Ne лазера с ПСВЧР после входа на стабильный режим работы обусловлены, в основном, изменением длины резонатора и флуктуациями параметров СВЧ автогенераторов. Показано, что нестабильность мощности излучения лазера составляет при ПСВЧР 1 - 3%, при РПТ 1 - 10% за 1 час непрерывной работы.

Литература

1. Иманкулов З.И., Мириноятв М.М. Исследование одночастотного режима генерации в мощном He-Ne лазере с ПСВЧР// ЖПС -1997. -N 1. – с.116-118.
2. Лейкин А.Я., Самойлович А.И., Соловьев В.С. Газовый ОКГ непрерывного действия с повышенной стабильностью излучения// Измерительная техника. -1966. -N 9. -с.28-31.
3. Паршин А.В. Стабилизация мощности He-Ne лазера// ОМП. -1974. -N6.-с.67-68.
4. Конончук Т.Л., Баран В.М., Крехотин А.М. Стабилизация мощности He-Ne лазера// Квантовая электроника.-1980.-вып.19.-с.25-29.
5. Иманкулов З.И., Мартъянова И.М., Мириноятв М.М. Исследование нестабильности мощности излучения He-Ne лазера с поперечной СВЧ накачкой/ ТашГУ. -Ташкент,1984.-14с.-Деп.в УзНИИНТИ 1984, N207-Д84.
6. Иманкулов З.И., Мириноятв М.М. Шумы излучения одночастотного He- Ne лазера при совместной накачке двумя СВЧ-автогенераторами // Автометрия,№2,2000,с.1-5.
7. Иманкулов З.И., и др. Система стабилизации мощности излучения He-Ne лазера с поперечным СВЧ-разрядом //Приборы и техника эксперимента, №4, 1987,с.177-178.