

УДК 621.373.826

**З. И. Иманкулов, М. М. Миринойтов**

*(Ташкент, Узбекистан)*

**ШУМЫ 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  $\lambda = 0,63$  мкм. Область синхронизации автогенераторов зависит от взаимной ориентации полосковых линий системы накачки.

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 вдоль оси трубки. Это один из способов, позволяющий улучшить 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 мегагерц. Данная система накачки обладает радиотехническим шумом, вызванным разностными частотами автогенераторов. Однако 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 9Ne : 1Ne при общем давлении 840 Па [3]. СВЧ-разряд поджигался

двумя автогенераторами, колебательный контур которых включал в 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 равнялась 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: *A* – свободный конец одной полосковой линии соседствует с замкнутым концом другой, *B* – 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 использовался 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 исследовались режимы работы каждого автогенератора в отдельности (второй генератор в это время отключался). Было обнаружено, что автогенератор может 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  $U_n$  от 5 до 30 В основная частота  $F$  автогенератора изменялась в пределах 107–111 МГц, причем величина частоты проходила через максимум.

При определенных значениях подстроечной емкости  $C_n$  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, *a*, *b*). Форма колебаний СВЧ-автогенератора в этом режиме соответствовала релаксационным. На рис. 1, *c* представлен спектр низкочастотных шумов лазерного излучения, обусловленный шумом автогенератора. Эта характеристика была снята при накачке двумя СВЧ-автогенераторами, разность частот которых 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 достигать до ~1 МГц в зависимости от количества генерируемых мод, уровня превышения над порогом и коэффициента пропускания зеркал [4]. Теоретический расчет ширины спектра колебаний концентрации электронов для пространственно однородного накачивающего ВЧ-поля показал, что максимальная частота огибающей ВЧ-поля накачки, которая беспрепятственно модулирует концентрацию электронов, порядка 43 кГц при температуре электронов 5 эВ. Эта частота является верхним пределом на низкочастотные колебания лазерного излучения, обусловленные модуляцией концентрации электронов. В нашем случае

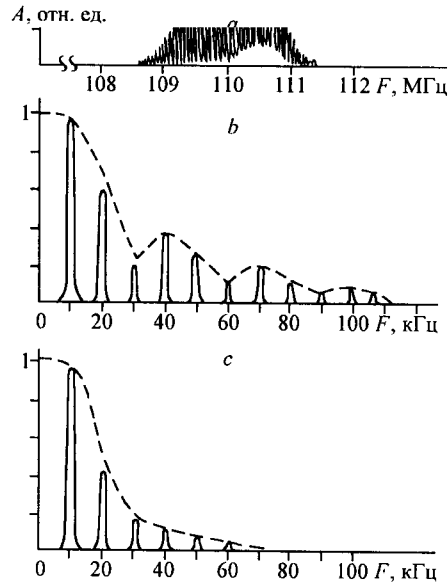


Рис. 1. Влияние нестабильного режима работы СВЧ-автогенератора на лазерное излучение: *a* – высокочастотный спектр СВЧ-генератора; *b* – низкочастотный спектр СВЧ-генератора; *c* – спектр низкочастотных флуктуаций лазерного излучения

ширина спектра лазерного излучения составляет порядка 20 кГц, что и определяет пропускание низких частот лазерного излучения.

Следующий этап исследований касался совместной работы автогенераторов. При накачке обоими СВЧ-автогенераторами вследствие их взаимодействия друг с другом за счет антенного эффекта возможны различные режимы их совместной работы. Наблюдалось четыре качественно различных режима. Режим 1 – несвязанная генерация, когда спектр совместной генерации СВЧ-автогенераторов является аддитивной суммой спектров каждого отдельного автогенератора. Режим 2 – слабое взаимодействие автогенераторов, возникающее при расстройке их частот  $\Delta\omega/\omega < 2 \cdot 10^{-3}$ , где  $\omega$  – частота СВЧ-поля накачки;  $\Delta\omega$  – 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, *a, b*). Эти низкочастотные флуктуации СВЧ-мощности (до 50 кГц) обусловили высокий уровень шумов мощности лазерного излучения (см. рис. 2, *b*, кривая 1). В нашем случае частичный взаимный захват частот автогенераторов возникает, если  $\Delta\omega/\omega \approx 2 \cdot 10^{-4}$  для такой ориентации полосок, когда свободный конец одной полоски соседствует с замкнутым концом другой (*A*), и  $\Delta\omega/\omega \approx 4 \cdot 10^{-4}$ , когда полоски обращены друг к другу (*B*). Дальнейшее умень-

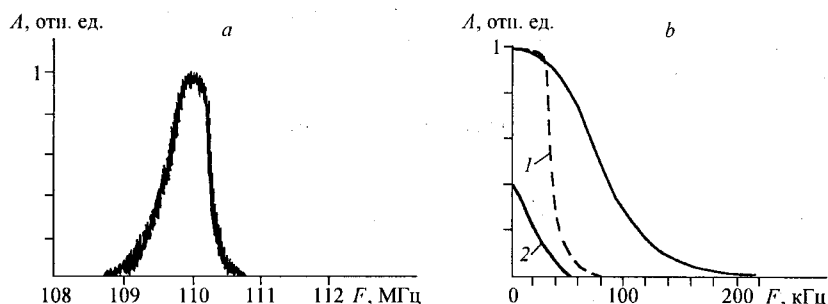


Рис. 2. Спектр совместных колебаний СВЧ-автогенераторов и шумов лазерного излучения: *a* – в области основного тона  $\sim 110$  МГц, *b* – в низкочастотной области: (кривая 1 – низкочастотный шум лазерного излучения при накачке автогенераторами в режиме частичного нестабильного захвата частоты, кривая 2 – при полной взаимной синхронизации частот автогенераторов накачки)

шение разностной частоты приводит к режиму 4 – полной взаимной синхронизации (на частоте  $\sim 110$  МГц). Этот режим наступает начиная с  $\Delta\omega/\omega \approx 1,7 \cdot 10^{-4}$  – для случая ориентации *A* и  $\Delta\omega/\omega \approx 3,4 \cdot 10^{-4}$  – для случая *B*. Уровень соответствующих низкочастотных колебаний лазерного излучения гораздо ниже, чем в режиме 3 (см. рис. 2, *b*, кривая 2).

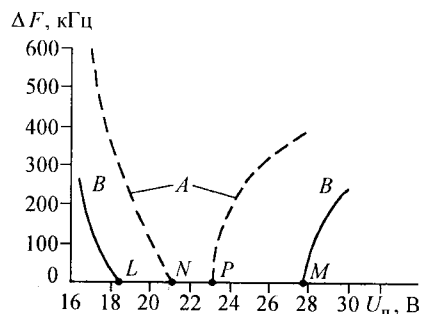
На рис. 3 приведена область синхронизации в зависимости от напряжения питания СВЧ-автогенераторов для двух ориентаций полосок: *NP* – для ориентации *A*, *LM* – для ориентации *B*. Ограниченность диапазона напряжений питания  $U_n$ , при которых возможен полный взаимный захват автогенераторов, является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

Таким образом, можно сделать следующие выводы.

С изменением напряжения питания СВЧ-автогенераторов накачки меняется не только интенсивность лазерного излучения (о чем было известно ранее), но и уровень его шума вследствие нелинейного взаимодействия СВЧ-автогенераторов друг с другом.

Использование синхронного режима работы СВЧ-автогенераторов, накачивающих He-Ne-лазер, позволяет устранить радиотехнический шум, а также уменьшить низкочастотный шум лазерного излучения, обусловленный модуляцией плазмы в области частот до 40 кГц.

Рис. 3. Зависимость разностной частоты  $\Delta F$  двух генераторов накачки от напряжения их питания: для ориентации *A* (штриховая кривая) и для ориентации *B* (сплошная кривая)



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

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геллер В. М., Гриф Г. И., Хрусталеv В. А. Использование газового СВЧ-разряда в гелий-неоновых лазерах // Автометрия. 1984. № 1. С. 35.
2. А. с. 702988 СССР. /В. Ф. Асеев и др. Заявл. 19.06.78; Опубл. 30.10.91, Бюл. № 40.
3. Иманкулов З. И., Мириноятв М. М. Исследование одночастотного режима генерации в мощном He-Ne-лазере с поперечным СВЧ-разрядом // Журн. прикл. спектроскопии. 1997. 64, № 1. С. 116.
4. Тучин В. В. Флуктуации в газовых лазерах. Ч. 1. Саратов: Изд-во Саратовского ун-та, 1981.

*Ташкентский государственный университет,  
E-mail: root@tsu.silk.org*

*Поступила в редакцию  
8 декабря 1998 г.*

---

---

**Реклама продукции в нашем журнале – залог Вашего успеха!**