УДК 621. 373. 826.

Иманкулов Закиржан Иманкулович
кандидат физико-математических наук, профессор,
Жалал-Абадский государственный университет
imankulovz@bk.ru

# ШУМОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗЛУЧЕНИЯ ОДНОЧАСТОТНОГО He - Ne ЛАЗЕРА ПРИ СОВМЕСТНОЙ НАКАЧКЕ ДВУМЯ СВЧ АВТОГЕНЕРАТОРАМИ

*Экспериментально показано, что синхронизация автогенераторов накачки устраняет радиотехнический шум, а также уменьшает ширину и амплитуду шума лазерного излучения He-Ne лазера на $\lambda$ = 0,63мкм. Область синхронизации автогенераторов зависит от взаимной ориентации полосковых линий системы накачки.*

*Ключевые слова: автогенератор, радиотехнический шум, системы накачки*

Imankulov Zakirzhan Imankulovich
Candidate of physical and mathematical sciences, professor,
Jalalabat state university

# RADIATION NOISE OF THE SINGLE-FREQUENCY HE-NE LASER AT THE JOINT PUMPING BY TWO ULTRA HIGH FREQUENCY AUTOGENERATORS

*It is shown experimental that synchronization of the auto generators of pumping eliminates the radio technical noise and also decreases the width and the amplitude of the laser radioactive noise of the He-Ne laser on $\lambda$ = 0,63 $\mu$m. The synchronization region is depended on the mutual orientation of the striped lines of pumping systems.*

*Keywords: oscillator, radio noise, pump systems*

При поперечной СВЧ накачке газовых лазеров успешно применяются автогенераторы, имеющие в качестве резонансного контура четвертьволновые полосковые линии, являющиеся одновременно электродами газового разряда [1,2]. На длинных трубках можно установить несколько таких автогенераторов, полосковые линии которых последовательно расположены оси трубки. Это один из способов, позволяющий создать улучшенную равномерность распределения тепловых источников и коэффициента усиления вдоль разрядной трубки, причем система накачки оказывается компактной и может быть расположена вместе с разрядной трубкой в одном корпусе. Ранее указывалось [2], что такие генераторы должны быть расстроены относительно друг - друга на несколько МГц. Такая система накачки обладает радиотехническим шумом, вызванным разностными частотами автогенераторов. Но, в процессе длительной работы или при изменении каких-либо параметров радиоэлементов такая расстройка может быть нарушена. Влияние изменения расстройки между автогенераторами может привести к различным режимам их работы, связанным с изменением взаимодействия между генераторами.

Большой научный и практический интерес представляет слабо освещенный в литературе вопрос о влиянии режима работы СВЧ автогенераторов на характеристики лазерного излучения. Нами исследованы различные режимы работы двух СВЧ автогенераторов и рассмотрены шумовые характеристики излучения одночастотного. He - Ne лазера в этих режимах.

В эксперименте в качестве активного элемента лазера использовалась разрядная трубка с внутренним диаметром 2,3 мм и длиной 960 мм с газовой смесью 9He : 1Ne при общем давлении 6,3 мм. рт. ст.[3,4]. СВЧ разряд поджигался двумя автогенераторами, колебательный контур которых включал себя четвертьволновые полосковые линии подсоединенные концами к базе и коллектору транзистора, и отрезок лазерной трубки, заключенный между этими полосками. Полоски накладывались по наружной поверхности разрядной трубки и ориентировались вдоль ее оси. Ширина медных полосок была 3 мм, общая длина линии одного СВЧ автогенератора 35 см, часть линии, прилегающая к трубке-28 см, толщина полосок 0,2 мм. Рассматривались две ориентации полосок: А - свободный конец одной полосковой линии соседствует с замкнутым концом другой, Б - свободными концами полоски обращены навстречу друг - другу. Расстояние между полосковыми линиями двух СВЧ генераторов накачки равнялось 7 мм. В качестве фотоприемника для регистрации лазерного излучения использовали ФЭУ-55 . Спектр колебаний СВЧ автогенераторов в области частот 100-110 МГц измерялся анализатором спектра С4-27. Синхронизированный режим работы двух СВЧ автогенераторов контролировался высокочастотным осциллографом С1-75. Низкочастотные шумы (0÷200 кГц) лазерного излучения измерялись анализатором С4-77. Он также использовался для наблюдения низкочастотного радиотехнического шума (0÷700 кГц).

Прежде всего, исследовали режимы работы каждого автогенератора в отдельности (второй генератор в это время был отключен). Было обнаружено, что автогенератор мог работать в двух качественно различных режимах: стабильном и нестабильном. В стабильном режиме спектр отдельного автогенератора состоял из ряда дискретных гармоник кратных основной гармонике (~110 МГц), и форма колебаний представляла собой сумму гармоник. С изменением напряжения питания $U_п$ от 5 до 30 В основная частота F автогенератора изменяется в пределах 107÷111 МГц, причем величина частоты проходит через максимум. При определенных значениях построечной емкости $C_п$ и напряжения питания от 30 до 6 В СВЧ автогенератор переходил в нестабильный режим работы, характеризующийся широкой полосой частот СВЧ диапазона (~2 МГц) вокруг основного колебания и его гармоник, и рядом низкочастотных биений ( рис.1 а,б). Форма колебаний СВЧ автогенератора в этом режиме соответствовала релаксационным. На рис.1 в. представлен спектр низкочастотных шумов лазерного излучения, обусловленный шумом автогенератора.

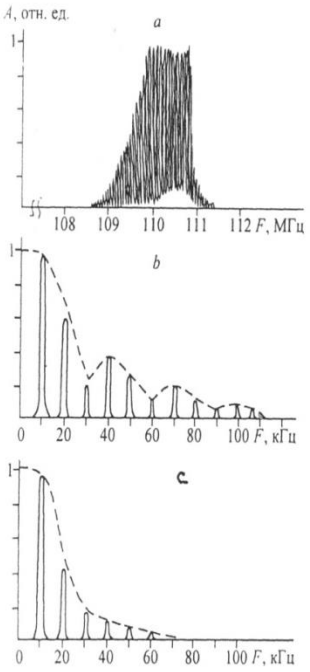

Рис.1. Влияние нестабильного режима работы СВЧ автогенератора на лазерное излучение

а) Высокочастотный спектр СВЧ генератора.

б) Низкочастотный спектр СВЧ генератора.

в) Спектр низкочастотных флуктуаций лазерного излучения

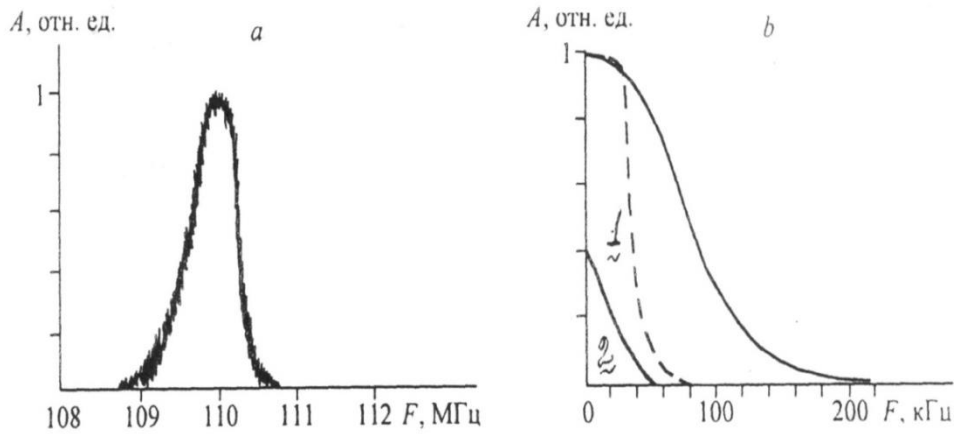


Рис.2. Спектр совместных колебаний СВЧ автогенераторов и шумов лазерного излучения. а) в области основного тона ~110 МГц.б) в низкочастотной области.

1. низкочастотный шум лазерного излучения при накачке автогенераторами в режиме частичного нестабильного захвата частоты.
2. при полной взаимной синхронизации частот автогенераторов накачки.

Эта характеристика была снята при накачке двумя СВЧ автогенераторами, разность частот которых была больше

2 МГц, причем один из них работал в стабильном режиме, а другой - в нестабильном.

Ширина низкочастотного спектра интенсивности лазерного излучения определяется, в общем случае, как полосой частот, способных модулировать концентрацию электронов, так и полосой низкочастотных флуктуаций лазерного излучения. Ширина спектра амплитудных хаотических флуктуаций интенсивности лазерного излучения может доходить до ~1МГц в зависимости от количества генерируемых мод, уровня превышения над порогом и коэффициента пропускания зеркал [5]. Теоретический расчет по определению ширину спектра колебаний концентрации электронов для пространственно однородного накачивающего ВЧ поля показали [6], что максимальная частота огибающей ВЧ поля накачки, которая беспрепятственно модулирует концентрацию электронов, порядка 43 кГц при температуре электронов 5 эВ. Это верхний предел на низкочастотные колебания лазерного излучения, обусловленные модуляцией концентрации электронов. В нашем случае ширина спектра лазерного излучения порядка 20 кГц, что и определяет пропускание низких частот в лазерное излучение.

Следующий этап исследований касался совместной работы автогенераторов. При накачке обоими СВЧ автогенераторами из-за их взаимодействия друг с другом за счет антенного эффекта возможны различные режимы их совместной работы. Наблюдали четыре качественно различных режима. Режим 1 - несвязанная генерация,

когда спектр совместной генерации СВЧ автогенераторов являлся аддитивной суммой спектров каждого отдельного автогенератора. Режим 2 - слабое взаимодействие автогенераторов, возникающее при расстройке их частот $\Delta\omega/\omega < 2 \times 10^{-3}$ , где ω -частота СВЧ поля накачки, Δω-частота расстройки СВЧ поля накачки . При дальнейшем сближении частот СВЧ автогенераторов взаимодействие их усиливается и наступает режим 3 - частичный нестабильный захват частоты СВЧ автогенераторов, характеризующийся низкочастотным спектром (рис. 2 а,б). Эти низкочастотные флуктуации СВЧ мощности (до 50 кГц) обусловили высокий уровень шумов мощности лазерного излучения (рис. 2.б, 1). В нашем случае частичный взаимный захват частот автогенераторов возникает, когда $\Delta\omega/\omega \approx 2 \times 10^{-4}$ - для такой ориентации полосок, когда свободный конец одной полоски соседствует с замкнутым концом другой (А), и $\Delta\omega/\omega \approx 4 \times 10^{-4}$ - когда полоски были обращены друг к другу (Б). Дальнейшее уменьшение разностной частоты приводит к режиму 4 - полной взаимной синхронизации (на частоте ~110 МГц). Этот режим наступает, начиная с $\Delta\omega/\omega \approx 1{,}7 \times 10^{-4}$ - для случая ориентации А, и $\Delta\omega/\omega \approx 3{,}4 \times 10^{-4}$ - для случая Б. Уровень соответствующих низкочастотных колебаний лазерного излучения гораздо ниже, чем в режиме 3 (рис. 2 б, 2).

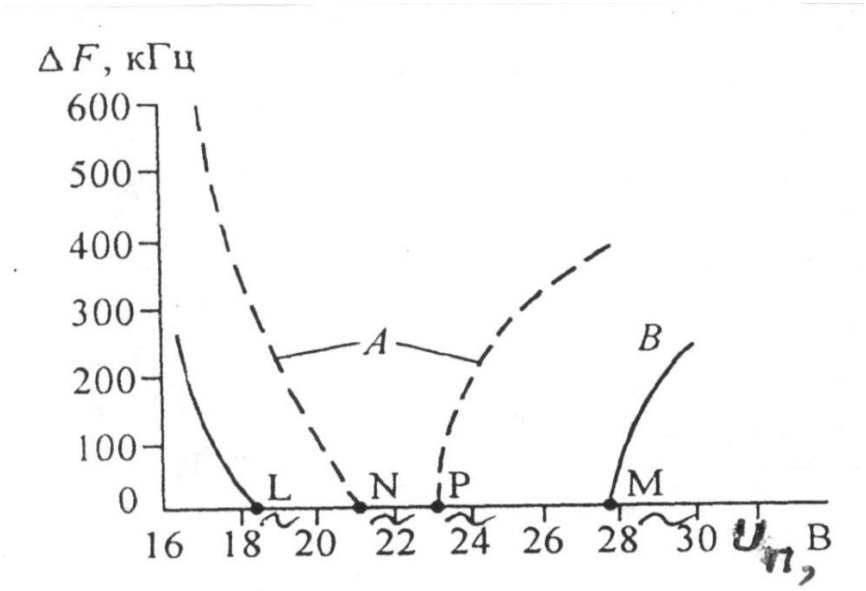


Рис.3. Зависимость разностной частоты ΔF двух генераторов накачки от напряжения их питания: для ориентации А, для ориентации Б.

На рис. 3 приведена область синхронизации в зависимости от напряжения питания СВЧ автогенераторов для двух ориентации полосок: NP- для ориентации А, LM - для ориентации Б. Ограниченность диапазона напряжении питания $U_п$ при которых возможен полный взаимный захват автогенераторов, является следствием зависимости их разностной частоты от $U_п$. Последнее в свою очередь обусловлено, во-первых, зависимостью $F(U_п)$, а во-вторых, не идентичностью радиоэлементов, использованных в автогенераторах, в результате чего $F(U_п)$ для каждого автогенератора имеет свой вид, сохраняя, тем не менее, общую качественную зависимость.

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

1. С изменением напряжения питания СВЧ автогенераторов накачки меняется не только интенсивность лазерного излучения (о чём было известно раньше), но и уровень его шума из-за нелинейного взаимодействия СВЧ автогенераторов друг с другом.
2. Использование синхронного режима работы СВЧ автогенераторов, накачивающих He -Ne лазер, позволяет устранить радиотехнический шум, а также уменьшит

низкочастотный шум лазерного излучения, обусловленный модуляцией плазмы в области частот до 40 Кгц.

3. Для увеличения и стабильности области синхронизации СВЧ автогенераторов необходимо ориентировать их полосковые линии свободными концами навстречу друг другу (режим Б).

**Литература:**


1. **Геллер, В.М.** Гриф Г. И., Хрусталев В. А. Использование газового СВЧ разряда в гелий-неоновых лазерах // [Текст] Автометрия. 1984. Т.1 С.35.
2. **Иманкулов, З.И.** Исследование одночастотного режима генерации в мощном He-Ne лазере с поперечным СВЧ разрядом. // [Текст] / Мириноятов М.М // Журн. Прикладной Спектроскопии, 1997. Т.64. № 1. С. 116.
4. **Иманкулов, З.И.** Малошумящий одночастотный He-Ne лазер со стабильной мощностью излучения на длине волны 1,52 мкм.// [Текст] / М.М.Мириноятов // Журнал прикладной спектроскопии, 2000, т.67, №1, стр.127-128.
5. **Тучин, В.В.** Флуктуации в газовых лазерах. [Текст] / Ч.1. - Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 1981. 62 с.
6. **Иманкулов, З.И**. Теоретический расчет ширины спектра колебаний концентрации электронов в He-Ne лазере при поперечном СВЧ разряде // [Текст] / Материалы 4-ой РНТК «Современные проблемы науки, техники и образования», 2005, Жалалабат, стр. 28-30.