

РАДИОФИЗИКА

УДК 537.862:621.375.8

УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МОДУЛЯЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИНЖЕКЦИОННЫХ ЛАЗЕРОВ

А. С. Логгинов, И. П. Спирьков

(кафедра физики колебаний)

Практическое использование инжекционных лазеров в качестве источников модулированного оптического излучения [1] требует учета нестационарных процессов, протекающих в этих лазерах и ограничивающих их быстродействие. Наличие этих процессов может, в частности, привести к следующим искажениям сигнала при импульсной модуляции излучения инжекционных лазеров [2, 3]: задержка светового импульса относительно модулирующего импульса тока накачки; автомодуляционные явления (переходные осцилляции, незатухающие пульсации излучения и т. д.); зависимость светового отклика лазера от порядка следования импульсов тока при кодово-импульсной модуляции, проявляющаяся при высоких частотах следования модулирующих импульсов.

Описываемая ниже установка предназначена для определения основных рабочих характеристик и физических параметров инжекционных лазеров, важных для их практического применения. Она позволяет: 1) получить вагт-амперную характеристику (ВАХ) инжекционного лазера в импульсном режиме; 2) регистрировать форму светового отклика инжекционного лазера на сигнал тока накачки, определять наличие и характер задержек, осцилляций, нестабильности амплитуды и прочих искажений светового сигнала; 3) исследовать квазирезонансную характеристику инжекционного лазера при модуляции излучения гармоническим сигналом; 4) оценить время жизни носителей заряда в активной области инжекционного лазера τ_e .

Блок-схема установки представлена на рис. 1. Основными ее элементами являются генератор прямоугольно-

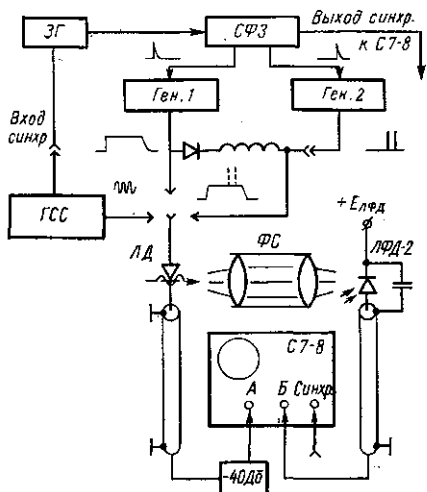
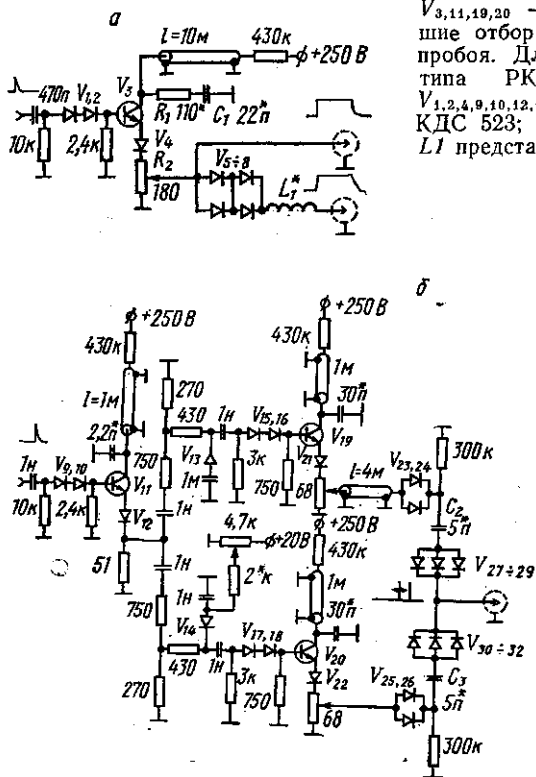


Рис. 1. Блок-схема установки для исследования модуляционных характеристик инжекционных лазеров: ЗГ — задающий генератор; СФЗ — схема формирования задержек; Ген. 1 — генератор прямоугольного импульса тока; Ген. 2 — генератор коротких импульсов; ГСС — генератор стандартных сигналов; ЛД — лазерный диод; ФС — фокусирующая система; ЛФД-2 — быстродействующий лавинный фотодиод; +Е_{лфд} — напряжение питания ЛФД-2; С7-8 — стробоскопический осциллограф; -40 ДБ — коаксиальный ослабитель

го импульса тока и генератор двух коротких импульсов тока, задающие ток накачки исследуемого лазера (Ген. 1 и Ген. 2 соответственно). В основе работы генераторов лежит использование режима ла-

винного пробоя транзисторов КТ 315 [4], который позволяет сформировать импульсы тока с длительностями фронтов $\tau_{фр} \ll 1$ нс, что принципиально важно для исследования модуляционных характеристик инжекционных лазеров.

Рис. 2. Генератор прямоугольного импульса тока (а) и генератор коротких импульсов (б). $V_{3,11,19,20}$ — транзисторы типа КТ 315, прошедшие отбор по параметрам импульса лавинного пробоя. Длина отрезков коаксиального кабеля типа РК 50-2-21 обозначена в метрах. $V_{1,2,4,9,10,12,15-18,21,22}$ — КД 509А; $V_5-8, 23-26$ — КДС 523; V_{27-32} — КД 514; $V_{13,14}$ — КД 524. L_1 представляет собой 25 витков провода с диаметром витка ~ 5 мм



Первый генератор (рис. 2, а) формирует прямоугольный импульс тока длительностью около 100 нс и амплитудой до 1 А при сопротивлении нагрузки 50 Ом. Формирование импульса происходит за счет разряда емкости отрезка коаксиального кабеля, включенного в цепь коллектора транзистора V_3 через сопротивление R_2 в момент лавинного пробоя транзистора. Коррекция фронта импульса осуществляется подбором элементов разрядной цепочки R_1 и C_1 .

Генератор коротких импульсов (рис. 2, б) формирует два импульса тока длительностью $1 \div 2$ нс каждый, причем опережение первым импульсом второго плавно регулируется в пределах $0 \div 20$ нс. Формирование коротких импульсов тока на 50-омной нагрузке генератора происходит в результате дифференцирования импульсов лавинного пробоя транзисторов V_{19} и V_{20} емкостями C_2 и C_3 . С помощью смесителя, состоящего из двух диодных сборок V_{5-8} и индуктивности L_1 , короткие импульсы могут быть наложены на прямоугольный импульс тока.

Запуск транзисторов $V_{3,11,19,20}$ осуществляется подачей положительных импульсов, стимулирующих лавинный пробой, в цепи базы этих транзисторов. Импульсы на запуск транзисторов V_3 и V_{11} поступают со схемы формирования задержек. Транзистор V_{11} является запускающим для транзисторов V_{19} и V_{20} . Симметричные цепи запуска транзисторов V_{19} и V_{20} содержат диоды V_{13} и V_{14} . Диод V_{14} работает в режиме накопления заряда. Изменяя величину протекающего через него постоянного тока, можно регулировать величину заряда, накопленного в области $p-n$ -перехода и, следовательно, время, необходимое для рассасывания этого заряда при подаче на диод запирающего импульса напряжения, каким для него является импульс запуска транзистора V_{20} . При этом момент запуска транзистора задерживается пропорционально величине накопленного заряда, что и обус-

ловливает опережение первым импульсом тока на выходе генератора второго на время $0 \div 20$ нс.

Подавая на инжекционный лазер только прямоугольный импульс тока, можно исследовать процесс включения лазерного диода. Подавая же прямоугольный импульс с наложенными на него короткими импульсами, можно имитировать различные режимы кодово-импульсной модуляции инжекционного лазера. При этом амплитуда прямоугольного импульса тока задает начальное смещение, т. е. рабочую точку на ВАХ лазера, а короткие импульсы играют роль передаваемого сигнала.

В установке предусмотрена возможность использования для модуляции тока накачки внешнего генератора стандартных сигналов (ГСС, см. рис. 1), работающего на частотах от радио- до СВЧ-диапазона. При работе с ГСС на инжекционный лазер подается гармонический сигнал, наложенный на прямоугольный импульс тока.

Задающий генератор и схема формирования задержек позволяют осуществить согласованную работу всех блоков установки и их совместную работу с внешними устройствами.

Все исследования модуляционных характеристик производятся с использованием стробоскопического осциллографа типа С7-8 или осциллографа аналогичного типа.

Получение ВАХ инжекционного лазера в импульсном режиме основано на использовании режима работы стробоскопического осциллографа «А(Б)». На инжекционный лазер подается прямоугольный импульс в виде ступени тока. Лазерный диод включен последовательно с входным сопротивлением входа «А» осциллографа, равным 50 Ом, в результате чего сигнал, пропорциональный току накачки, поступает на этот вход осциллографа. Сигнал тока, снимаемый с фотоприемника — лавинного фотодиода ЛФД-2 — и повторяющий по форме световой сигнал инжекционного лазера, подается на вход «Б» осциллографа. Для точного временного сопоставления этих сигналов задержки, вносимые передающими цепями, выравнены с точностью до 0,1 нс.

При работе осциллографа С7-8 в режиме «А и Б» на его экране наблюдаются сигналы тока накачки и светового отклика инжекционного лазера. С помощью ручной развертки выбирается нужный для наблюдения момент действия импульса тока накачки, например отстоящий от фронта импульса на $20 \div 30$ нс. Затем осциллограф переводится в режим работы «А(Б)», и при увеличении амплитуды импульса тока накачки от нулевой до величины $(2 \div 3)I_{пор}$ (значение порогового тока $I_{пор}$ определяется в ходе измерений) на экране осциллографа формируется ВАХ инжекционного лазера (рис. 3, а). (Дальнейшее увеличение амплитуды импульса тока может привести к деградации лазерного диода.) Таким образом можно оценить величину тока накачки $I_{пор}$, при достижении которой возникает лазерная генерация излучения, и линейность рабочего участка ВАХ.

При подаче на инжекционный лазер более сложного сигнала накачки можно получить ВАХ лазерного диода для различных характерных моментов действия этого сигнала, например для момента действия его максимального или минимального значения.

Исследование модуляционных характеристик инжекционного лазера при импульсной модуляции тока накачки проводится в режиме работы «А и Б» осциллографа С7-8. Наблюдая световой отклик инжекционного лазера на прямоугольный импульс тока накачки, имеющий длительность фронта $\tau_{фр} \ll 1$ нс (рис. 3, б), можно судить о таких

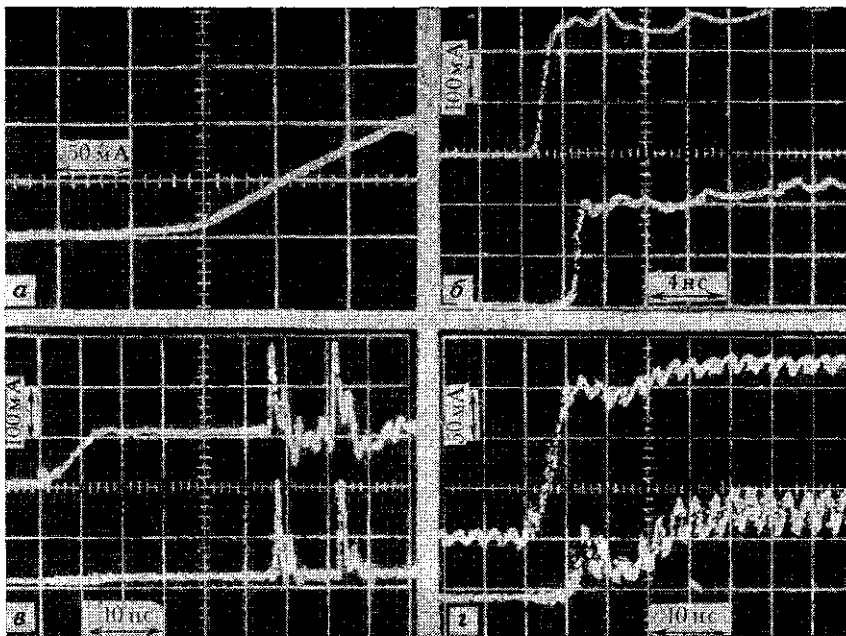


Рис. 3. ВАХ лазерного диода, снятая в точке, отстоящей на 40 нс от фронта ступени тока (а). Световой отклик инжекционного лазера (внизу) при подаче импульса тока накачки (вверху), имеющего вид (соответственно) прямоугольного импульса (б), двух коротких импульсов, наложенных на прямоугольный (в), и гармонического сигнала частотой 200 мГц, наложенного на прямоугольный импульс тока (г)

характеристиках лазерного диода, как величина абсолютной задержки t_d светового сигнала по отношению к моменту начала действия импульса тока накачки, наличие переходных осцилляций и пульсаций излучения — пикового режима генерации и т. д. Изменяя амплитуду импульса тока, можно исследовать ее влияние на характер этих явлений, ухудшающих рабочие характеристики инжекционных лазеров.

Зафиксировав для каждого измерения величины времени задержки t_d амплитуду импульса тока I_0 , можно оценить время жизни носителей заряда τ_e в активной области инжекционного лазера по формуле [2]

$$t_d = \tau_e \ln \frac{I_0}{I_0 - I_{пор}}$$

Величина τ_e является важной характеристикой инерционных свойств инжекционных лазеров.

При подаче на инжекционный лазер коротких импульсов тока, имитирующих сигналы кодово-импульсной последовательности (рис. 3, в), можно исследовать проблему оптимизации кодово-импульсной модуляции [3], оценив, как влияет на скорость неискаженной передачи информации выбор рабочей точки ВАХ инжекционного лазера и параметры коротких импульсов тока (амплитуда и интервал следования).

Как уже было отмечено, высокочастотная гармоническая модуляция излучения инжекционного лазера осуществляется внешним генератором ГСС (см. рис. 3, г). Особый интерес представляет при этом область частот гармонического сигнала, близкая к единицам ГГц, так

как здесь становится возможным наблюдение квазирезонансного характера светового отклика инжекционного лазера. При этом глубина модуляции оптического излучения оказывается зависящей от частоты гармонического сигнала ω при неизменных величинах постоянной составляющей тока накачки I_0 и глубины модуляции тока накачки лазера. На некоторой частоте ω_M , называемой квазирезонансной, глубина модуляции излучения достигает максимума. Анализ простейшей теоретической модели [5] дает следующее значение для частоты ω_M :

$$\omega_M^2 = \frac{n}{\tau_e \tau_\phi} (I_0 / I_{\text{пор}} - 1) - \frac{1}{2\tau_e^2} [n(I_0 / I_{\text{пор}} - 1) + 1]^2,$$

где τ_e , τ_ϕ — времена жизни электронов и фотонов соответственно, $\tau_\phi \approx 10^{-11} \div 10^{-12}$ с для инжекционных лазеров, $n = 1 \div 3$.

Квазирезонанс также можно получить, изменяя постоянную составляющую тока накачки I_0 при заданной частоте модуляции ω_0 . Тогда значение постоянной составляющей $I_{0 \text{ макс}}$, при котором достигается максимальная глубина модуляции излучения, приближенно выражается формулой

$$I_{0 \text{ макс}} = I_{\text{пор}} \left(1 + \frac{\tau_\phi \tau_e}{n} \omega_0^2 + \frac{\tau_\phi}{n \tau_e} \right).$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Кейси Х., Паниш М. Лазеры на гетероструктурах. Т. 2. М.: Мир, 1981.
 [2] Елисеев П. Г. Введение в физику инжекционных лазеров. М.: Наука, 1983.
 [3] Логгинов А. С., Семянистый А. В., Соловьев В. Е., Юльбердин Ю. Ф. Квант. электроника, 1978, 5, с. 2060. [4] Дьяконов В. П. Лавинные транзисторы и их применение в импульсных устройствах. М.: Сов. радио, 1973.
 [5] Adams M. J. Opto-Electronics, 1973, 5, N 2, p. 201.

Поступила в редакцию
01.10.84

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ, 1985, Т. 26, № 5

УДК 533.951

ВОЗБУЖДЕНИЕ СТРАТ В РАЗРЯДНОЙ ТРУБКЕ КОНИЧЕСКОЙ ФОРМЫ

Б. П. Александров, П. С. Ланда, Б. Н. Швилкин

(кафедра электроники)

1. Возбуждение ионизационно-диффузионных волн (страт) в положительном столбе газового разряда постоянного тока представляет собой крайне нежелательное явление. В качестве одного из способов подавления страт в работе [1] было предложено применение разрядных трубок нецилиндрической формы. При использовании конических разрядных трубок с небольшими углами раствора $\alpha \approx 0,03 - 0,07$ авторами работы [1] экспериментально обнаружено значительное сокращение области существования страт по току и давлению. В настоящей работе проведена попытка теоретического объяснения особенностей возбуждения страт в таких трубках для области больших токов. В этой области справедливо гидродинамическое описание страт, причем в случае цилиндрической трубки теория хорошо согласуется с экспериментом [2, 3].

2. Рассмотрим положительный столб разряда в трубке с медленно меняющимся вдоль оси радиусом $R(x)$. Ось x направим от катода