

Экспериментальное исследование модуляционной характеристики излучения одночастотного He-Ne лазера с ПСВЧР

Известно, что для решения целого ряда прикладных задач с применением одночастотных He-Ne лазеров с поперечным СВЧ-разрядом (ПСВЧР) необходимо осуществлять модуляцию мощности излучения. Для модуляции выходного излучения He-Ne лазера на разряде постоянного тока (РПТ) необходимы большие напряжения (200-300 В), при напряжениях поддержания порядка десятка киловольт. Это ведет к значительному усложнению системы и ограничивает область их применения.

Интерес к внутреннему модулированию объясняется тем, что данный метод позволяет значительно уменьшить модулирующее напряжение и упростить схему. Обычно газовый лазер возбуждается РПТ или ПСВЧР. Любой из этих способов можно использовать для осуществления аналоговой амплитудной модуляции, суть которой в следующем: модуляция тока разряда (мощность СВЧ накачки) на частоте f_m вызывает соответствующую модуляцию концентрации электронов и, как следствие, модуляцию населенности различных уровней лазера. В результате излучение лазера оказывается промодулированным как по интенсивности, так и по частоте [1,3,4]. При таком способе модуляции отсутствует отдельный модулятор, поляризационные и другие элементы, что не только упрощает схему, но и позволяет получить большую интенсивность модулированного лазерного луча, так как при других способах модуляции имеет место значительное затухание излучения.

Опыт показал, что чисто синусоидальная модуляция наблюдается только в тех случаях, когда модулируется лишь небольшая часть мощности (примерно от 10 до 20 Вт при РПТ). Если же модулированная мощность выходит за указанные пределы, то вследствие нелинейной зависимости выходной мощности лазера от мощности накачки происходит ограничение модулируемых колебаний, либо сверху, либо снизу [2,3].

Необходимо обратить внимание на то, что все исследования проводились с лазерами на РПТ и в изученной литературе не сообщается о работах, посвященных изучению параметров плазмы одночастотного He-Ne лазера, возбуждаемого ПСВЧР модуляционным методом. Однако, в ряде систем лазерной связи [2], где предъявляются дополнительные требования к управлению пространственно-временными и энергетическими характеристиками, невозможно применение лазеров с РПТ из-за ограничения максимальной частоты модуляции (величиной порядка 500 Гц). Исследование поперечного СВЧ возбуждения атомов газа и разработка с использованием этого вида разряда лазеров с низковольтным напряжением питания, малыми габаритно-весовыми показателями и улучшенными характеристиками управления излучением (частота модуляции до 200 кГц), несомненно, в связи с этим, вызывают большой интерес и являются актуальными.

Исследования модуляционных характеристик одночастотного He-Ne лазера с ПСВЧР [6] проводились на экспериментальной установке, описанной в [4]. Низкочастотная модуляция СВЧ генератора осуществлялась путем подачи модулирующего сигнала от звукового генератора типа ГЗ-109 последовательно на базу транзистора. Принципиальная схема СВЧ автогенератора с модуляцией мощности представлена на рис.1.

Глубина модуляции СВЧ сигнала определялась при помощи ВЧ осциллографа типа С1-75 по известной формуле:

$$m_{СВЧ} = \frac{A_{\max} - A_{\min}}{A_{\max} + A_{\min}} \cdot 100\%$$

где A_{\max} , A_{\min} – соответственно максимальное и минимальное значения СВЧ напряжения в относительных единицах.

Коэффициент модуляции лазерного излучения $m_{ли}$ рассчитывался из снятых с экрана низкочастотного осциллографа импульсов с частотным заполнением: они получены по формуле

$$m_{CBЧ} = \frac{B_{\max} - B_{\min}}{A_{\max}} \cdot 100\%$$

где B_{\max} – высота всего импульса и B_{\min} – высота незаполненной части импульса относительно нулевого уровня. Обе отсчитывались на осциллографе. Для определения коэффициента нелинейных искажений формы модулированного (синусоидального) лазерного излучения (К) использовался анализатор спектра и нуль-индикатор. Сигнал, пропорциональный интенсивности модулированного лазерного излучения, с фотоприемника подавался на анализатор спектра и нуль-индикатор, с показаний, которые определялись величинами гармонических составляющих частот модуляции. Коэффициент нелинейных искажений синусоидально модулированного лазерного излучения вычислялся по формуле:

$$k = \frac{\left(\sum_{i=2}^{\infty} U_i^2 \right)^{1/2}}{U_1} \cdot 100\%$$

где U_1 и U_i - амплитуда электрического сигнала основной (первой) гармоники и i – той гармоники соответственно. Здесь отметим, что режим генераторов накачки подбирался таким образом, чтобы при модуляции одного из них режим другого не менялся. В начале эксперимента были сняты зависимости мощности лазера от мощности накачки.

Эта зависимость лазера имеет линейно-возрастающий характер и начинается с нуля. Это позволяет линейно модулировать излучение лазера до 100%. Зависимость (глубина) коэффициента модуляции лазерного излучения от частоты модулирующего синусоидального сигнала при различных уровнях порога (потерь) приведена на рис. 2. Из рисунка 2. видно, что эта зависимость имеет нелинейный характер. С увеличением частоты модуляции $m_{ли}$ в начале остается постоянной, а затем при достижении некоторой критической частоты (порядка 10 кГц) начинает уменьшаться, и при больших значениях частоты стремится к нулевому значению. Спад глубины модуляции лазерного излучения при больших частотах ($f_m > 10$ кГц) объясняется влиянием большого времени жизни атомов Ne (τ_{Ne}) на верхних рабочих уровнях [3,5], а также инерционностью газового разряда. Как показано в [3], величину τ_{Ne} можно определить на участке спада экспериментальной частотной зависимости по уровню 0,7 от ее максимального значения по формуле:

$$m(\omega) m_N(\omega) / m_N(0) = \left(1 + \omega^2 / \gamma_{эф}^2 \right)^{1/2}$$

где $m_N(\omega)$, $m_N(0)$ – глубина модуляции населенности верхнего лазерного уровня неона на частотах ω и 0 соответственно $\gamma_{эф} = 1/\tau_{Ne}$

Зависимость $m_{ли}$ от F_m получена для трех значений мощности накачки. Эти точки находятся в начале, в середине и в конце мощностной характеристики. Из рисунка.2 видно, что широкий диапазон глубины модуляции лазерного излучения соответствует мощности накачки, равной $W_H = 26$ Вт. Это значение находится на середине линейного участка мощностной характеристики. Динамический диапазон характеристики больше, поэтому модуляционная характеристика лазера получается более широкая по сравнению с W_{H1} и W_{H3}

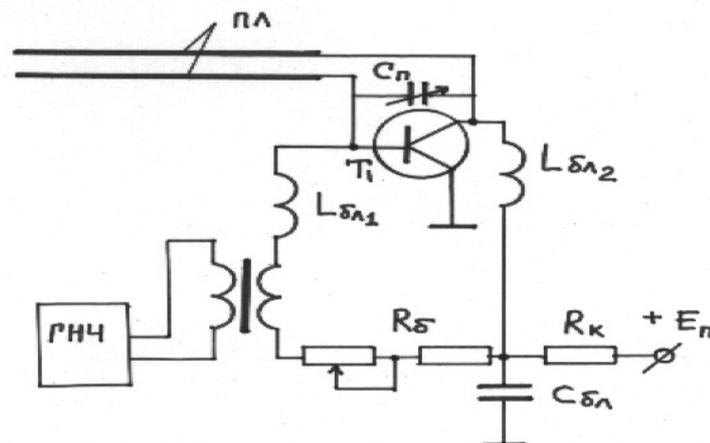


Рис.1. Принципиальная схема СВЧ автогенератора с модуляцией мощности. ГНЧ – генератор низкочастотный, ПЛ – полосковые электроды, $L_{\text{бл}}$, $C_{\text{бл}}$ – блокирующие индуктивности и емкости, $R_{\text{к}}$, $R_{\text{б}}$ – сопротивления коллектора и базы, T_1 – транзистор КТ-930, $E_{\text{п}}$ – источник питания постоянного тока, $C_{\text{п}}$ – подстроечный конденсатор.

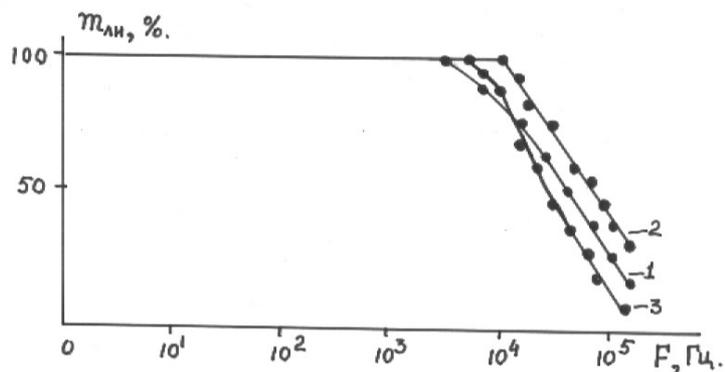


Рис.2. Зависимости глубины модуляции лазерного излучения от частоты модулирующего сигнала для различных значений мощности накачки $W_{\text{н}}$:

1-22 Вт; 2-26 Вт; 3-30 Вт; $P=7$ мм рт.ст., $\chi=10$, $U_{\text{м}}=4$ В.

Из зависимости $m_{\text{ли}}$ от F определено эффективное время жизни атомов Ne на верхнем рабочем уровне. Оно составляет $\tau_{\text{Ne}} = 0,05$ мсек. при $W_{\text{н}} = 26$ Вт.

На рисунках 3 а, б приведены зависимости глубины модуляции лазерного излучения от напряжения модулирующего сигнала $U_{\text{м}}$ для различных значений мощности накачки $W_{\text{н}}$ (а) и частоты модулирующего сигнала $F_{\text{м}}$ (б). Как видно из этих рисунков, глубина модуляции лазерного излучения зависит от величины модулирующего сигнала почти линейным образом до напряжения 5,0 В, в дальнейшем линейность нарушается.

На рис.4 а, б представлены зависимости коэффициента нелинейных искажений (K) от частоты ($F_{\text{м}}$) и амплитуды модулирующего сигнала ($U_{\text{м}}$). Из рисунков видно, с ростом частоты или амплитуды модулирующего сигнала коэффициент нелинейных искажений практически линейно возрастает. Это объясняется тем, что с ростом частоты или амплитуды модулирующего сигнала происходит все большее увеличение несоответствия между модуляцией мощности накачки и модуляцией концентрации электронов (модуляцией населенности различных уровней лазера), вследствие нелинейного и инерционного характера насыщения плазмы газового лазера.

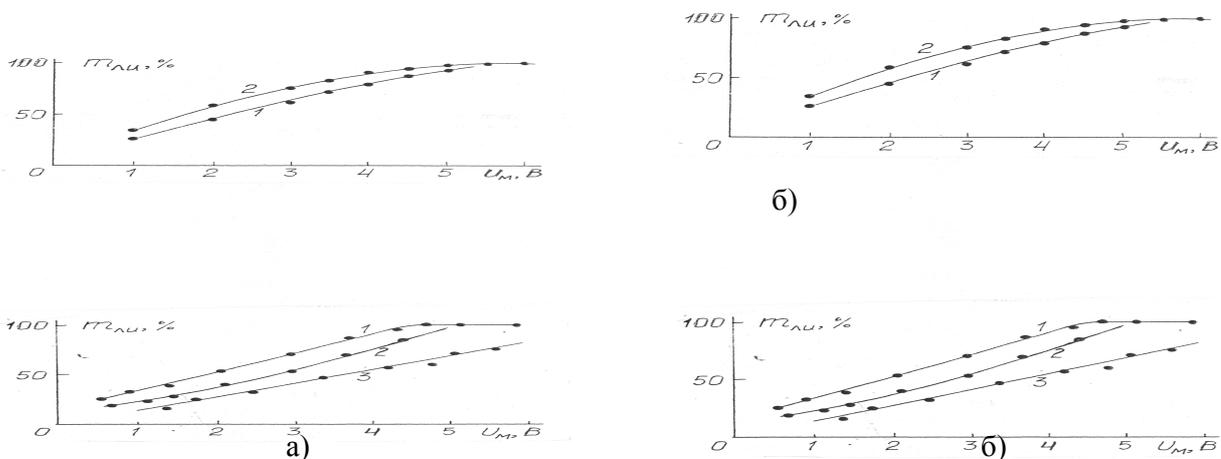


Рис.3. Зависимости глубины модуляции лазерного излучения от величины модулирующего сигнала при различных мощностях накачки (а) $W_{\text{н}}$, Вт: 1) 22; 2) 26. $F = 1$ КГц, $p = 7$ мм рт.ст.(0,93кПа), $\chi = 10$.

и частоты модулирующего сигнала $F_{\text{м}}$ (б) кГц: 1-0,5; 2-5,0; 3-20; $P=7$ мм РТ.ст., $\chi = 10$, $W_{\text{н}} = 26$ Вт.

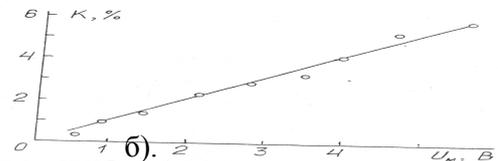
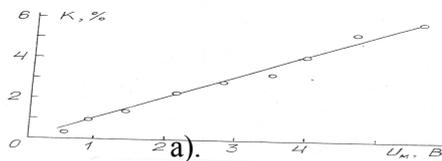
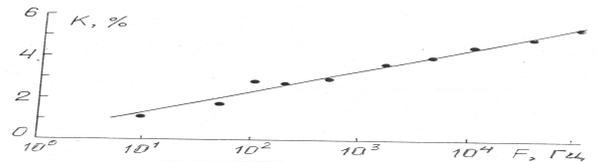
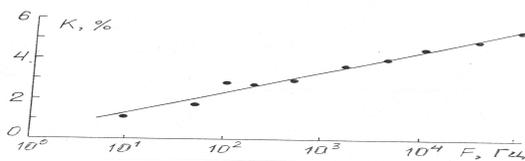


Рис.4. Зависимости коэффициента нелинейных искажений от частоты модулирующего сигнала F_m (а) $W_H = 26$ Вт, $p = 7$ мм рт.ст. (0,93 кПа), $\chi = 10$, $U_m = 3$ В. и от напряжения модулирующего сигнала U_m (б). $P = 7$ мм рт.ст., $\chi = 10$, $W_H = 26$ Вт., $F_m = 1$ кГц.

Это приводит к искажению формы сигнала и соответственно к увеличению коэффициента нелинейных искажений K . Проведенные эксперименты показывают, что модуляцию по питанию легче осуществить на лазере с ПСВЧР, чем на лазере с РПТ. Как видно из результатов работы [2], для 100% модуляции выходного излучения He-Ne лазера на РПТ необходимо модулирующее напряжение как минимум 300 Вт, (ГИ – 30 или ГМИ – 6), в то время, как показывают результаты опыта [4], для достижения этого предела достаточно всего 4-5,0 Вт модулирующего напряжения. При таком способе модуляции отсутствует отдельный модулятор, поляризатор и другие элементы. Кроме этого, используя эту методику, можно определить уровень технических флуктуаций и параметров плазмы лазера [3, 5].

Литература

1. Тучин В.В., Акчурин Г.Г. Модуляция интенсивности излучения He-Ne лазера возбуждениями тока разряда // Квантовая электроника. -1975. - т.2.-№6. -с.1253-1263.
2. Чернышев В.Н. Шереметьев А.Г., Кобзев В.В. Лазеры в системах связи. - М.:Связь, 1966. -319с.
3. Тучин В.В. Динамика газоразрядных лазеров. Саратов: Сарат. ун-т. 1985, -111с.
4. Азаматов З.Т., Иманкулов З.И., Миринойтов М.М., Усманов Т.Б. He-Ne лазер с ПСВЧР с управляемыми параметрами для оптоэлектроники // Оптическая техника. -1995. -№ 5 [Optical Engineering Bulletin. -1995. -№ 3(7). - p.20-21].
5. Акчурин Г.Г., Мельников Л.А., Тучин В.В. О модуляционном методе определения некоторых параметров газовых лазеров // ЖТФ. -1978. -т.48. - №2. -с.2547-2552.
6. Иманкулов З.И. Миринойтов М.М. Исследование одночастотного режима генерации в мощном He-Ne лазере с ПСВЧР. // ЖПС.-1997, т.64, №1, с.116.