

пульса, генерируемого от внешнего сигнала, которая была снята с помощью «Канала». Длительность каждого отдельного импульса $\Delta t \approx 1$ нс. При ширине интегрального спектра $\Delta \nu \approx 0,03$ Å соотношение $\Delta \nu \cdot \Delta t \approx 1,8$, что свидетельствует о высокой когерентности импульсов. Воспроизводимость такого режима генерации была 100%.

Когда модуляция добротности осуществлялась только пассивным фильтром и внешний сигнал не вводился, в 90% всплеск наблюдалось несколько импульсов на аксиальном периоде (см. рис. 4, б). В 10% всплеск генерировал один импульс на периоде с $\Delta t \approx 0,3$ нс и $\Delta \nu \cdot \Delta t \approx 4,5$.

Таким образом, осуществление «захвата» генерации кольцевого лазера коротким ($\Delta t_3 < L/c$) внешним сигналом открывает возможность экспериментального исследования влияния начальных условий на режим генерации сверхкоротких импульсов и получения в итоге воспроизводимых СКИ предельно малой длительности.

Авторы выражают благодарность Э. В. Яншину, К. В. Яншину за помощь в работе с «Каналом» и И. Ш. Штейнбергу за сделанные им расчеты.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. В. Анциферов, Н. М. Держи, В. С. Пивцов, В. Д. Угожаев, К. Г. Фоллин. Селекция и перестройка частоты рубинового лазера в режиме гигантского импульса.— Автометрия, 1972, № 5.
2. В. В. Анциферов, В. С. Пивцов, В. Д. Угожаев, К. Г. Фоллин. Беспичковая генерация рубинового ОКГ с селекцией и перестройкой частоты.— Оптика и спектроскопия, 1972, т. 32, с. 1159.

Поступило в редакцию 28 февраля 1974 г.

УДК 621.375.9 : 535

Ю. Г. ЗАХАРЕНКО, В. Е. ПРИВАЛОВ

(Ленинград)

ОБ УСТРАНЕНИИ КОЛЕБАНИЙ В РАЗРЯДЕ He—Ne ЛАЗЕРА

С каждым годом газовые лазеры находят все более широкое применение в метрологии. Основную их часть составляют He—Ne лазеры, так как они обладают максимальной монохроматичностью, наиболее стабильными по сравнению с другими лазерами параметрами, наибольшим сроком службы, наименьшими габаритами, потребляют незначительную мощность. Частота многих применяемых в измерительной технике He—Ne лазеров стабилизирована. Нестабильности резонатора и разряда порождают как амплитудную, так и частотную модуляцию излучения лазера, что ухудшает стабильность параметров излучения. В разряде He—Ne лазера следует различать три основные группы колебаний: реактивные, страты и локальные [1].

Реактивные колебания возникают на падающем участке вольт-амперной характеристики разряда. Область этих колебаний в He—Ne лазере может простираться до 20 мА и более. Осуществление ряда элементарных мер, о которых будет сказано ниже, позволяет ограничить эту область токами в несколько миллиампер. В начальной стадии [2] реактивные колебания носят гармонический характер. По мере уменьшения тока разряда спектр их обогащается и колебания начинают носить релаксационный характер. Когда глубина модуляции тока разряда достигает 100%, их называют колебаниями II рода. Амплитуда колебаний падает с ростом тока разряда, частота — растет (в начальной стадии — линейно). Диапазон частот сотни Гц — сотни кГц. Реактивные колебания заметно модулируют излучение лазера (до 100%) и, как правило, определяют порог генерации с $\lambda = 0,63$ мкм. При средних значениях тока 1—100 мкА эти колебания могут способствовать генерации [3].

Страты в He—Ne лазере возникают при больших токах и часто определяют максимум излучения. В области малых токов они перекрываются реактивными колебаниями. Страты в столбе имеют диапазон частот 10^3 — 10^6 Гц (нередко носят регулярный характер), страты в электродных отростках имеют частоту на порядок ниже (как правило, носят характер шума). Частота страт падает с ростом тока разряда. Страты в столбе слабо модулируют ток разряда и излучение лазера (0,1—1%), в момент их возникновения генерация с $\lambda = 0,63$ мкм может уменьшиться на 10—15% [1]. Страты в отростках имеют большую амплитуду; регулярные модулируют ток и генерацию до 20%; шумовые, незначительно модулируя ток, порождают переменную составляющую генерации

с $\lambda=0,63$ мкм (10—50%). Страты эффективно взаимодействуют друг с другом и другими колебаниями.

Локальные колебания (к. д. с. [1] и катодные) меньше влияют на излучение лазера, но могут взаимодействовать с колебаниями других типов. Влияние на генерацию при этом усиливается. Частота локальных колебаний растет с током разряда. Частота к. д. с. замедляет рост при больших токах (10^4 — 10^5 Гц). Частота катодных колебаний имеет другой знак кривизны зависимости от тока разряда. Катодные колебания с оксидным катодом (10^4 — 10^5 Гц) следует отличать от катодных колебаний с катодом из чистых металлов, имеющих частоту на порядок ниже. В разряде с холодным катодом эти катодные колебания не наблюдаются. Здесь существуют колебания, связанные с перемещением пятна эмиссии по катоду.

Существуют различные способы устранения реактивных колебаний:

1) сведение до минимума реактивности внешней цепи, в частности, подключение балластного сопротивления непосредственно в анод (изготовление анода из высокоомного материала);

2) помещение разрядного промежутка, когда это допустимо, в продольное магнитное поле (100—400 Э в зависимости от режима работы трубки, эффект подавления падает с ростом давления);

3) ВЧ-накачка и комбинированное питание;

4) уменьшение температуры катода (переход на холодный катод);

5) осуществление питания разряда от источника стабилизированного по току (10^{-5} — 10^{-6}) в полосе частот реактивных колебаний;

6) увеличение диаметра разрядного промежутка;

7) укорочение части разряда, не вносящей вклада в генерацию;

8) изготовление трубки из нескольких секций, иногда с несколькими электродами;

9) уменьшение размера (емкости) анода;

10) увеличение суммарного давления смеси;

11) шлифовка поверхности разрядного промежутка (уменьшается вторичная эмиссия электронов со стенок [4]);

12) добавление в малых количествах тяжелых инертных газов.

Существуют токи разряда, ниже которых устранение реактивных колебаний с помощью изменения внешних параметров L, C, R невозможно. Оптимальное сопротивление (при наименьшей паразитной емкости) зависит от конструкции трубки и лежит в пределах сотни кОм — несколько МОм. Увеличение балластного сопротивления выше оптимального приводит к росту тока, при котором начинаются реактивные колебания (рисунк). Оптимальное балластное сопротивление тем больше, чем меньше паразитная емкость.

С целью устранения страт можно использовать меры, перечисленные выше в пп. 3, 7, 8 (они являются общими для всех колебаний). Меры, указанные в пп. 1 и 5, наоборот, позволят выделить страты, устранив внешние шумы. Магнитное поле по-разному влияет на страты в зависимости от типа последних, их параметров и места приложения поля; могут возникнуть магнитные страты. Наличие емкости между электродами может способствовать усилению страт (обратная связь). Уменьшая давление, можно сместить страты к большим токам.

Локальные колебания можно устранять магнитным полем. А наиболее разумным средством борьбы с ними является соответствующий выбор конструкции трубки и режима работы электродов: минимальное число изгибов и сужений, пропускание разряда по возможности через балластный объем, устранение электродных отростков, использование холодного катода и т. д.

Нами исследовались стандартные He — Ne лазеры (ЛГ-56, ОКГ-13, ОКГ-16 [5]) и некоторые трубки, конструкция которых предусматривает уменьшение колебаний в разряде. В трубке ЛГ-56 оптимальным оказалось балластное сопротивление 320 кОм, при этом начальная стадия реактивных колебаний смещается к 1,1 мА. При таком же оптимальном сопротивлении в ОКГ-13 реактивные колебания возникают при 3 мА. В ОКГ-16 оптимальное балластное сопротивление равно 500 кОм, при 2,2 мА появляются реактивные колебания.

Дальнейшее устранение колебаний в разряде лазера должно быть предусмотрено конструкцией трубки и наполнением. Необходимо для выпускаемых промышленностью трубок He — Ne лазеров вводить определенные требования на уровень ко-

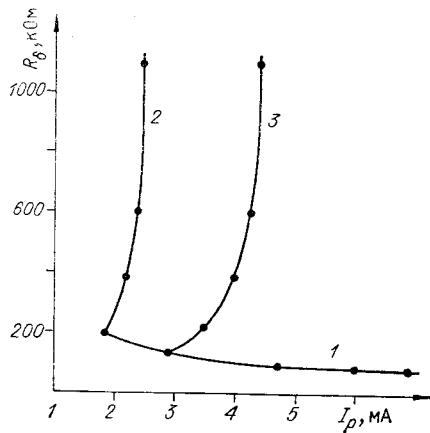


Диаграмма устойчивости разряда в He — Ne смеси:

1 — минимальный ток горения разряда (большему балластному сопротивлению соответствует меньший ток горения разряда); 2 — граничный ток реактивных колебаний (внешняя емкость 6 пФ); 3 — граничный ток реактивных колебаний (внешняя емкость 22 пФ). Данные приведены для трубки длиной 100 мм, диаметром 2,5 мм; давление смеси оптимальное.

лебаний в разряде и соответственно в излучении. Большой интерес с этой точки зрения представляет трубка из двух секций с общим катодом (два анода) [6]. Колебания здесь имеют меньшую амплитуду, чем в трубке с одним анодом при таких же общих длине и токах, так как длина каждого разряда вдвое меньше, чем всей трубки. Кроме того, падение напряжения на каждом таком разряде вдвое меньше, чем на соответствующей трубке с одним анодом, т. е. меньше крутизна падающего участка вольт-амперной характеристики, что тоже снижает амплитуду колебаний и смещает порог колебаний к меньшим токам.

Исследуя такую трубку с общим накаленным катодом (длина каждой секции 100 мм, диаметр 2,5 мм, давление смеси 2,2 тор, соотношение компонент смеси He—Ne=7:1), нашли при оптимальном балластном сопротивлении 160 кОм порог реактивных колебаний, равный 1,25 мА. Если балластные сопротивления не включены непосредственно в аноды, реактивные колебания наблюдаются до 8 мА. Обнаружен интересный способ ослабления модуляции мощности излучения стратами, рождающимися в капилляре активного элемента, которые появляются при 10—14 мА. Подбирая близкими амплитуды и частоты страт в обеих половинах трубки, можно получить уменьшение модуляции мощности излучения в 30—40 раз по сравнению с модуляцией в отдельной половине трубки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. Г. Захаренко, В. Е. Привалов. Колебания в разрядном промежутке He—Ne лазера и их влияние на параметры излучения.— *Оптика и спектроскопия*, 1973, т. 35, № 4.
2. Ю. Г. Захаренко, В. Е. Привалов. О начальной стадии реактивных колебаний в тлеющем разряде.— *ЖТФ*, 1972, т. 42, № 9.
3. Ю. Г. Захаренко, В. Е. Привалов. Влияние регулярных колебаний в разряде на мощность излучения He—Ne лазера.— *Оптика и спектроскопия*, 1970, т. 29, с. 236.
4. В. Е. Привалов, О. М. Скроботова, С. А. Фридрихов. О пространственном распределении потенциала при регулярных колебаниях на падающем участке вольт-амперной характеристики тлеющего разряда.— *Известия ВУЗов. Сер. физика*, 1973, № 1.
5. Е. Н. Покровский, В. А. Бурмакин, Л. М. Решетина. Применение газовых лазеров в геодезии. М., ЦНИИ «Электроника», 1972.
6. Е. П. Остапченко, Б. А. Тимофеев, Ю. М. Яковлев. К вопросу о модуляции излучения He—Ne ОКГ через источник возбуждения активного элемента.— *Радиотехника и электроника*, 1970, т. 15, 2350.

Поступило в редакцию 3 июля 1973 г.

УДК 772.99

**А. В. АВРОРИН, Ю. К. ВОЛКОВ, Е. А. КОПЫЛОВ,
В. В. КУЗНЕЦОВ, В. Н. ЛАЗАКОВ**

(Москва)

ЭКСПЕРИМЕНТЫ ЦИФРОВОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПО СВЧ-ГОЛОГРАММАМ

Большое практическое значение имеет применение ЭВМ для восстановления изображений в акустической и СВЧ-голографии. Цифровое восстановление имеет, в частности, то преимущество, что исключается ряд промежуточных этапов по обработке голограммы. Кроме того, на современном уровне развития вычислительной техники возможно создание специализированного процессора-вычислителя, способного восстанавливать изображение по голограмме практически в реальном масштабе времени, что позволяет считать применение цифровых методов в акустической и СВЧ-голографии весьма перспективным.

Цифровое восстановление в акустической и СВЧ-голографии основано на формуле дифракции Френеля [1]. Для вычислений по этой формуле был разработан алгоритм и составлена программа для ЭВМ типа БЭСМ-4. Программа состоит из следующих блоков: ввод и декодирование информации о голограмме, домножение исходного числового массива на фазовые множители, преобразование Фурье по строкам, транспонирование массива, преобразование Фурье по столбцам, вывод изображения на печать. Пре-