

ПРАВИТЕЛЬСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики»

Московский институт электроники и математики
Национального исследовательского университета
«Высшая школа экономики»

Кафедра кибернетики

ИЗМЕРЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ГЕЛИЙ-НЕОНОВОГО КОЛЬЦЕВОГО ЛАЗЕРА

Учебно-методическое пособие
к лабораторной работе
по дисциплине «Системы управления, ориентации и навигации»
(магистерская программа «Системы управления и информации
в инженерии»)

Москва 2014

Составители: Бессонов Алексей Станиславович, Колбас Юрий Юрьевич,
Соловьева Татьяна Ивановна

УДК 629.13.054.6.001.12.001

Измерение характеристик кольцевого гелий-неонового лазера. Учебно-методическое пособие к лабораторной работе по дисциплине «Системы управления, ориентации и навигации» (магистерская программа «Системы управления и информации в инженерии») / Моск. ин-т электроники и математики Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики»; Сост.: А.С. Бессонов, Ю.Ю. Колбас, Т.И. Соловьева. М., 2014. – 21 с.

Содержит теоретические сведения, необходимые для выполнения лабораторной работы «Измерение параметров гелий-неонового кольцевого лазера», а также описание порядка выполнения работы и требования к оформлению отчета. Предназначены для магистрантов, изучающих дисциплину «Системы управления, ориентации и навигации» (по направлению обучения 231300.68 «Прикладная математика» – магистерская программа «Системы управления и информации в инженерии»).

ISBN 978-5-94506-311-2

Данная работа выполнена в рамках гранта Минобрнауки Российской Федерации (Госконтракт №8037).

Оглавление

Введение.....	4
1. Теоретическая часть.....	5
1.1. Гелий-неоновые лазеры	4
1.2. Тлеющий разряд.....	6
1.3. Кольцевой лазер.....	8
2. Структурная схема лабораторной установки.....	12
3. Подготовка к работе.....	13
4. Порядок выполнения работы.....	13
5. Контрольные вопросы.....	20
Литература.....	20

Введение

Особенностью современных инновационных процессов является расширение использования информационных технологий во всех областях науки и техники. Это касается и систем навигации и управления движущимися средствами. Постоянно растущая интенсивность транспортных потоков на улицах городов, в воздушном пространстве и акваториях портов обуславливает непрерывное повышение требований к точности определения навигационных параметров. Особые задачи стоят перед автономными системами управления и навигации, которые должны обеспечить информацию о местоположении объекта и автоматическое управление им по всей траектории его движения.

Самыми современными являются бесплатформенные инерциальные системы, использующие в качестве датчиков информации об угле поворота и угловой скорости кольцевые лазеры, которые в отличие от традиционных механических гироскопов, применяемых в платформенных системах с карданным подвесом, не имеют никаких движущихся механических частей и жестко закрепляются на борту движущегося объекта. Это обусловило принципиальную возможность создания бесплатформенных систем, а также дало им целый ряд преимуществ: повышенную надежность, нечувствительность к вибрациям и ударам, широкий диапазон измеряемых угловых скоростей. Сигналы датчиков в такой системе поступают на вход бортового компьютера, который решает задачу ориентации аналитически, как бы заменяя собой карданов подвес.

Важной задачей бортового вычислителя бесплатформенной системы является коррекция погрешностей гироскопов, которая осуществляется алгоритмически с использованием констант коррекции, определяемых в технологическом процессе изготовления кольцевых лазеров при измерении его основных характеристик.

Целью лабораторной работы является изучение устройства и принципа работы гелий-неонового кольцевого лазера и измерение его основных характеристик.

1. Теоретическая часть

1.1. Гелий-неоновые лазеры

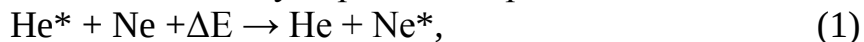
Газовыми называются лазеры, рабочей средой которых служит газ. В этих лазерах концентрация активных центров (атомов, ионов, молекул) небольшая, чем объясняется их низкое усиление, требующее для достижения порога генерации значительных длин активной области и качественных диэлектрических зеркал.

Вместе с тем в газовых средах наблюдается наибольшая оптическая однородность и минимальная ширина спектральных линий порядка 1,5 ГГц. Спектральная узость линии усиления облегчает получение одночастотной генерации, что обуславливает приоритет газовых лазеров в высокоточной метрологии. Высокая однородность позволяет достичь дифракционного предела расходимости (типичное значение ~ 1 мрад), поэтому газовые лазеры используют в высоконаправленных системах. Другим их преимуществом является широта оптического диапазона, в котором может быть получена генерация.

Гелий-неоновый лазер – это непрерывный лазер, активной средой которого является смесь инертных газов гелия и неона с соотношением от 5:1 до 10:1 при давлении порядка 10^2 Па. Он имеет рабочую длину волны 0,6328 мкм, расположенную в красной части видимого спектра, и электрическую накачку. Область применения широкая: спектроскопия, голография, считывание штрих-кодов, лазерная гироскопия и др.

Рабочим лазерным веществом является неон. Гелий используется для избирательного заселения верхнего рабочего уровня неона. Атомы гелия возбуждаются при столкновениях с разогнанными в электрическом поле электронами. Передача энергии от возбужденных атомов гелия к атомам неона осуществляется при столкновениях между ними. Упрощенная схема энергетических уровней гелия и неона приведена на рис. 1.1. На рисунке изображены три основных лазерных перехода с длинами волн 0,6328 мкм (красное излучение), а также 1,15 и 3,39 мкм (невидимое инфракрасное излучение). Конкретный переход, на котором будет осуществляться генерация, определяется длиной волны, при которой коэффициент отражения многослойного диэлектрического зеркала достигает максимума.

Известно, что наиболее эффективно передача энергии от атома к атому происходит в резонансном случае, то есть когда энергии уровней, между которыми происходит переход, близки. Поэтому передача энергии



оказывается очень эффективной, поскольку ΔE составляет всего около 0,04 эВ, которые берутся из кинетической энергии движения атомов (см. рис. 1.1). Символ * показывает здесь возбужденное состояние атома.

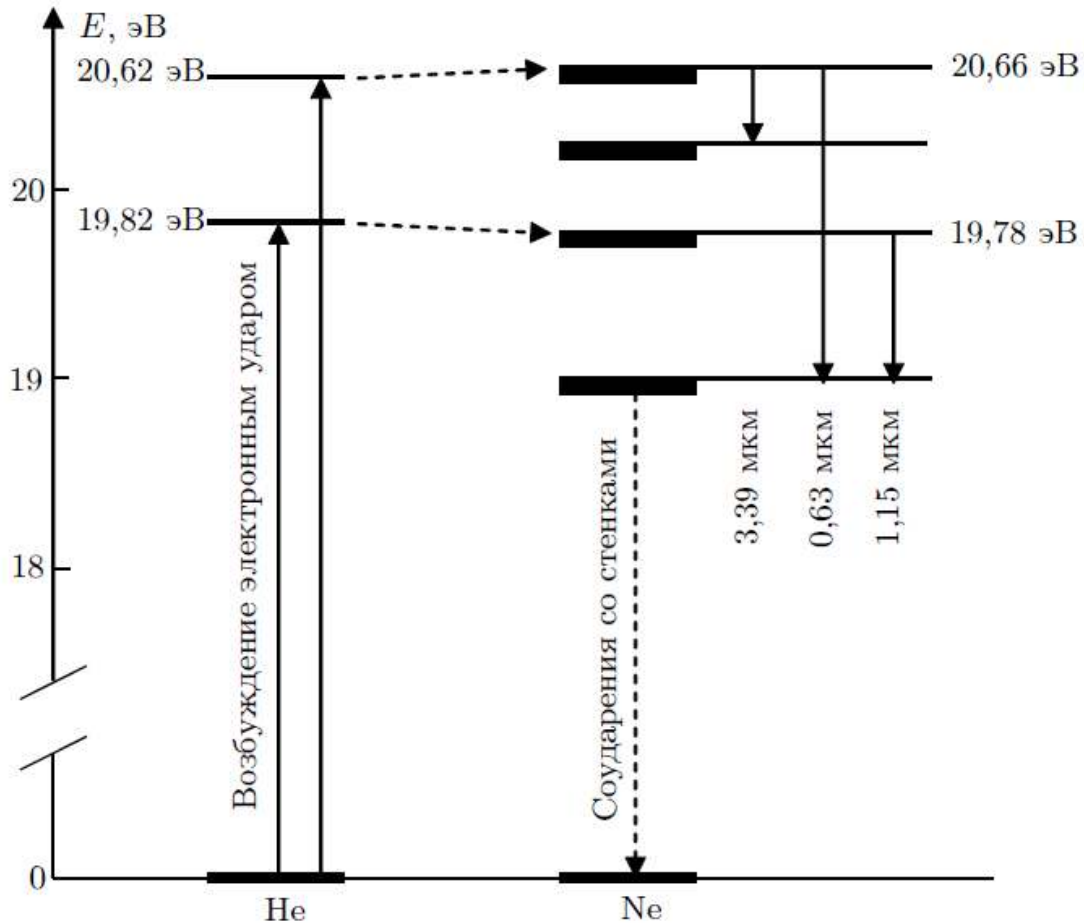


Рис. 1.1. Упрощенная схема энергетических уровней гелий-неонового лазера

Конструктивно линейный гелий-неоновый лазер изготавливают в форме стеклянной трубки с кольцеобразным анодом и большим катодом (рис. 1.2). На большей части длины трубки разряд заключен в капилляр, окруженный газовой смесью из гелия и неона. Если требуется поляризованное излучение, то вовнутрь трубки устанавливается пластинка под углом Брюстера. Зеркала резонатора непосредственно впаяны в концы трубки [1]. Одно из них полностью непрозрачно, а второе пропускает через себя около 1 % падающего излучения на выходной стороне устройства. Размер резонатора L составляет 0,15...2 м, выходная мощность – 1...100 мВт.

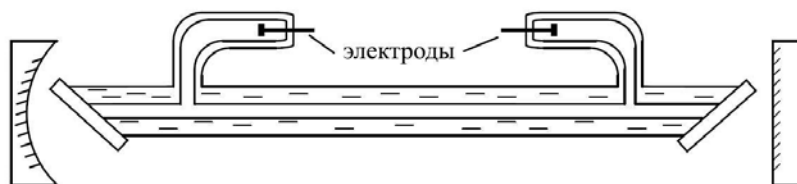


Рис. 1.2. Устройство линейного гелий-неонового лазера

1.2. Тлеющий разряд

В работающих газовых лазерах поддерживается *тлеющий разряд* [2]. Это один из видов стационарного самостоятельного электрического разряда в газах, который формируется, как правило, при низком давлении газа и малом токе.

Тлеющий разряд существует при напряжении между электродами не ниже определенного значения. Если напряжение недостаточно, то ионы, ударяя в катод, не выбивают из него электронов. Несамостоятельный темный разряд переходит в самостоятельный тлеющий при *напряжении возникновения тлеющего разряда* U_B , или *напряжении зажигания*. Последнее название наиболее распространено в инженерной практике. Напряжение возникновения разряда U_B зависит от рода газа, его давления, материала электродов и расстояния между ними.

Схема для снятия вольт-амперной характеристики газового лазера показана на рис. 1.3, а сама вольт-амперная характеристика, которая представляет собой зависимость напряжения горения $U_{гор}$ от тока накачки I_H , показана на рис. 1.4. По горизонтальной оси отложен ток, а по вертикальной – напряжение.

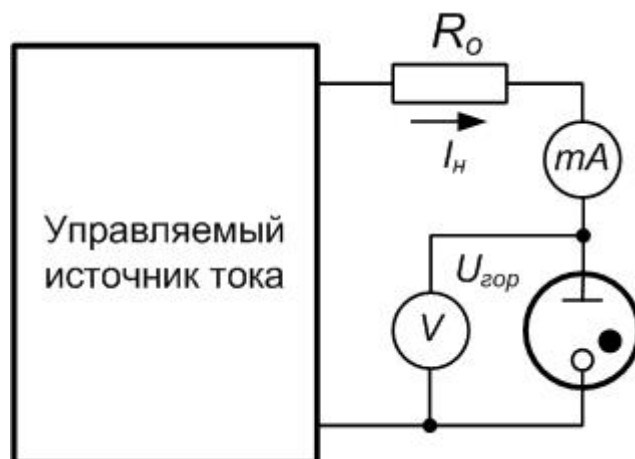


Рис. 1.3. Схема для снятия вольт-амперной характеристики газового лазера

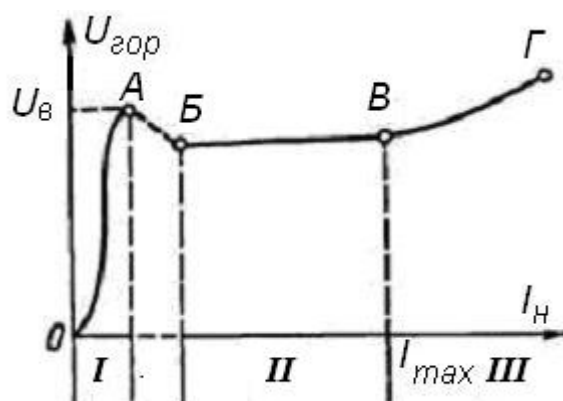


Рис. 1.4. Вольт-амперная характеристика газового лазера

При увеличении напряжения от нуля возникает очень слабый ток. Это область темного разряда *I*. Темновой ток очень мал (порядка мкА), и масштаб для него иной, нежели для остального графика. Этот ток происходит без ионизации, только за счет свободных носителей.

Энергия электронов с ростом тока возрастает, и ее, наконец, становится достаточно для ионизации атомов газа. Точка A – это точка возникновения тлеющего разряда (точка зажигания). Ей соответствует напряжение U_B .

Благодаря ионизации возникают вторичные электроны и положительные ионы. Минимальный ток, при котором возможен тлеющий разряд, гораздо больше тока темного разряда. Напряжение $U_{гор}$ скачком понижается на несколько вольт или даже больше, что объясняется повышением проводимости прибора.

После возникновения тлеющего разряда напряжения $U_{гор}$ стабилизируется. Ток I_n повышается, а напряжение на приборе увеличивается незначительно, пока ток не превысит значения I_{max} (точка B). Этот режим называется *режимом нормального катодного падения* (область II). Падение напряжения на приборе

$$U_{гор} = I_n \cdot R_n,$$

где R_n – сопротивление ионизированного газа между анодом и рабочей частью поверхности катода. При возрастании тока накачки пропорционально увеличится рабочая площадь катода. Площадь поперечного сечения газового «проводника» становится больше, и сопротивление R_n соответственно уменьшается. Таким образом, сопротивление R_n уменьшается во столько раз, во сколько увеличивается ток I_n , а произведение $I_n R_n$ остается почти постоянным, но в действительности оно все же немного увеличивается.

В описываемом режиме происходит генерация фотонов. Зачастую столкновение электронов высоких энергий с атомами газа приводит не к ионизации, а к их возбуждению, то есть к переходу электронов на более высокие энергетические уровни (рис. 1.1). Столкновение возбужденных атомов гелия с атомами неона приводит к возбуждению последних (см. уравнение (1)), последующий возврат электронов неона на более низкие уровни и сопровождается генерацией фотонов.

Режим нормального катодного падения возможен до тех пор, пока рабочая площадь катода меньше площади его полной поверхности (область II). Когда разряд распространится на всю поверхность катода, то возрастание тока происходит при неизменной площади катода. Плотность тока катода растет (участок В-Г). Сопротивление R_n уже не уменьшается пропорционально току, и произведение $I_n R_n$, то есть падение напряжения на приборе, увеличивается. Наступает *режим аномального катодного падения* (см. область III на рис. 1.4).

Если продолжать увеличивать ток, то напряжение $U_{гор}$ будет расти, и, наконец, возникнет *дуговой разряд*, который недопустим для приборов тлеющего разряда.

1.3. Кольцевой лазер

Кольцевой лазер (КЛ) отличается от обычного линейного лазера тем, что в его резонаторе происходит генерация двух волн, распространяющихся по замкнутому контуру, образованному тремя, четырьмя (рис. 1.5) или большим количеством зеркал, в противоположных направлениях. При этом генерируемые встречные волны в первом приближении независимы друг от друга и в общем

случае в резонаторе не существует стоячая волна, привязанная узлами к зеркалам [3]. Поэтому кольцевой лазер называют иногда лазером бегущей волны.

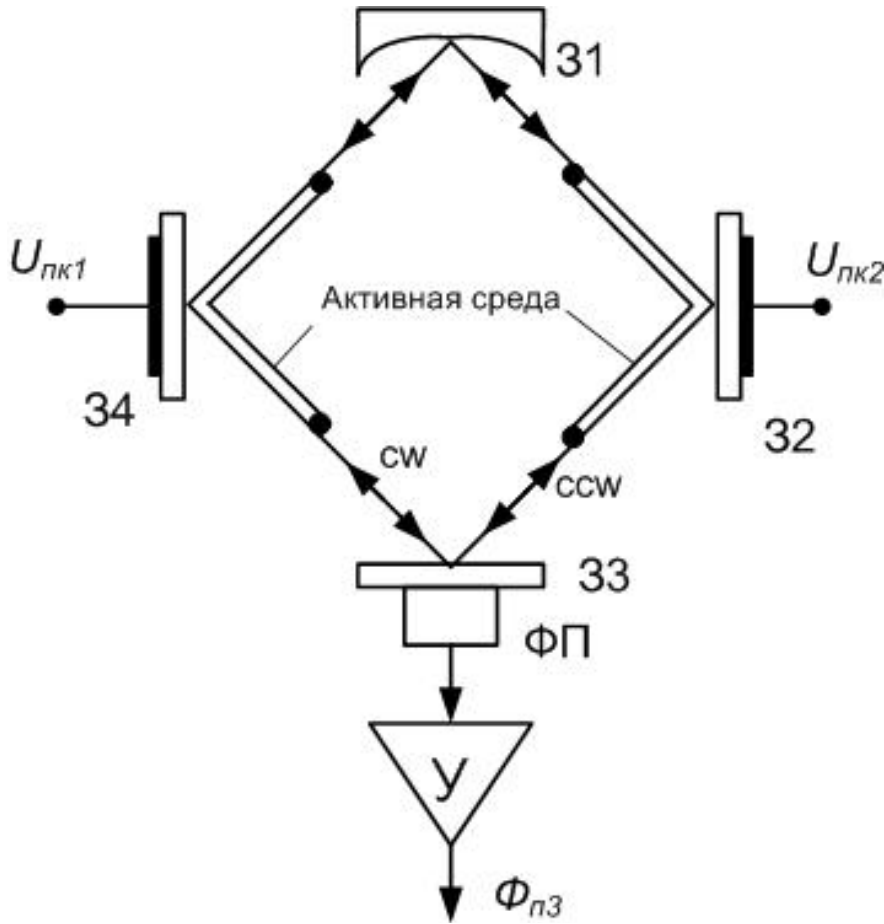


Рис. 1.5. Схема кольцевого лазера с четырьмя зеркалами 31...34

Взаимная независимость встречных волн предполагает и возможность их различия по частоте. В кольцевом лазере с периметром L условие генерации для встречных волн можно записать в виде:

$$\nu_q^{cw} = q \frac{c}{L_{cw}}; \nu_q^{ccw} = q \frac{c}{L_{ccw}} \quad (2)$$

где q - число, характеризующее продольный тип колебаний ($q \approx 10^5 \div 10^6$), ν_{cw} - частота колебаний с периметром L_{cw} при распространении волны по часовой стрелке, ν_{ccw} - частота колебаний с периметром L_{ccw} при распространении волны против часовой стрелки. Поскольку разность частот встречных волн зависит от угловой скорости вращения кольцевого лазера, на его основе строятся лазерные гироскопы [3].

В лазерном резонаторе с плоским контуром генерируются колебания с линейной поляризацией. Спектр частот его продольной моды 00 представлен на рис. 1.6а, и в соответствии с выражением (1) расстояние между соседними модами составляет c/L .

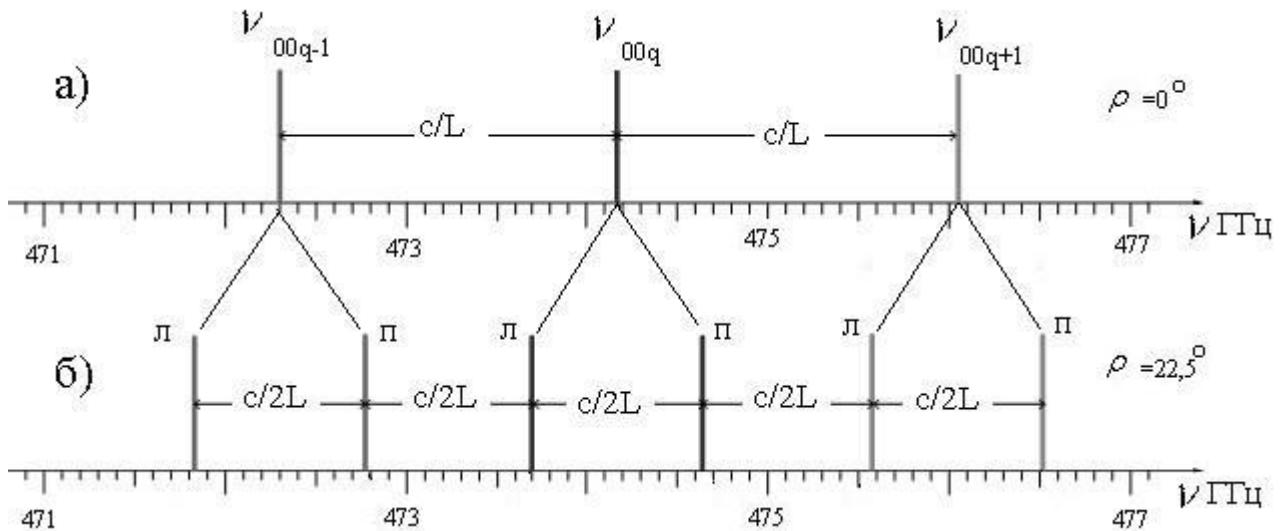


Рис. 1.6. Спектры частот резонаторов:

- а) – с плоским контуром;
- б) – с неплоским (объемным) контуром с углом ρ поворота изображения световой волны

В лазерных резонаторах с неплоским (объемным) контуром (рис. 1.7) возникают световые колебания с круговой поляризацией. Говоря точнее, обобщенной собственной модой резонатора с неплоским контуром являются четыре волны, причем две из них распространяются вдоль контура резонатора по часовой стрелке (CW), а две других – против часовой стрелки (CCW) [4]. Волны каждой из этих пар имеют разные круговые поляризации – левую и правую - и соответственно разные частоты, что называется взаимным расщеплением.

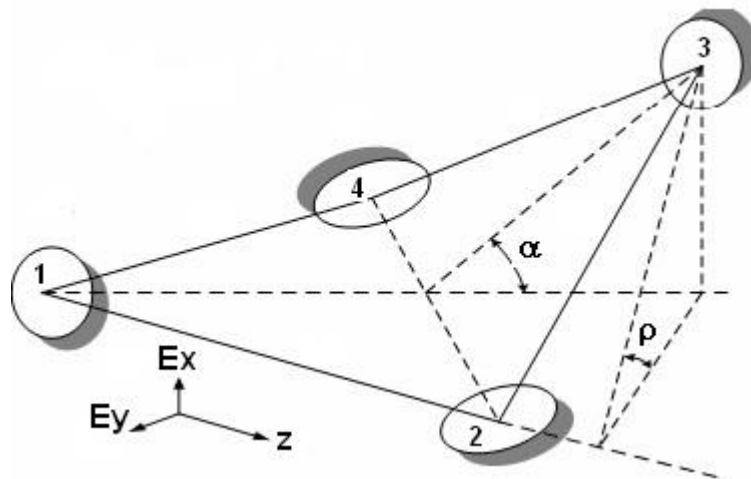


Рис. 1.7. Схема кольцевого резонатора с неплоским контуром:

- α – угол излома контура;
- ρ – угол поворота зеркалом изображения светового луча

Внешний вид лазера с неплоским контуром представлен на рис.1.8.



Рис. 1.8. Кольцевой лазер с неплоским контуром

Для резонаторов с идеальными зеркалами частоты встречных волн попарно совпадают, в результате чего каждая пара встречных волн покоящегося резонатора (CW и CCW) имеет совпадающие частоты и совпадающие направления круговой поляризации, то есть одна пара – обе левые, другая – обе правые круговые поляризации (рис. 1.6б).

Настройка кольцевого лазера в резонанс (в соответствии с формулой (2)) осуществляется путем изменения периметра L . Зеркала 32 и 34 в схеме лазера (рис. 1.5) установлены на пьезоприводы. Пьезоприводы изготавливаются на основе пьезокерамических дисков, которые при подаче на них напряжения ($U_{\text{пк1}}$ или $U_{\text{пк2}}$ на рис. 1.5) способны утолщаться или изгибаться [5], тем самым перемещая соответствующее зеркало, что в свою очередь приводит к изменению периметра L и к перестройке частоты генерации.

Настройка кольцевого лазера на определенную моду генерации осуществляется следующим образом. Световое излучение частично проходит зеркало 33 и попадает на фотоприемник ФП, преобразуется в электрический сигнал, который усиливается усилителем У. По выходному сигналу $\Phi_{\text{п3}}$ усилителя можно судить об интенсивности светового излучения и, следовательно, о степени настройки лазерного резонатора. Схема регулирования периметра (СРП), входящая в состав схем жизнеобеспечения, путем установки напряжений на пьезокерамике $U_{\text{пк1}}$ или $U_{\text{пк2}}$ и анализа сигнала $\Phi_{\text{п3}}$ добивается его максимума, тем самым настройки лазера в резонанс.

Если отключить СРП и линейно увеличивать или уменьшать напряжения на пьезокерамике, лазер будет последовательно в пределах контура усиления настраиваться на генерацию различных мод. Судить о прохождении этого процесса можно путем наблюдения за изменениями сигнала $\Phi_{\text{п3}}$. Этот факт используется при выполнении третьего задания лабораторной работы.

2. Структурная схема лабораторной установки

Схема лабораторной установки представлена на рис. 2.1. В ее состав входят кольцевой лазер КЛ, установленный на поворотном столике ПС, измерительный блок ИБ, персональный компьютер ПК. КЛ подключен к ИБ, который содержит все необходимые схемы жизнеобеспечения. В ИБ поступают измерительные сигналы от КЛ.

ИБ имеет только один расположенный на передней панели орган управления – выключатель питания. Все остальные операции осуществляются с помощью ПК, при этом все необходимое взаимодействие производится по последовательному интерфейсу RS-232. На ПК установлено программное обеспечение ПО, благодаря которому осуществляется управление ИБ и КЛ, сбор, обработка и отображение измерительной информации.



Рис. 2.1. Структурная схема лабораторной установки

ПС в данной лабораторной работе используется как устойчивая подставка, и вследствие отсутствия необходимости вращения КЛ, его можно установить непосредственно на устойчивом столе.



Рис. 2.2. Внешний вид лабораторной установки

3. Подготовка к работе

1. По теоретической части данных методических указаний и литературе [1-3], необходимо изучить следующие вопросы:

- устройство и принцип работы гелий-неонового лазера;
- тлеющий разряд и вольт-амперную характеристику газового лазера;
- спектр частот неплоского кольцевого резонатора;
- особенности настройки кольцевого лазера в резонанс.

2. Ознакомьтесь со структурной схемой лабораторной установки (рис. 2.1).

3. Прочтите и продумайте порядок выполнения заданий лабораторной работы.

4. Порядок выполнения работы

Перед выполнением лабораторной работы включите установку и дайте ей прогреться в течение 30 мин. Для этого выполните следующие действия.

1. Включите персональный компьютер и измерительный блок.

2. После загрузки операционной системы найдите на рабочем столе ярлык приложения LW2_1.exe. Запустите это приложение и нажмите кнопку *Выполнить*, после чего откроется страница лицевой панели, показанная на рис. 4.1.

3. Включите кольцевой лазер, нажав на кнопку *Включить*. Убедитесь по наличию свечения, что он горит. Подождите 10 секунд для того, чтобы закончился процесс установки рабочего режима.

Примечание. Безошибочному обмену данными соответствует погашенное состояние индикатора *Несовпадение КС*. При наличии ошибок индикатор горит красным светом, и в этом случае необходимо обратиться к преподавателю или лаборанту.

4. Установите управляющие элементы СРП, БЧП, I2 в активное состояние, в котором они светятся зеленым светом. Нажмите кнопку *Управление*. Команда включения схемы регулировки периметра СРП, блока частотной подставки БЧП и второго газоразрядного промежутка горения I2 будет передана в кольцевой лазер.

5. Удостоверьтесь, что кольцевой лазер находится в нужном режиме. Для этого нажмите кнопку *Опрос состояния*, после чего должны загореться зеленым светом индикаторы состояния РС, СРП, БЧП, I2. Если это не так, обратитесь к лаборанту или преподавателю.

6. Подождите 30 мин., чтобы лабораторная установка прогрелась.

7. Установите управляющие элементы СРП, БЧП, I2 в пассивное состояние, в котором они не светятся. Нажмите кнопку *Управление*.

8. Удостоверьтесь, что кольцевой лазер находится в нужном режиме. Для этого нажмите кнопку *Опрос состояния*, после чего индикаторы состояния СРП, БЧП, I2 должны погаснуть. Если это не так, обратитесь к лаборанту или преподавателю.

9. Закройте приложение LW2_1.exe и перейдите к выполнению задания 1.

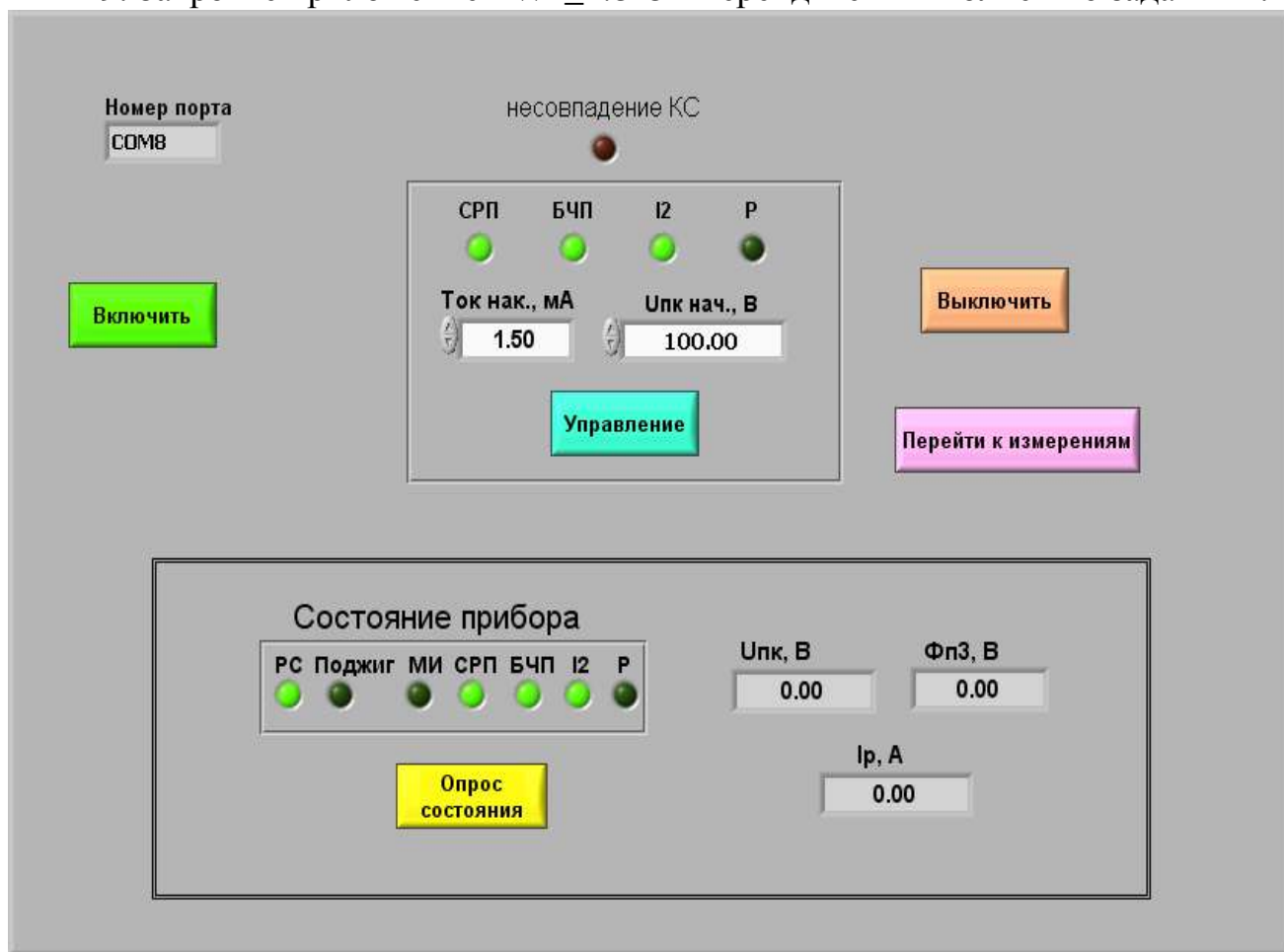


Рис. 4.1. Страница лицевой панели приложения LW2_1.exe, используемая при прогреве лабораторной установки

Задание 1. Измерение вольт-амперной характеристики газоразрядного промежутка

1. Запустите приложение LW1_1.exe. Откроется окно, показанное на рис. 4.2.

Примечание. При открытом окне приложения его повторный запуск осуществляется путем нажатия на стрелку, находящуюся в левом верхнем углу окна (рис. 4.1). Остановленной программе соответствует стрелка белого цвета, работающей программе – стрелка черного цвета.

2. Нажмите кнопку *Выполнить*. Откроется страница лицевой панели, предназначенная для выполнения первого задания лабораторной работы (рис. 4.3).

3. Включите кольцевой лазер, нажав на кнопку *Включить*. Убедитесь, что он загорелся. Подождите 10 секунд для того, чтобы установился необходимый режим работы.

4. Убедитесь, что стоит значение шага изменения тока накачки I_n , равное 0,05 мА, и задержка, равная 200 мс. Если преподаватель просит установить иные значения, выполните его указания.

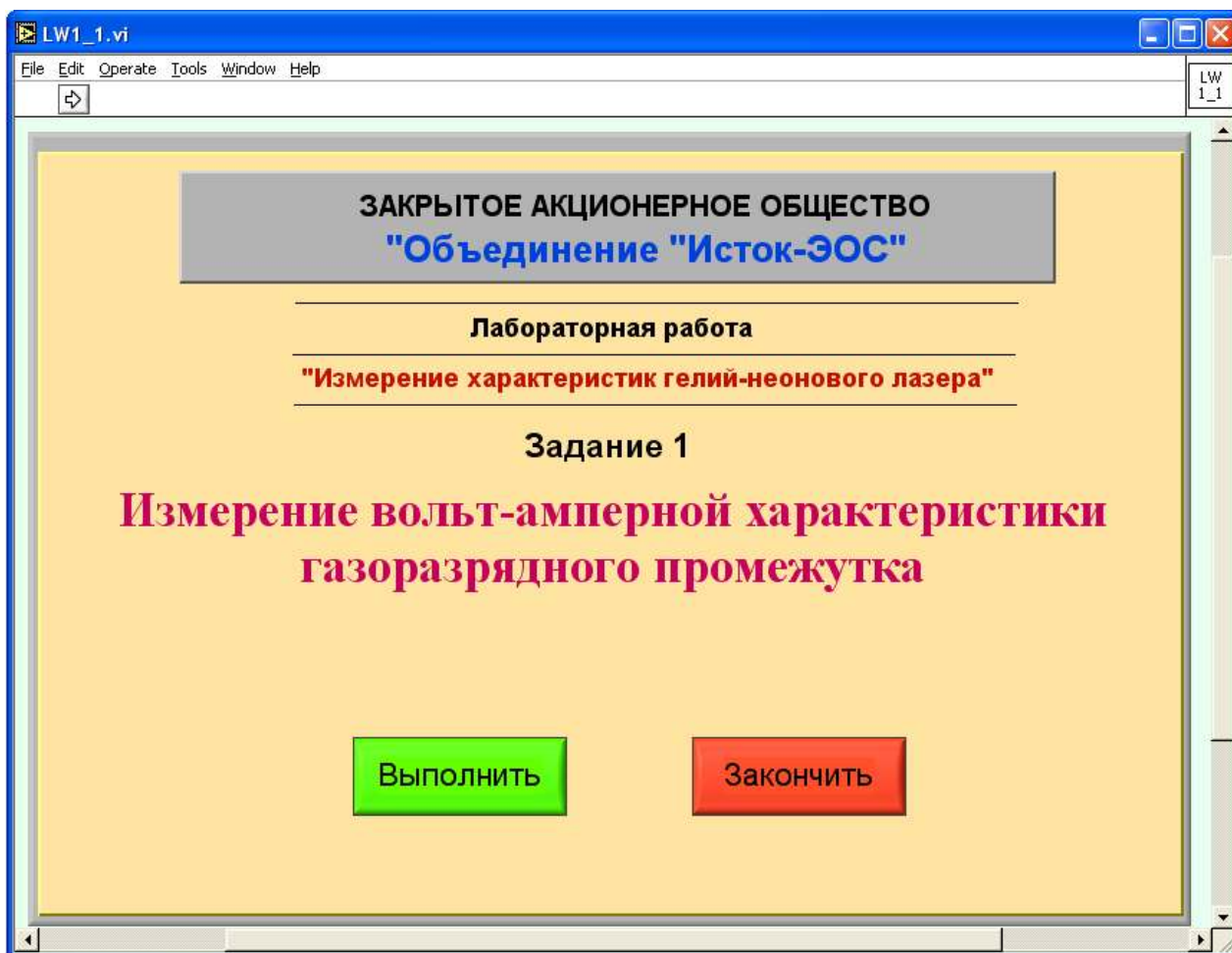


Рис. 4.2. Вид окна приложения LW1_1.exe с начальной страницей лицевой панели

5. Нажмите на кнопку *Пуск*. Следите за значениями тока накачки I_n и соответствующими напряжениями $U_{гор}$. Эти значения отображаются на соответствующих цифровых индикаторах и в виде точек при построении характеристики на графическом экране.

6. После построения вольт-амперной характеристики выключите кольцевой лазер, нажав на кнопку *Выключить*. Убедитесь, что свечение лазера под защитным экраном отсутствует.

7. Установите курсор на точке характеристики, в которой генерация в лазере прекращается. Этой точке соответствует резкое повышение напряжения горения. Запишите значения этих тока и напряжения, используя индикаторы координат курсора.

Примечание. Если курсоры не видны в пределах графического экрана, нажмите на кнопку *Найти курсоры*.

8. Аналогичным образом определите точку, соответствующую минимальному значению напряжения.

9. Сохраните в файл текстового формата измеренную вольт-амперную характеристику. Для этого нажмите кнопку *Записать файл*.

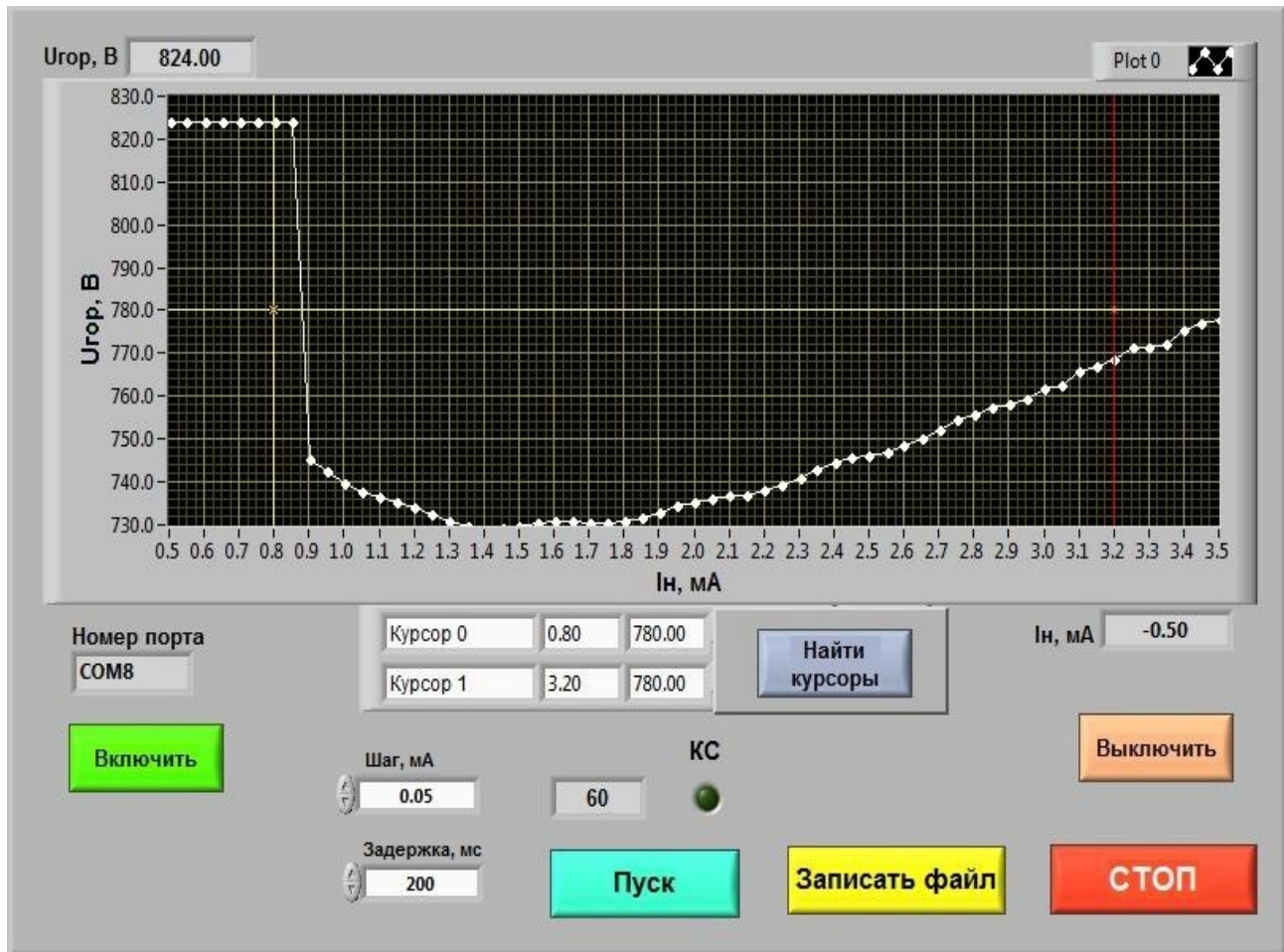


Рис. 4.3. Вид лицевой панели при выполнении задания 1
«Измерение вольт-амперной характеристики газоразрядного промежутка»

10. Для остановки приложения нажмите кнопку *СТОП*.

11. Перепишите файл на свой носитель информации для последующего использования при составлении отчета.

Задание 2. Измерение порогового тока генерации

1. Запустите приложение LW1_2.exe. Нажмите кнопку *Выполнить*. Откроется страница лицевой панели, предназначенная для выполнения второго задания лабораторной работы (рис. 4.4).

2. Включите кольцевой лазер, нажав на кнопку *Включить*. Убедитесь, что он загорелся. Подождите 10 секунд для того, чтобы установился необходимый режим работы.

3. Убедитесь, что стоит значение шага изменения тока накачки I_n , равное 0,05 мА, и задержка, равная 200 мс. Если преподаватель просит установить иные значения, выполните его указания.

4. Нажмите на кнопку *Пуск*. Следите за значениями тока накачки I_n и соответствующими напряжениями $\Phi_{п1}$ с выхода первого фотоприемника. Эти значения отображаются на соответствующих цифровых индикаторах и в виде точек при построении характеристики на графическом экране.

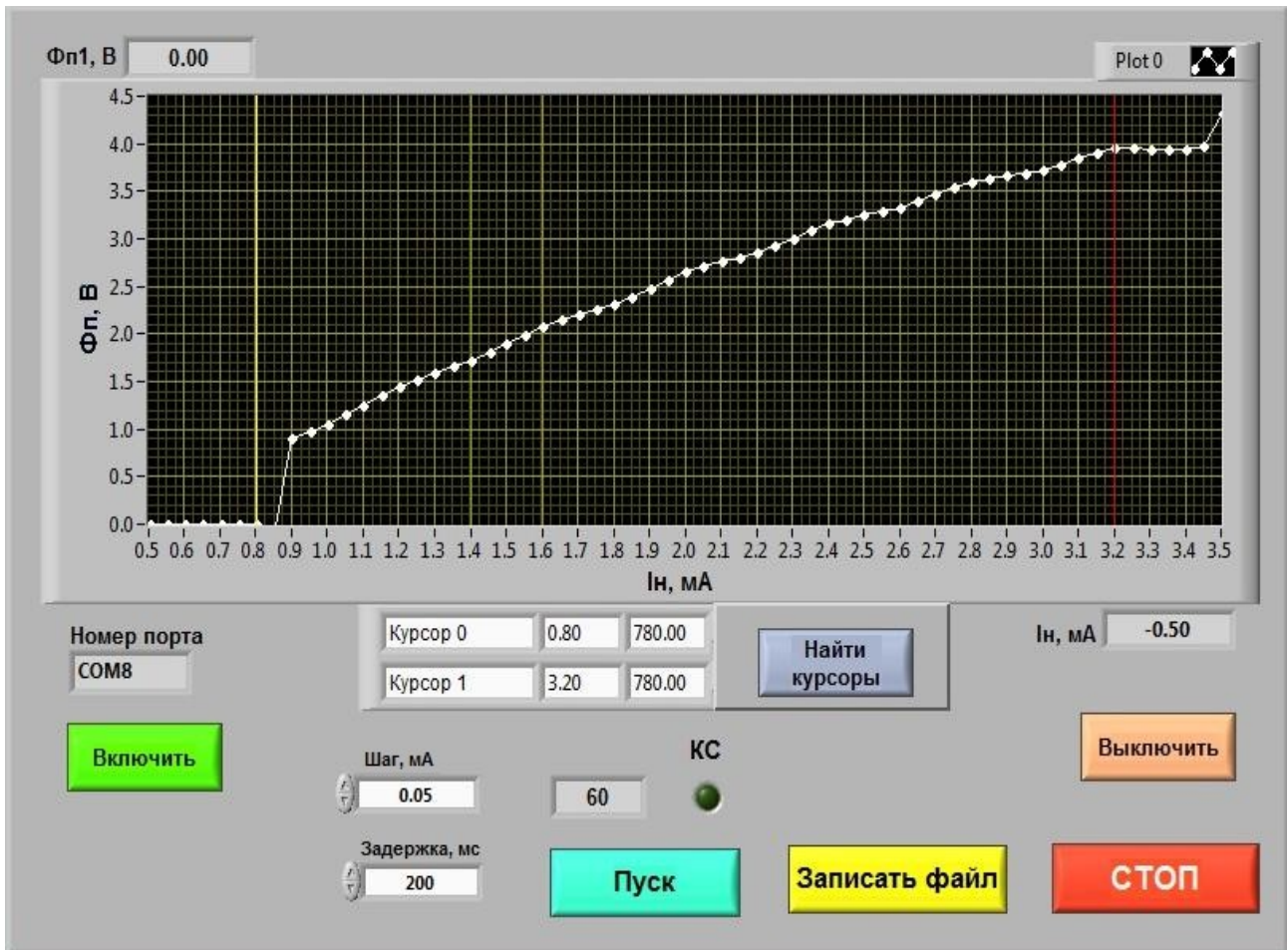


Рис. 4.4. Вид лицевой панели при выполнении задания 2
«Измерение порогового тока генерации»

5. После построения зависимости напряжения на выходе фотоприемника $\Phi_{п1}$ от тока накачки I_n выключите кольцевой лазер, нажав на кнопку *Выключить*. Убедитесь, что свечение лазера под защитным экраном отсутствует.

6. Установите курсор на точке характеристики, соответствующей току накачки, соответствующему прекращению генерации. Это точке соответствует резкое падение напряжения $\Phi_{п1}$. Запишите значения этих тока и напряжения, используя индикаторы координат курсора.

7. Сохраните в файл текстового формата измеренную характеристику. Для этого нажмите кнопку *Записать файл*.

8. Для остановки приложения нажмите кнопку *СТОП*.

9. Перепишите файл на свой носитель информации для последующего использования при составлении отчета.

Задание 3. Измерение ширины мод генерации

1. Запустите приложение LW1_3.exe. Нажмите кнопку *Выполнить*. Открывается страница лицевой панели, предназначенная для выполнения третьего задания лабораторной работы (рис. 4.5).

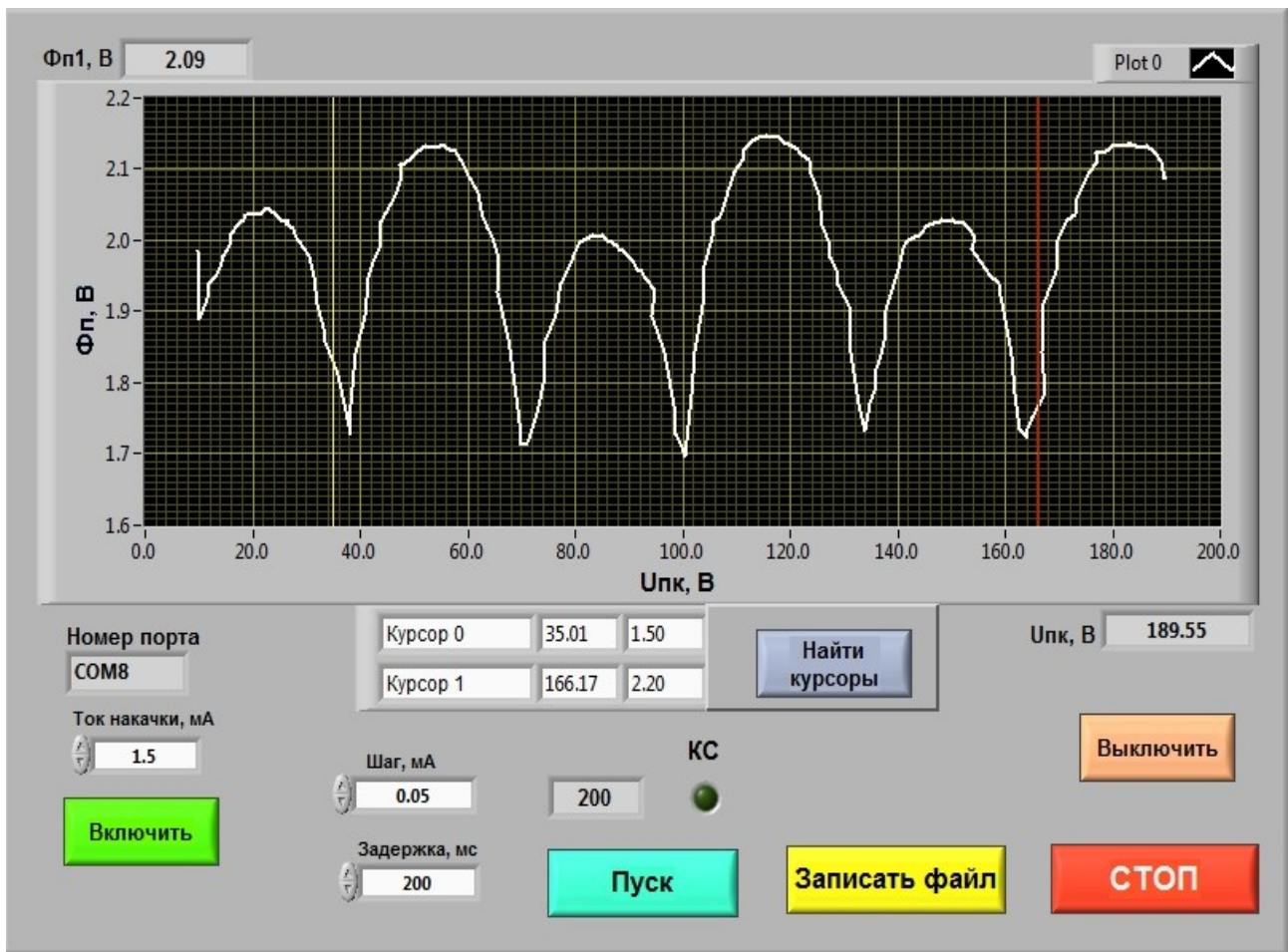


Рис. 4.5. Вид лицевой панели при выполнении задания 3

2. Включите кольцевой лазер, нажав на кнопку *Включить*. Убедитесь, что он загорелся. Подождите 10 секунд для того, чтобы установился необходимый режим работы.

4. Убедитесь, что стоит значение шага изменения тока накачки I_n , равное 0,05 мА, и задержка, равная 200 мс. Если преподаватель просит установить иные значения, выполните его указания.

5. Нажмите на кнопку *Пуск*. Следите за значениями напряжения на пьезо-керамике $U_{пк}$ и соответствующими напряжениями $\Phi_{п1}$ с выхода первого фотоприемника. Эти значения отображаются на соответствующих цифровых индикаторах и в графическом виде на экране.

6. После построения зависимости напряжения на выходе фотоприемника от тока накачки выключите кольцевой лазер, нажав на кнопку *Выключить*.

7. С помощью курсоров измерьте расстояние между модами генерации, отмеченными знаками «+» и «-» (рис. 4.6). Знак «+» соответствует моде с меньшими потерями (т.е. с большим превышением усиления над потерями), знак «-» соответствует моде с меньшими потерями (т.е. с меньшим превышением усиления над потерями). Зная периметр $L=16$ см, определите интервал между модами $\Delta\nu$ в единицах частоты

$$\Delta\nu = \frac{c}{2L},$$

а затем масштаб графика.

Зная масштаб графика, определите в единицах частоты ширину $\Delta\nu_+$ моды «+» и ширину $\Delta\nu_-$ моды «-» по уровню $\frac{1}{2}$ (рис. 4.6).

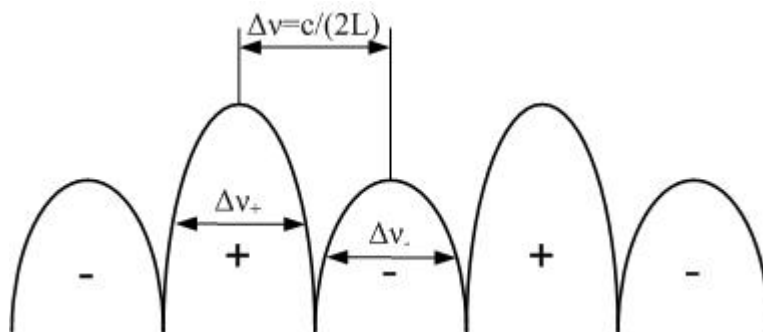


Рис. 4.6. Определение ширины мод генерации кольцевого лазера

8. Сохраните в файл текстового формата измеренную характеристику. Для этого нажмите кнопку *Записать файл*.

9. Для остановки приложения нажмите кнопку *СТОП*.

10. Перепишите файл на свой носитель информации для последующего использования при составлении отчета.

Отчет о выполнении лабораторной работы.

Отчет о выполнении лабораторной работы выполняется в текстовом редакторе MA Word.

В состав отчета должны входить:

- название и цель лабораторной работы;
- краткое теоретическое введение;
- схема лабораторной установки;
- построенные на основе сохраненных файлов графики измеренных характеристик кольцевого лазера;
- параметры кольцевого лазера, определенные в ходе выполнения заданий;
- необходимые пояснения и выводы.

Для построения графиков рекомендуется использовать средства построения точечных диаграмм, имеющиеся в составе MS Excel.

5. Контрольные вопросы

1. Что такое спонтанное и вынужденное излучение?
2. Для чего служит резонатор лазера?
3. Чем отличаются области аномального и нормального тлеющего разрядов?
4. Из чего состоят потери в лазере?
5. Что такое пороговый ток генерации?
6. Что такое превышение усиления над потерями?
7. Почему в кольцевом лазере устанавливается режим «бегущей» волны?
8. Почему различаются амплитуды сигналов с фотоприемника на модах «+» и «-»?

Литература

1. Тарасов Л.В. Четырнадцать лекций о лазерах. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2011. – 176 с.
2. Кудрявцев А.А., Смирнов А.С., Цендин Л.Д. Физика тлеющего разряда: Учебное пособие. СПб.: Издательство «Лань», 2010. - 512 с.
3. Панов М.Ф., Соломонов А.В., Филатов Ю.В. Физические основы интегральной оптики: Учебное пособие. – М.: Издательский центр «Академия», 2010. – 432 с.
4. Азарова В.В., Голанов А.В., Савельев И.И., Фокин В.В. Моделирование кольцевых лазерных резонаторов с неплоским контуром и неидеальными зеркалами [Электронный ресурс] / Труды IX межвузовской научной школы молодых специалистов «Концентрированные потоки энергии в космической технике, электронике, экологии и медицине» 24-25 ноября 2008 г. - Режим доступа: http://nuclphys.sinp.msu.ru/school/s08/s08_21.pdf.
5. Запотько Н.Р., Недзвецкая А.А. Пьезокорректоры наноперемещений для прецизионного управления периметром лазерного гироскопа [Электронный ресурс] / Труды X межвузовской научной школы молодых специалистов «Концентрированные потоки энергии в космической технике, электронике, экологии и медицине» 24-25 ноября 2009 г. - Режим доступа: http://nuclphys.sinp.msu.ru/school/s09/09_11.pdf.

Учебно-методическое пособие одобрено на заседании кафедры «Кибернетики» (протокол №8 от 04.09.2013 г.) и может быть рекомендовано магистрам, обучающимся по магистерской программе «Системы управления и информации в инженерии»

Зав. кафедрой «Кибернетики»

д.т.н., профессор

/В.Н.Афанасьев/

Учебное издание

Измерение характеристик кольцевого гелий-неонового лазера

Составители: БЕССОНОВ Алексей Станиславович, КОЛБАС Юрий Юрьевич,
СОЛОВЬЕВА Татьяна Ивановна

Редактор С.П. Клышинская
Технический редактор О.Г.Завьялова

Подписано в печать 20.10.2014. Формат 60х84/16.

Бумага офсетная №2. Ризография. Усл. печ. л. 1,3. Уч.-изд. л. 1,2.

Изд. № 25. Тираж 50 экз. Заказ 258. Бесплатно.

Московский институт электроники и математики Национального
исследовательского университета «Высшая школа экономики».

109028, Москва, Б. Трехсвятительский пер., 3/12.

Редакционно-издательский отдел Московского института электроники и
математики Национального исследовательского университета «Высшая школа
экономики». Участок МИЭМ типографии НИУ ВШЭ.

113054, Москва, ул. М. Пионерская, 12.