

**МИНИСТЕРСТВО ОБЩЕГО И ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С. П. КОРОЛЕВА**

**ВВОДНЫЙ ЛАБОРАТОРНЫЙ
ПРАКТИКУМ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
"ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ ЛАЗЕРОВ"**

Методические указания к лабораторным работам

САМАРА 1998

Составитель: В. Н. Гришанов

УДК 621.375

Вводный лабораторный практикум по дисциплине "Источники питания лазеров": Метод. указания / Самар. аэрокосм. ун-т; Сост. В. Н. Гришанов. Самара, 1997. 36 с.

Вводный лабораторный курс состоит из трех работ, в которых экспериментально исследуются вольт-амперные характеристики полупроводникового стабилитрона, полупроводниковых светосигнализирующих структур и тлеющего газового разряда, даны краткие пояснения, необходимые для интерпретации результатов, а также рассмотрены типовые электронные схемы включения.

Методические указания рекомендуются для студентов, обучающихся по специальности 131200 по курсу "Источники питания лазеров", выполнены на кафедре АСЭУ.

Печатаются по решению редакционно-издательского совета Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С. П. Королева.

Рецензент: Е. Г. Гусева

Лабораторная работа N 1
ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО СТАБИЛИЗАТОРА НАПРЯЖЕНИЯ

Ц Е Л Ь Р А Б О Т Ы: изучить принципиальную схему и характеристики параметрического стабилизатора постоянного напряжения на полупроводниковом стабилитроне; ознакомиться с методами измерения основных параметров стабилизатора и стабилитрона; снять прямую и обратную ветви вольт-амперной характеристики (ВАХ) стабилитрона.

Для устойчивой работы излучателей необходимо, чтобы напряжение или ток, потребляемые ими, сохраняли свои параметры в процессе функционирования. Напряжения первичных источников электрической энергии, таких как промышленные сети переменного тока, аккумуляторные батареи, гальванические элементы, изменяются в процессе эксплуатации в широких пределах, что вызывает нестабильность напряжений на выходе выпрямителей, преобразователей, генераторов импульсов и других электронных устройств, обеспечивающих заданные параметры излучения.

Основными дестабилизирующими факторами, вызывающими изменения выходных напряжений вторичных источников электропитания, являются изменения входных напряжений и сопротивлений нагрузок, подключенных к ним. Поэтому для уменьшения влияния вышеперечисленных факторов вторичные источники электропитания включают в свой состав стабилизаторы напряжения, которые характеризуется двумя основными параметрами: коэффициентом стабилизации

$$K_u = (\Delta U_{вх}/U_{вх.ном}) / (\Delta U_{вых}/U_{вых.ном}) \quad (\text{при } I_{вых.ном}), \quad (1)$$

где $\Delta U_{вх} = U_{вх.мах} - U_{вх.мин}$; $\Delta U_{вых} = U_{вых.мах} - U_{вых.мин}$;
и внутренним сопротивлением

$$r(вн) = \Delta U_{вых} / \Delta I_{вых} \quad (\text{при } U_{вх.ном}), \quad (2)$$

где $\Delta I_{вых} = I_{вых.мах} - I_{вых.мин}$.

Для стабилизатора напряжения $K_u > 1$ или $K_u \gg 1$, а $r(\text{вн})$ может достигать тысячных долей Ома.

Энергетическим показателем качества работы стабилизатора является его КПД, равный отношению активной мощности, отдаваемой стабилизатором в нагрузку, к активной мощности, потребляемой стабилизатором:

$$\text{КПД} = P_{\text{вых}} / P_{\text{вх}}. \quad (3)$$

Важным параметром стабилизатора является температурный коэффициент напряжения (ТКН), показывающий изменение выходного напряжения при изменении температуры окружающей среды при неизменном входном напряжении и токе нагрузки. Кроме того, как и всякое техническое устройство его можно характеризовать с помощью различных критериев надежности и удельными массогабаритными показателями.

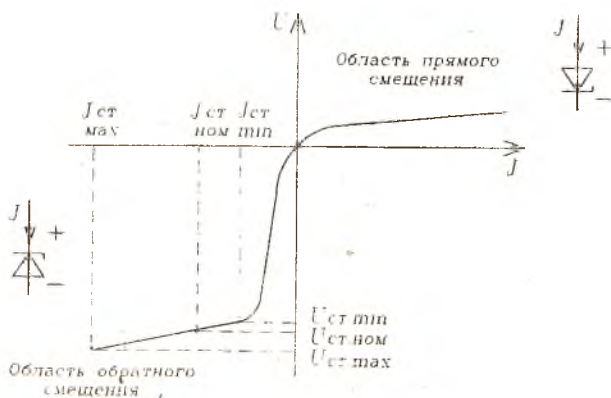
В зависимости от рода стабилизируемого напряжения стабилизаторы подразделяются на стабилизаторы постоянного напряжения и стабилизаторы переменного напряжения. По способу стабилизации они подразделяются на параметрические, компенсационные и импульсные. Параметрический стабилизатор постоянного напряжения на полупроводниковом стабилитроне является простейшим схемным решением, который, тем не менее, находит применение как самостоятельное устройство, либо как компонент более сложных стабилизаторов.

1. ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СТАБИЛИЗАТОР НАПРЯЖЕНИЯ НА ПОЛУПРОВОДНИКОВОМ СТАБИЛИТРОНЕ

Параметрическим называется такой стабилизатор, в котором стабилизация напряжения осуществляется использованием свойств нелинейных элементов, входящих в его состав. В параметрических стабилизаторах дестабилизирующий фактор (изменение входного напряжения или тока нагрузки) воздействует непосредственно на нелинейный элемент, а изменение выходного напряжения относительно заданного значения определяется только степенью нелинейности ВАХ нелинейного элемента.

В параметрических стабилизаторах постоянного напряжения в качестве линейных элементов применяют резисторы, а в качестве нелинейных - полупроводниковые (кремниевые) стабилитроны и стабисторы. Полупроводниковый стабилитрон (в дальнейшем изложении просто стабилитрон) - это плоскостной диод особого класса, который работает в режиме туннельного или лавинного пробоя при подаче на него обратного напряжения. В отличие от обычных диодов в стабилитронах пробой является полезным эффектом. Значение напряжения пробоя зависит от конструкции стабилитрона и степени легирования полупроводникового материала.

Типичная ВАХ стабилитрона приведена на рис. 1.



Р и с. 1. ВАХ полупроводникового стабилитрона

Она может быть поделена на три участка:

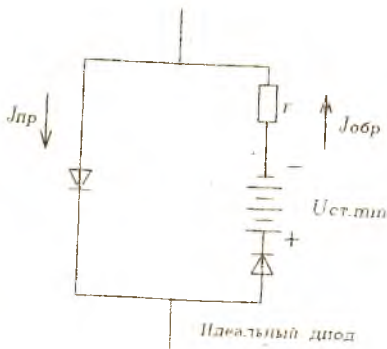
1. Прямая ветвь характеристики. Прямая ветвь характеристики стабилитрона имеет такой же вид, как и прямая ветвь обычного диода. Так как стабилитроны смещены в обратном направлении, то наиболее важными для них являются обратные характеристики или область обратного смещения (см. рис.1).

2. Обратная ветвь характеристики для напряжений, меньших напряжения пробоя (напряжения стабилизации $U_{ст. min}$). Обратный ток характеристики этого участка является небольшим током утечки. Хотя ток утечки стабилитрона несколько больше, чем ток утечки обычного диода, он все-таки достаточно мал, чтобы учитываться в большинстве цепей. В области напряжения пробоя обратный ток начинает медленно возрастать до точки излома характеристики. До этого момента внутреннее сопротивление стабилитрона очень велико. В области излома оно имеет некоторое среднее значение и быстро уменьшается при увеличении тока после излома.

3. Участок обратной ветви характеристики при напряжении электрического пробоя. Когда обратное напряжение стабилитрона становится равным $U_{ст. min}$, ток резко возрастает и динамическое сопротивление стабилитрона

$$r = \Delta U / \Delta I \quad (4)$$

становится небольшим.



Р и с. 2. Эквивалентная схема стабилитрона

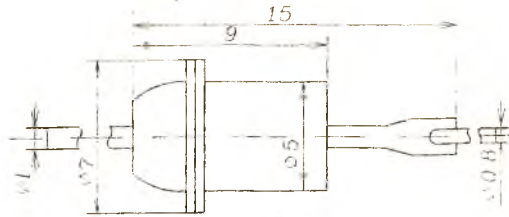
Эквивалентная схема стабилитрона приведена на рис.2. В обратном направлении она включает в себя по существу "батарею" $U_{ст. min}$, которая препятствует протеканию обратного тока до тех пор, пока извне приложенное обратное напряжение не превысит $U_{ст. min}$. Идеальный диод закрывает обратную цепь при приложении прямого напряжения.

К основным техническим характеристикам стабилитронов, которые указывают в справочниках

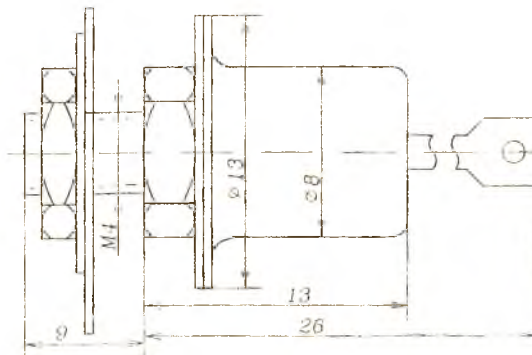
относят: номинальное напряжение стабилизации Уст.ном при номинальном токе через стабилитрон Ист.ном.; минимальный и максимальный ток стабилизации; внутреннее динамическое сопротивление r ; ТКН; максимальная мощность рассеяния. Высокая надежность электронной аппаратуры может быть обеспечена лишь при условии учета на стадии ее проектирования, изготовления и эксплуатации следующих особенностей приборов: разброса значений параметров, их зависимости от режима и условий работы; изменения значений параметров в течение времени хранения или работы; необходимости хорошего отвода тепла от корпусов приборов; необходимости обеспечения запасов по электрическим, механическим и другим нагрузкам на приборы; необходимости принятия мер, обеспечивающих отсутствие перегрузок приборов во время монтажа и сборки аппаратуры. Получить представление о параметрах некоторых серийных стабилитронов можно из табл. 1, а об их размерах из рис.3 и 4.

Таблица 1.
Параметры полупроводниковых стабилитронов

Тип	Уст.ном, В	Ист.ном, мА	Ист.мин, мА	Ист.мах, мА	r (не более), Ом	ТКН (не более)	P , Вт
Д814А	7...8.5	5	3	40	6	0.07	0.34
Д814Б	8...9.5	5	3	36	10	0.08	0.34
Д814В	9...10.5	5	3	32	12	0.09	0.34
Д814Г	10...12	5	3	29	15	0.095	0.34
Д814Д	11.5...14	5	3	24	18	0.095	0.34
Д815А	5...6.2	360	50	1400	0.6	0.045	8
Д815Б	6.1...7.5	300	50	1150	0.8	0.05	8
Д815В	7.4...9.1	250	50	950	1	0.07	8
Д815Г	9...11	200	25	800	1.8	0.08	8
Д815Д	10.8-13.3	170	25	650	2	0.09	8
Д815Е	13.3-16.4	135	25	550	2.5	0.1	8

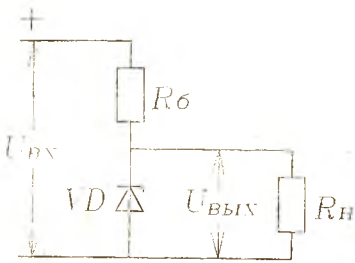


Р и с. 3. Габариты стабилизатора Д814: масса стабилизатора не более 1 г

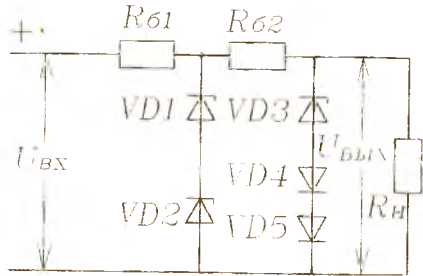


Р и с. 4. Габариты стабилизатора Д815: масса стабилизатора вместе с комплектующими деталями не более 6 г

Принципиальная схема параметрического стабилизатора напряжения на стабилитроне приведена на рис. 5. Сопротивление балластного резистора R_b подбирается так, чтобы падение напряжения на нем составляло $(0.5 \dots 3)U_{вх}$. Балластный резистор ограничивает ток пробоя в р-п-переходе. При увеличении напряжения на входе стабилизатора ($U_{вх}$) напряжение на его выходе ($U_{вых}$) стремится к увеличению. Но небольшое увеличение напряжения $\Delta U_{ст}$ на стабилитроне VD вызывает резкое увеличение тока через него. При этом увеличивается падение напряжения на балластном резисторе R_b , а напряжение на нагрузке увеличивается незначительно. Приращение напряжения на входе стабилизатора $\Delta U_{вх}$ распределяется между изменением напряжения на балластном резисторе $\Delta U_{rб}$ и стабилитроне $\Delta U_{ст}$: $\Delta U_{вх} = \Delta U_{rб} + \Delta U_{ст}$. Так как сопротивление балластного резистора R_b много больше дифференциального сопротивления стабилитрона r , то почти все изменение входного напряжения выделяется на балластном сопротивлении R_b и напряжение на нагрузке изменяется мало.



Р и с. 5. Принципиальная схема параметрического стабилизатора напряжения



Р и с. 6. Принципиальная схема каскадного параметрического стабилизатора напряжения

Для получения напряжения, большего, чем допускают параметры одного стабилитрона, применяют последовательное включение их ($VD1$ и $VD2$ на рис. 6). При повышении температуры окружающей среды у кремниевых стабилитронов обратное падение напряжения увеличивается (т.е. увеличивается $U_{ст.ном}$), а прямое уменьшается. Следовательно, кремниевые стабилитроны в штатном режиме, обладают положительным ТКН. Для полной компенсации положительного ТКН стабили-

трона последовательно с ним включают несколько диодов или стабилитронов в прямом направлении с отрицательным ТКН (VD4 и VD5 на рис. 6)

Коэффициент полезного действия простейшего параметрического стабилизатора на стабилитроне (рис. 5) редко превышает 30%, а коэффициент стабилизации - 30. Для получения большого коэффициента стабилизации применяют каскадное включение стабилизаторов; R61, VD1, VD2-предварительный стабилизатор, R62, VD3, VD4, VD5- окончательный (рис. 6). При этом коэффициент стабилизации уже определяется произведением коэффициента стабилизации отдельных каскадов, однако и КПД становится меньше, т.к. он также определяется произведением КПД отдельных каскадов. В двухкаскадном стабилизаторе, схема которого приведена на рис 6, выходной каскад, состоящий из стабилитрона VD3, термокомпенсирующих диодов VD4, VD5 и балластного резистора R62 питается от предварительного стабилизатора, выполненного на стабилитронах VD1, VD2 и резисторе R61.

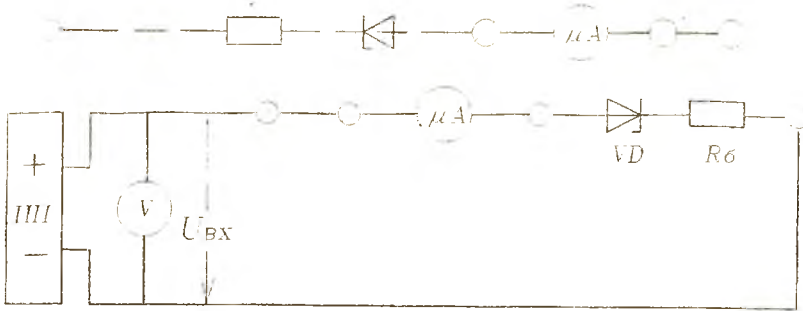
Основные недостатки параметрических стабилизаторов на кремниевых стабилитронах: небольшая допустимая мощность в нагрузке (0.5...3 Вт), невысокий коэффициент стабилизации (до 30), большое выходное сопротивление стабилизатора (6...20 Ом), низкий КПД (до 30%), зависимость параметров стабилитронов от температуры.

Несмотря на вышеперечисленные недостатки параметрические стабилизаторы напряжения на стабилитронах имеют свою сферу применения в качестве вспомогательных источников питания излучателей, источников опорного, а в случае принятия специальных токо- и температуростабилизирующих мер, и образцового напряжения.

2. ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Схема экспериментальной установки приведена на рис. 7. Основу ее составляет параметрический стабилизатор напряжения постоянного тока на стабилитроне (VD, R6) с отключенным нагрузочным сопротивлением. К стабилизатору подключены многопредельный миллиамперметр mA и вольтметр V. Стабилизатор запитывается от лабораторного источника электропитания. Если лабораторный источник имеет встроенный вольтметр, измеряющий выходное напряжение источника, то самостоятельный вольтметр V не подключается. Используя эк-

спериментальные значения тока и напряжения, можно оценить параметры стабилизатора при любом сопротивлении нагрузки, а также снять прямую и обратную ветви ВАХ стабилитрона.



Р и с. 7. Схема экспериментальной установки: пунктирной линией приведена схема измерения обратной ветви ВАХ

Поскольку в схеме R_6 и VD включены последовательно, то при известном номинале R_6 , токе в цепи I и входном напряжении U_{BX} , напряжение на самом стабилитроне U определяется простым выражением

$$U = U_{BX} - R_6 I, \quad (5)$$

что и позволяет снимать ВАХ. Переход с измерения прямой ветви на обратную осуществляется путем изменения полярности подаваемого на стабилизатор напряжения с соответствующей перекоммутацией полярности миллиамперметра и вольтметра (если в качестве вольтметра используется самостоятельный прибор). В предложенной схеме, во-первых, отпадает необходимость во втором вольтметре, измеряющем напряжение на самом стабилитроне, и, во-вторых, наличие R_6 позволяет использовать неспециализированные лабораторные источники питания со средними уровнями выходных напряжений.

Особой осторожности при выполнении работы требует измерение обратной ветви ВАХ в диапазоне от 0 до $U_{ст. min}$, так как токи в цепи на этом участке малы, что вызывает установку микроамперных

пределов миллиамперметра мА. Достижение же напряжения пробоя обрывается быстрым нарастанием тока в цепи. Поэтому измерения на этом участке следует проводить после предварительного определения $U_{ст. min}$ на более грубых пределах миллиамперметра.

Используемое лабораторное оборудование включает: сборку, состоящую из резистора $R_b = 300 \dots 1500 \text{ Ом}$ и стабилитрона малой мощности, регулируемый источник электропитания постоянного тока с выходным напряжением $0 \dots 30 \text{ В}$ и максимальным выходным током не менее 100 мА , многопредельный миллиамперметр с нижним пределом измерения не более 50 мкА и верхним не менее 50 мА , а также вольтметр на $30 \dots 50 \text{ В}$, если он не входит в состав источника питания.

3. ЗАДАНИЕ

1. Собрать схему для экспериментального исследования параметрического стабилизатора и ВАХ стабилитрона в соответствии с рис. 7.

2. Уточнить у преподавателя максимально допустимые для данного стабилитрона прямой и обратный токи стабилитрона и значение сопротивления резистора R_b .

3. Выполнить спецификацию схемы: $VD, R_b, ИП, V; \text{ мА}$.

4. Проверить с преподавателем правильность собранной схемы и начальные установки органов управления приборов. Осуществить включение приборов.

5. Произвести отсчеты значений $(U_{вхi}, I_i)$ не менее, чем в 10 точках каждой из ветвей ВАХ.

6. Рассчитать на основании экспериментальных данных:

6.1. Падение напряжения на стабилитроне $U_i = U_{вхi} - R_b I_i$.

6.2. Статическое сопротивление стабилитрона $R_i = U_i / I_i$.

6.3. Динамическое сопротивление стабилитрона

$$r_i = \Delta U_i / \Delta I_i = (U_{i+1} - U_i) / (I_{i+1} - I_i).$$

6.4. Погрешность метода измерения не менее, чем в одной точке для каждой из величин (I_i, U_i, R_i, r_i) .

7. Результаты измерений и расчетов занести в таблицу.

Ветвь ВАХ	N	U _{вх}	I	U	R	r
	п/п	(ед. изм.)	(ед. изм.)	(ед. изм.)	(ед. изм.)	(ед. изм.)
Прямая						
Обратная						

8. Построить графики $U_i(I_i)$, $R_i(I_i)$, $r_i(I_i)$.

9. Указать из анализа формы ВАХ рабочую область токов стабилизатора ($I_{ст. min}$, $I_{ст. max}$) и напряжений стабилизации ($U_{ст. min}$, $U_{ст. max}$). Рассчитать среднее значение динамического сопротивления в рабочей области

$$r(sp) = (U_{ст. max} - U_{ст. min}) / (I_{ст. max} - I_{ст. min}).$$

10. Рассчитать по найденным параметрам ($I_{ст. min}$, $I_{ст. max}$, $U_{ст. min}$, $U_{ст. max}$, $r(sp)$) характеристики стабилизатора, собранного по схеме рис. 5 по заданным преподавателем значениям R_0 и R_n .

Наименование характеристик: 1. Среднее значение $U_{вх. ср}$,

$$U_{вх. ср} = \frac{U_{вх. max} + U_{вх. min}}{2}.$$

2. Нестабильность $U_{вх.}$,

$$N_{U_{вх.}} = \frac{U_{вх. max} - U_{вх. min}}{U_{ср}}$$

3. Допустимые значения входного напряжения $U_{вх. max}$ и $U_{вх. min}$.
4. Среднее значение $U_{вх. ср}$,

$$U_{вх. ср} = \frac{U_{вх. max} + U_{вх. min}}{2}$$

5. Нестабильность $U_{вх.}$,

$$N_{вх} = \frac{U_{вх. max} - U_{вх. min}}{U_{вх. ср}}$$

6. Коэффициент стабилизации

$$K = \frac{N_{вх}}{N_{вых}}$$

7. Разброс выходных напряжений на R_n при тех же значениях R_b , R_n , $U_{вх. min}$ и $U_{вх. max}$ при отсутствии стабилизатора.

8. Допустимые изменения R_n при $U_{вх.} = U_{вх. ср}$.

9. Динамическое сопротивление параметрического стабилизатора.

10. КПД параметрического стабилизатора при $U_{вх. ср}$.

11. Разработать порядок оценки основных характеристик параметрического стабилизатора по известным $I_{ст. max}$, $I_{ст. min}$, r , $U_{ст. max}$, $U_{вх. max}$, $R_n. max = \text{бесконечность}$.

Оцениваемые характеристики: R_b , $U_{вх. min}$, K , $R_n. min$ при $U_{вх. max}$ и $r=0$, мощность рассеяния R_b .

Пояснения. Именно такая упрощенная оценка при выборе в качестве $U_{ст. max}$ минимального значения напряжения стабилизации стабилизатора из справочников позволит не превысить предельных мощностей рассеяния как на стабилизаторе, так и на R_b , то есть не возникнет опасных перегревов элементов стабилизатора.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Сформулируйте определение стабилизатора напряжения. Приведите его основные характеристики и поясните их физический смысл.

2. Какие стабилизаторы напряжения называются параметрическими? Начертите схему параметрического стабилизатора напряжения на полупроводниковом стабилитроне и объясните его работу.

3. Изобразите ВАХ стабилитрона. Выделите ее характерные участки.

4. Перечислите основные недостатки параметрических стабилизаторов постоянного напряжения на стабилитронах. Назовите пути их преодоления или нейтрализации.

5. Перечислите технические параметры полупроводникового стабилитрона, которые позволяют оценить пригодность его применения в параметрическом стабилизаторе напряжения.

6. Предложите примеры применения полупроводникового стабилитрона в технических и электронных устройствах.

Лабораторная работа N 2 ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛЬТ-АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СВЕТОДИОДА

Ц Е Л Ь Р А Б О Т Ы: изучить схемотехнические решения, обеспечивающие заданный электрический режим и мощность излучения светодиода; экспериментально исследовать вольт-амперную характеристику (ВАХ) светодиода; освоить методику расчета простейших схем включения светодиодов по ВАХ и справочным материалам.

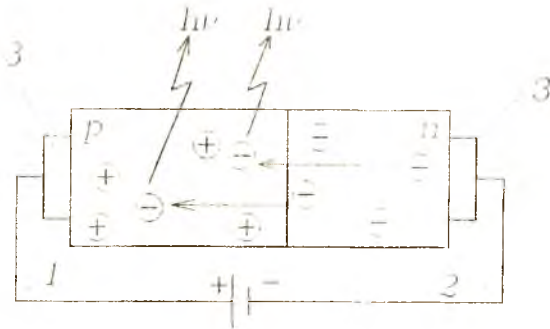
Светоизлучающий диод или просто светодиод представляет собой твердотельный элемент, содержащий полупроводниковый переход (электронно-дырочный или контакт металл-полупроводник), в котором при прохождении электрического тока генерируется оптическое излучение в инфракрасной, видимой или ультрафиолетовой области спектра. Действие светодиода, как и инжекционного полупроводникового лазера, основано на явлении инжекционной люминесценции: излучение возникает в результате спонтанной рекомбинации неосновных неравновесных носителей заряда (электронов проводимости и дырок), инжектированных под действием приложенного напряжения в область полупроводника, прилегающую к р-п-переходу.

В отличие от полупроводникового лазера излучение светодиода некогерентно, однако оно по сравнению с тепловыми источниками света имеет более узкий спектр (обычно спектральная ширина не превышает 0.05 мкм), вследствие чего в видимой области воспринимается как одноцветное. Цвет излучения (и здесь опять имеется полная аналогия с полупроводниковым лазером) определяется как полупроводниковым материалом, так и легирующими примесями.

Таким образом, светодиод и инжекционный полупроводниковый лазер отличаются лишь степенью когерентности излучения и конструктивно-технологически. Электрические же характеристики их практически идентичны, поэтому схожи и схемотехнические решения, которые используются в источниках электропитания для обеспечения непрерывного и импульсного режимов работы светодиодов и полупроводниковых лазеров, а также модуляции интенсивности или термостабилизации. Кроме того, светодиоды находят применение в лазерной технике в качестве источников оптической накачки и элементов световой и знаковой сигнализации, в составе оптронов и других электронных устройств.

1. КОНСТРУКЦИЯ И ВАХ СВЕТОДИОДА

Особенностью электронно-дырочного перехода светодиодной структуры состоит в том, что в одну из областей, обычно р-область, дополнительно вводят нейтральную примесь, например кислород или азот. Введение этой примеси не приводит к образованию в полупроводнике дополнительных носителей заряда, но способствует генерации света. Область, обогащенная нейтральной примесью, называется базовой, а другая (п-область) - эмиттерной. Эмиттерную область легируют сильнее, чем базовую. При подаче на р-п-переход прямого смещения начинается инжекция электронов из эмиттерной области в базовую. Одновременно происходит процесс инжектирования дырок из базовой области в эмиттерную. Хотя прямой ток, текущий через переход, складывается из тока электронов и дырок, благодаря большей концентрации электронов их поток в р-область больше потока дырок в п-область. Последнее обстоятельство обуславливает развитие рекомбинационных процессов преимущественно в р-области, легирование которой нейтральной примесью увеличивает вероятность излучательных актов рекомбинации (рис. 1).



Р и с. 1. Структура р-п-перехода светодиода: 1 - база; 2 - эмиттер; 3 - контакты

В соответствии с квантовой теорией возбужденный электрон, инжектированный в базовую область, рекомбинирует с дыркой, ис-

пускает фотон. При этом максимальная энергия фотона равна ширине запрещенной зоны данного полупроводника: $\Delta E = hc/\lambda$, где ΔE - ширина запрещенной зоны; h - постоянная Планка; c - скорость света в вакууме; λ - длина волны света.

Однако испущенных фотонов с энергией ΔE в выходном излучении немного, т.к. эта энергия совпадает с "красной границей" поглощения, и такое излучение быстро поглощается в толще полупроводника (самопоглощение). В действительности в прямозонных полупроводниках испускание фотона идет не по приведенной выше идеальной схеме излучательной рекомбинации - важную роль играют свободные экситоны (временные образования нейтральных компонентов электрон-дырка), энергия связи которых хотя и мала, но все же заметна. Поэтому на разрыв этой связи в акте излучательной рекомбинации затрачивается часть энергии ΔE и длина волны большей части излучаемых фотонов несколько больше.

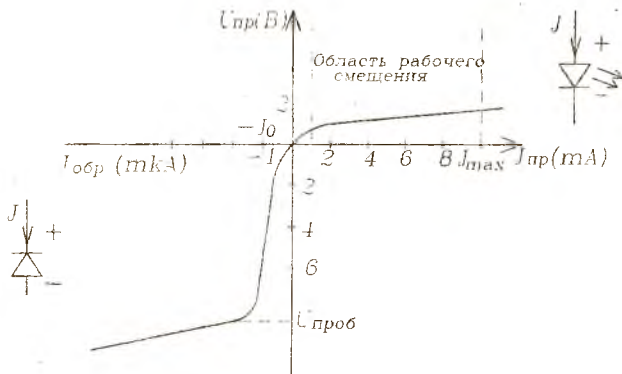
Полупроводниковые материалы для светодиодов сведены в табл.1. Сравнение данных, приведенных в табл.1 с материалами, используемыми для изготовления полупроводниковых лазеров, показывает их тождественность.

Таблица 1
Материалы для светодиодов

Материал	Перекрываемая область спектра (мкм)
SiC ; InGaP ; GaN	0,4...0,68
Ga ; GaAsP	0,6...0,7
GaAs ; GaAsP ; GaAlAs	0,7...0,95
GaAsSb ; AlGaAsSb	1,0...2,0
InGaAsP-InP	1,0...2,1
InGaAsSb-CaSb; InGaAsSb-InAs; InAs; InGaAs	1,8...4,0

Повышение температуры окружающей среды ведет к существенному уменьшению мощности излучения (до 50 % при $\Delta t = 70^\circ \text{C}$) и некоторому возрастанию длины волны максимума спектра излучения. Температурная нестабильность мощности излучения характеризуется коэффициентом K_T : $K_T = (\Delta\Phi / (\Phi_{\text{max}} \Delta T)) * 100 \%$, где $\Delta\Phi$ - величина изменения интенсивности излучения светодиода; Φ_{max} - максимальная интенсивность излучения; ΔT - диапазон рабочих температур светодиода.

Вольт-амперная характеристика имеет вид, типичный для резких p-n-переходов, изготовленных в низкоомном полупроводнике (рис. 2). Пробивное напряжение не превышает $U_{\text{проб}} \approx 6 \dots 8 \text{ В}$, падение прямого напряжения при прямом токе $I_{\text{пр}} = 10 \text{ мА}$ близко к $U_{\text{пр}} \approx 1,2 \text{ В}$. Выход на рабочий участок, на котором соблюдается практически прямо пропорциональная зависимость между током и мощностью излучения, начинается приблизительно с прямого тока $I_{\text{пр}} = 1 \text{ мА}$. Верхняя граница I_{max} линейного диапазона зависит от условий теплоотвода и без принятия специальных мер близка к значению $I_{\text{max}} \approx 10 \dots 20 \text{ мА}$.



Р и с. 2. Вольт-амперная характеристика светодиода

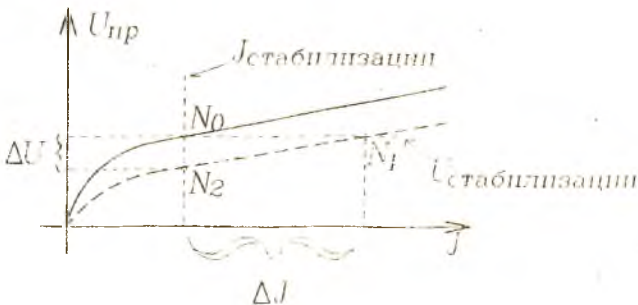
Аналитически ВАХ описывается выражением

$$I = I_0 \left(e^{eU / kT} - 1 \right) \quad (1)$$

где I_0 - обратный ток насыщения, который практически достигается при $U = -4e/kT$; U - приложенное к p-n-переходу напряжение, причем прямое напряжение считается положительным, а обратное - отрицательным; T - температура перехода в К; $e = 1,602 \times 10^{-19}$ Кл - заряд электрона; $k = 1,38 \times 10^{-23}$ Дж/К - постоянная Больцмана. Значение обратного тока насыщения I_0 для полупроводниковых материалов $A^{III}B^V$, используемых в производстве светодиодов видимого и ИК диапазонов при комнатной температуре, не превышает 10^{-7} А.

2. СХЕМОТЕХНИКА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РЕЖИМА СВЕТОДИОДА

Вследствие почти горизонтального положения ВАХ светодиода в рабочей области (см.рис.2) все схемотехнические решения направлены на стабилизацию рабочего тока светодиода с помощью высокоомных генераторов электрического тока. Обратимся к рис.3, где непрерывной и штриховой линиями показаны две неодинаковые ВАХ светодиодов; подобное различие ВАХ может быть связано с температурным или временным дрейфом, а также технологическим разбросом характеристик однотипных светоизлучателей. Сравним стабильность двух способов возбуждения светодиода: от идеального стабилизатора напряжения $U_{ст}$ и идеального стабилизатора тока $I_{ст}$. Как видим, во втором случае неодинаковость ВАХ вызывает лишь небольшое изменение падения напряжения на светодиоде ΔU , в то время как при питании от стабилизатора напряжения разброс ВАХ может привести к значительным изменениям электрического режима (ΔI на рис.3).



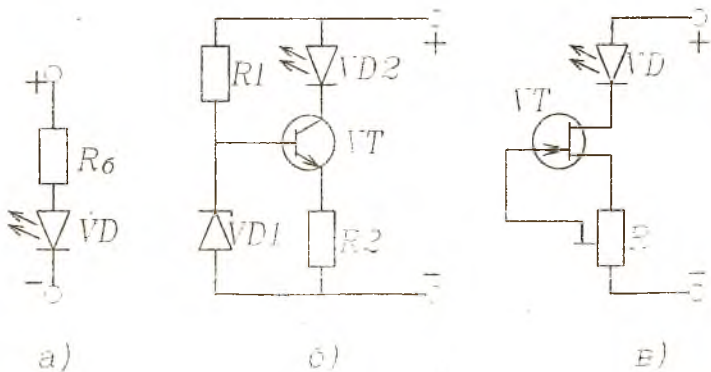
Р и с. 3. Фрагмент семейства ВАХ светодиода

В качестве основных электрических параметров в справочниках обычно указываются предельно допустимый прямой ток $I_{пр.мах}$ и постоянное прямое падение напряжения на нем $U_{пр.мах}$. При этом принятое схемотехническое решение включения светодиода должно обеспечивать стабилизацию его рабочего тока в диапазоне падений напряжений на нем от 0 до $U_{пр.мах}$, которое редко превышает 3 В.

Простейшим способом стабилизации рабочего тока светодиода является включение последовательно с ним балластного резистора (рис. 4а). Расчет номинала этого резистора составляет один из пунктов задания к данной лабораторной работе.

Транзисторная схема постоянного питания светодиода показана на рис. 4б. Потенциал базы транзистора VT фиксирован на уровне $U_{сг}$ параметрическим стабилизатором на стабилитроне VD1. В результате потенциал эмиттера также оказывается стабилизированным: $U_э = U_{сг} - U_{бэ}$. В таком каскаде эмиттерный $I_э = U_э / R_2$, а вместе с ним и коллекторный $I_к = \alpha \times I_э$ (α - коэффициент усиления транзистора в схеме с общей базой) токи мало изменяются, что и гарантирует строго определенное и стабильное возбуждение светодиода.

В качестве токостабилизирующего элемента в схеме на рис. 4в используется полевой транзистор. Ток стока полевого транзистора, когда он находится в активном состоянии ($U_{сн} > 1В$), практически

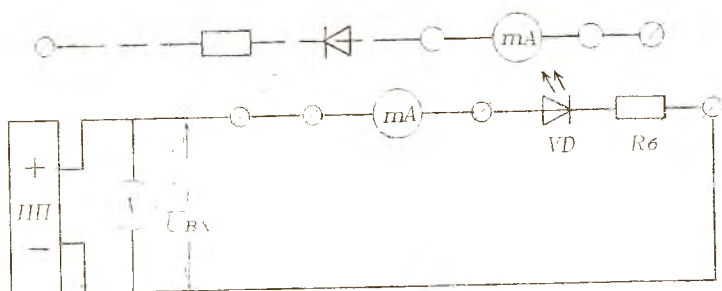


Р и с. 4. Схемы стабилизации тока светодиода

не зависит от напряжения между стоком и истоком $U_{СИ}$, а является лишь функцией напряжения между затвором и истоком $U_{ЗН}$. Резистор R позволяет устанавливать требуемое значение тока.

3. ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Схема экспериментальной установки приведена на рис.5. Она состоит из светодиода VD с последовательно включенным токоограничивающим резистором R_6 . Для измерения тока через светодиод в схему включается многопредельный миллиамперметр mA . Входное напряжение измеряется либо отдельным вольтметром V , либо внутренним вольтметром источника питания ИП. Напряжение на светодиоде U в пренебрежении падением напряжения на самом миллиамперметре определяется выражением $U = U_{ВХ} - IR_6$, которое следует из закона Ома для участка цепи.



Р и с. 5. Схема экспериментальной установки: пунктирной линией приведена схема измерения обратной ветви VAX

Токи прямой ветви VAX составляют от единиц до десятков миллиампер, чему должен соответствовать выбираемый предел измерения миллиамперметра. Если схема собрана верно и действительно снимается прямая ветвь VAX , то светодиод должен излучать, начиная с токов $0,1 \dots 0,5$ мА.

В силу малости обратного тока измерить его непосредственно не всегда удастся. Тогда следует ограничиться измерением $U_{проб}$, не допуская превышения обратным током значения 50 мкА.

Источник питания ИП должен обеспечивать плавную регулировку напряжения от 0 до $15 \dots 20$ В и максимальный ток не менее 20 мА.

4. ЗАДАНИЕ

1. Собрать схему для экспериментального исследования ВАХ светодиода в соответствии с рис.5.

2. Уточнить у преподавателя максимально допустимые для данного светодиода прямой ток и обратное напряжение, а также значение сопротивления резистора R_6 (или измерить его после отключения от источника питания).

3. Выполнить спецификацию схемы : VD , R_6 , ИП , mA , V .

4. Проверить с преподавателем правильность собранной схемы и начальной установки органов управления приборов и осуществить включение приборов.

5. Произвести отсчеты значений ($U_{вх.1}$, I_1) не менее чем в 10 точках каждой из ветвей ВАХ. Если обратный ток окажется слишком мал, то достаточно снять 1-2 точки для определения $U_{пр}$.

6. Рассчитать на основании экспериментальных данных :

а) падение напряжения на светодиоде $U_1 = U_{вх.1} - R_6 I_1$;

б) статическое сопротивление светодиода $R_1 = U_1 / I_1$;

в) динамическое сопротивление светодиода

$$r_1 = \frac{\Delta U_1}{\Delta I_1} = \frac{U_{1+1} - U_1}{I_{1+1} - I_1} ;$$

г) погрешность метода измерения не менее чем в одной точке для каждой из величин (I_1 ; U_1 ; R_1 ; r_1).

7. Результаты измерений и расчетов занести в табл.2.

Таблица 2

Ветвь ВАХ	N	$U_{вх.}$	I_1	U_1	R_1	r_1	Свечение
		п/п ед.из.	ед.из.	ед.из.	ед.из.	ед.из.	
Прямая						
						

8. Построить графики $U_1(I_1)$; $R_1(I_1)$; $r_1(I_1)$.

9. Указать из анализа формы ВАХ и наличия свечения рабочую область токов (I_{\min} , I_{\max}) и напряжений (U_{\min} , U_{\max}).

10. Рассчитать по найденным параметрам (I_{\min} , I_{\max} , U_{\min} , U_{\max}) допустимую нестабильность напряжения питания в зависимости от значения сопротивления токоограничивающего резистора R_6 (см. рис. 5), а также мощность, которую должен рассеивать этот резистор. Под нестабильностью напряжения питания понимать величину $N = 2 \cdot (U_{вх.маx} - U_{вх.миn}) / (U_{вх.маx} + U_{вх.миn})$.

11. Построить зависимости $N(R_6)$ и $P_{рас}(R_6)$ для $0 < R_6 < 10 R_{1\max}$.

12. Если не удалось провести измерения на обратной ветви ВАХ, то следует оценить обратный ток насыщения I_0 в выражении (1), построив на основании экспериментальных данных зависимость

$$I_1 = I_0 (e^{\frac{eU_1}{kT}} - 1),$$

аппроксимируя ее прямой, проходящей через начало координат, и интерпретируя I_0 как угловой коэффициент этой прямой.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Опишите характерный вид ВАХ светодиода.

2. Объясните принципы обеспечения заданного электрического режима светодиода.

3. Приведите схемы стабилизации рабочего тока светодиода и поясните их работу.

4. Предложите варианты оригинального применения светодиода в технических и электронных устройствах.

Лабораторная работа № 3
**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛЬТ-АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА В ГАЗЕ**

Ц Е Л Ь Р А Б О Т Ы: ознакомиться с принципами обеспечения устойчивости режима нелинейных электрических цепей; экспериментально исследовать вольт-амперные характеристики тлеющего газового разряда; научиться, исходя из вольт-амперных характеристик, рассчитывать внешние характеристики источников электропитания газоразрядных приборов.

В подавляющем большинстве газовых лазеров ввод энергии в газ связан с электрическим газовым разрядом, в котором эта энергия через электроны передается атомам среды. Такие лазеры называют газоразрядными или электроразрядными. Этот метод возбуждения технически проще других и сразу создает неравновесное состояние газа, т.к. средняя энергия электронов в газовом разряде значительно превышает тепловую энергию атомов.

Совокупность физических явлений, определяющих протекание тока в газе, разнообразна и поэтому точное описание этого явления с учетом всех элементарных процессов часто невозможно. Необходимо отметить, что для практических целей такое точное рассмотрение часто и не нужно. Если отдельные явления, происходящие в самом газовом промежутке, не являются объектом исследования, то процесс протекания тока в системе в целом можно характеризовать, описав измеренную экспериментально связь силы протекающего через разрядный промежуток тока с напряжением на его концах. Такой метод и называется методом ВАХ.

Эффективный ввод электрической энергии в газовый разряд лазерного излучателя возможен лишь при согласовании его вольтамперных характеристик (ВАХ) с внешней (нагрузочной) характеристикой источника электропитания. Статическая ВАХ нагрузки, представленная в графической, табличной или аналитической формах, дает наиболее полное представление о ее электрических параметрах и позволяет осуществить проектирование источника электропитания как технического устройства, обеспечивающего излучатель всеми необходимыми уровнями напряжений и токов.

Газоразрядный объем можно рассматривать как диполь, характеризуемый определенной зависимостью между протекающим по нему током I и напряжением на его концах U , т.е. $U = f(I)$. В газоразрядных лазерных излучателях практическое применение нашли тлеющий и дуговой разряды, для которых характерны ниспадающие и почти горизонтальные участки зависимости $U = f(I)$, что требует специальных схемотехнических решений для стабилизации электрического рабочего режима лазерного излучателя.

В начальном состоянии электрическая проводимость газоразрядного прибора незначительна, поэтому он представляет разрыв электрической цепи. Включение прибора осуществляется иницированием, в результате которого загорается разряд в газе и промежуток между электродами прибора приобретает электрическую проводимость. Повышение электрической проводимости газа достигается его ионизацией. Ионизировать газ можно путем сообщения ему некоторой дополнительной энергии, например, прикладывая между электродами дополнительную разность потенциалов $U_{з.а.ж}$, которую, таким образом, следует рассматривать в качестве начальной точки рабочей ветви ВАХ.

1. ПОНЯТИЕ ОБ УСТОЙЧИВОСТИ ГАЗОВОГО РАЗРЯДА

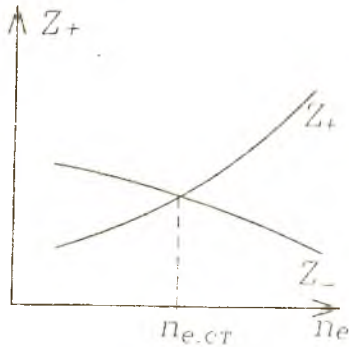
Плазма газового разряда излучателя должна быть не только однородной, но и устойчивой относительно всегда присутствующих в реальных условиях флуктуаций различных параметров. В определенных ситуациях эти вначале малые, случайные флуктуации могут начать нарастать необратимым образом, в результате чего плазма переходит в новую, так называемую неустойчивую фазу, характеризующуюся неоднородным распределением в пространстве концентраций частиц, плотности тока, электрических полей. Устойчивость плазмы очень часто определяет предельные энергетические и пространственные характеристики излучателей и поэтому является одним из основных критериев пригодности конкретного разряда для возбуждения среды.

Общее определение устойчивости динамических систем, каковой является электрический разряд в газе, состоит в том, что система считается устойчивой, если она, выведенная из состояния равновесия, затем, в отсутствии внешних воздействий, с течением времени возвращается к исходному состоянию равновесия и остается в этом состоянии. В противном случае система признается неустойчивой.

На микроскопическом уровне устойчивость некоторой области разряда зависит от баланса в ней свободных электронов. Уравнение баланса электронов может быть записано в виде

$$\frac{dn_e}{dt} = Z_+ - Z_- \quad (1)$$

где Z_+ и Z_- - скорости рождения и гибели электронов.



Р и с. 1. Графики скоростей рождения и гибели электронов

Р и с. 1. Графики скоростей рождения и гибели электронов

В области падающего участка ВАХ качественно зависимости $Z_+(n_e)$ и $Z_-(n_e)$ представлены на рис. 1. Поэтому стационарное состояние $n_{e,ст}$ будет неустойчивым, т.к. отрицательное $\Delta n_e < 0$ приведет к $dn_e/dt < 0$ и погасанию разряда, а $\Delta n_e > 0$ к возрастанию тока и переходу к аномальному тлеющему разряду либо к разрушению газоразрядного прибора. Изменение числа свободных заряженных частиц или их дрейфовой скорости в газоразрядном промежутке макроскопически проявляется в изменении тока в цепи с газоразрядным промежутком и напряжения на нем. Таким образом, цепь, содержащая газоразрядный промежу-

ток, не только нелинейна, но и требует обеспечения устойчивости режима.

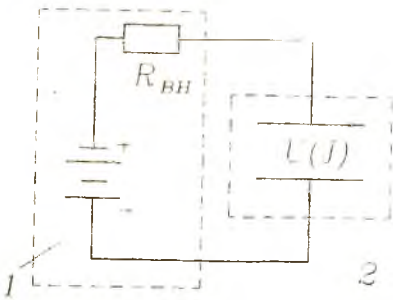
Для нелинейного элемента с ВАХ $U(I)$ вводят статическое

$$R_{ст} = \frac{U(I)}{I} = f_1(I) \quad (2)$$

и динамическое

$$r_d = \frac{dU}{dI} = f_2(I) \quad (3)$$

сопротивления, которые в общем случае зависят от тока также нелинейно.

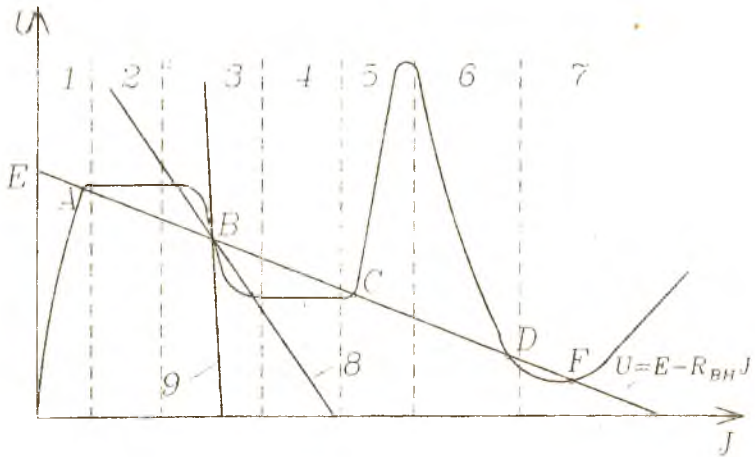


Работоспособность излучателя с ВАХ $U(I)$ от источника электропитания с э.д.с. E и внутренним сопротивлением $R_{вн}$ определяется существованием имеющего физический смысл и устойчивого решения уравнения

$$U(I) = E - R_{вн} I, \quad (4)$$

Р и с. 2. Эквивалентная электрическая схема лазера на постоянном токе: 1 - источник электропитания; 2 - излучатель

которое получается из закона Ома для полной цепи, представленной на рис.2. Как видно из рис.3, уравнение (4) может иметь до пяти статических решений



Р и с. 3. Полная вольт-амперная характеристика газового разряда: 1 - область несамостоятельного разряда; 2 - темный самостоятельный таунсендовский разряд; 3,6 - переходные области с отрицательным дифференциальным сопротивлением; 4 - нормальный тлеющий разряд; 5 - аномальный тлеющий разряд; 7 - дуговой разряд; 8 - $U = E - R_{вн1} J$; 9 - $U = E - R_{вн2} J$. ($R_{вн2} > R_{вн1}$)

(точки A, B, C, D, F), если $U(I)$ - ВАХ газового разряда. Естественно, оптимизируя E и $R_{вн}$, число статических решений уравнения (4) может быть уменьшено (см. прямые 9 и 10 на рис. 3).

Чтобы решить вопрос об устойчивости каждого из статических режимов, в соответствии с определением об устойчивости, необходимо проследить за временной эволюцией тока и напряжения в цепи при малых их возмущениях. Изменения режима в электрических цепях не могут происходить мгновенно. Инерционные свойства электрических цепей учитываются введением индуктивности L и емкости C , которые присутствуют либо в виде реальных электронных элементов, либо как эквивалентные параметры цепи.

2. ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РЕЖИМА НЕПРЕРЫВНОГО ГАЗОРАЗЯДНОГО ЛАЗЕРА

Рассмотрим электрическую цепь, состоящую из источника э. д. с. E с внутренним сопротивлением $R_{вн}$ и газоразрядного промежутка излучателя, представленного в виде последовательно включенных индуктивности L_u и нелинейного сопротивления R_u (рис. 4).

Индуктивный характер плазмы тлеющего разряда следует из аналогии сдвига фаз между напряжением и током на индуктивности в цепи переменного тока и напряженностью электрического поля и скоростью заряженной частицы в переменном электрическом поле (рис. 5).

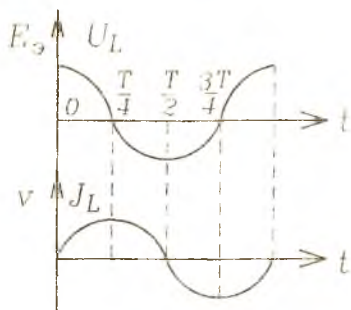
Р и с. 4. Простейшая эквивалентная электрическая схема непрерывного газоразрядного лазера: 1 - источник электропитания; 2 - излучатель

Если ток через индуктивность изменяется по синусоидальному закону с круговой частотой ω :

$$I_L = I_T \sin \omega t \quad (5)$$

где I_T - амплитуда тока, то напряжение на ней опережает ток по фазе на $\pi/2$:

$$U_L = \omega L I_T \sin(\omega t + \pi/2) = \omega L I_T \cos \omega t . \quad (6)$$



Р и с. 5. Сдвиг фаз между напряжением и током

Теперь предположим, что заряженная частица плазмы находится в пространстве между двумя электродами, создающими переменное электрическое поле

Тогда первую четверть периода частица будет ускоряться в некотором направлении и скорость ее достигнет максимума в момент $T/4$, т.е. отстанет по фазе от E_z на $\pi/2$. При постоянной концентрации заряженных частиц электрический ток, ими обусловленный, прямо пропорционален их скорости. Следовательно, в таком идеальном случае ток через газоразрядный промежуток будет отставать от напряжения, приложенного к нему, тоже на $\pi/2$, т.е. как и для идеальной индуктивности.

Применяя второй закон Кирхгофа к замкнутому контуру (рис. 4), получим уравнение цепи

$$R_H I + L_H \frac{dI}{dt} + R_{BH} I = E . \quad (8)$$

При равновесии в статическом состоянии ток не должен изменяться, т.е. $dI_p/dt = 0$. Условимся снабжать все величины в равновесии индексом "р". При равновесии имеем

$$R_{Hp} I_p + R_{BH} I_p = E . \quad (9)$$

Пусть в некоторый момент времени, который мы примем за начальный ($t = 0$), по какой-либо причине $R_{нр}$ получило малое отклонение $\Delta R_{нo}$ (например, по причине ударной ионизации появились дополнительный ион и электрон). Тогда в момент времени $t=0$ ток в цепи и напряжение на разрядном промежутке тоже получают малые приращения ΔI_0 и ΔU_0 .

В последующие моменты времени эти отклонения $\Delta R_{нo}$, ΔI_0 и ΔU_0 начнут изменяться, т.е. будут функциями времени. Для решения вопроса об устойчивости электрического режима, достаточно рассмотреть поведение одной из этих функций во времени, поэтому остановимся на эволюции изменения тока, т.е. попытаемся найти вид функции $\Delta I(t)$, которая в момент времени $t = 0$ имела значение $\Delta I(t = 0) = \Delta I_0$. Поскольку за исходное состояние было принято равновесное (9), то для последующих за моментом $t = 0$ состояний

$$\begin{cases} R_{н} = R_{нр} + \Delta R_{н} \\ I = I_p + \Delta I \\ \frac{dI}{dt} = \frac{d}{dt}(\Delta I) \end{cases} \quad (10)$$

Используя определение статического сопротивления (2), малые его изменения можно представить в виде

$$\Delta R_{н} = \Delta \left(\frac{U}{I} \right) = \frac{\Delta U}{I} - \frac{\Delta I U}{I^2} = \frac{\Delta I}{I} \left(\frac{\Delta U}{\Delta I} - \frac{U}{I} \right)$$

но $\Delta U/\Delta I = r_d$ (см. выражение (3)), а $U/I = R_{н}$. Поэтому

$$\Delta R_{н} = \frac{\Delta I}{I} (r_d - R_{н}) \quad (11)$$

Подставив сначала (10) в (8), получим

$$(R_{нр} + \Delta R_{н})(I_p + \Delta I) + R_{вн}(I + \Delta I) + L_n \frac{d}{dt}(\Delta I) = E \quad (12)$$

После отбрасывания произведения $\Delta R_{н} \Delta I$, как имеющего более вы-

сокий порядок малости по сравнению с другими слагаемыми, и учитывая равенство (9), упростим уравнение (12):

$$\Delta R_{\text{н}} I_{\text{р}} + R_{\text{нр}} \Delta I + R_{\text{вн}} \Delta I + L_{\text{н}} \frac{d}{dt} (\Delta I) = 0. \quad (13)$$

Далее воспользуемся равенством (11) для $I = I_{\text{р}}$ и $R_{\text{н}} = R_{\text{нр}}$:

$$\frac{\Delta I}{I_{\text{р}}} r_{\text{д}} I_{\text{р}} - \frac{\Delta I}{I_{\text{р}}} R_{\text{нр}} I_{\text{р}} + R_{\text{нр}} \Delta I + R_{\text{вн}} \Delta I + L_{\text{н}} \frac{d}{dt} (\Delta I) = 0.$$

Откуда получаем линейное однородное дифференциальное уравнение для приращения тока:

$$L_{\text{н}} \frac{d}{dt} (\Delta I) + (r_{\text{д}} + R_{\text{вн}}) \Delta I = 0. \quad (14)$$

Решение уравнения (14) имеет вид

$$\Delta I = \Delta I_0 \exp\left(-\frac{r_{\text{д}} + R_{\text{вн}}}{L_{\text{н}}} t\right). \quad (15)$$

Если $(r_{\text{д}} + R_{\text{вн}}) > 0$, то $\Delta I \rightarrow 0$ при $t \rightarrow \infty$, т.е. ток I возвращается к его значению $I_{\text{р}}$ и состояние устойчиво. Наоборот, при $(r_{\text{д}} + R_{\text{вн}}) < 0$ имеем $\Delta I \rightarrow \infty$ при $t \rightarrow \infty$, т.е. величина I удаляется от ее значения $I_{\text{р}}$ при равновесии. В области ВАХ с падающим участком зависимости $U(I)$ (область 3 на рис. 3) $r_{\text{д}} < 0$ и устойчивость работы лазера должна обеспечиваться источником питания.

Устойчивость режима достигается включением в схему источника питания балластных резисторов или реактивных токостабилизирующих элементов; параметрической стабилизацией тока с помощью нелинейных стабилизирующих двухполюсников и четырехполюсников различного принципа действия; компенсационной стабилизацией тока, достигаемой использованием систем автоматического регулирования, стабилизацией тока посредством индуктивно-емкостных преобразователей источников неизменного напряжения в источники неизменного тока.

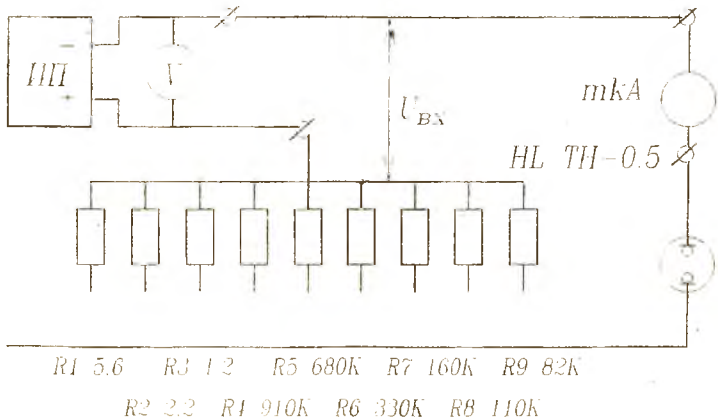
3. ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Грамотное проектирование источника электропитания газоразрядного излучателя невозможно провести без изучения его вольт-амперной характеристики. Обеспечение таких параметров, как напряжение зажигания самостоятельного газового разряда $U_{з.а.ж}$ и положительное динамическое электрическое сопротивление системы излучатель-источник питания, позволяет получить устойчивые формы разряда, и, следовательно, стабильные непрерывные уровни выходной мощности излучения. Рабочее напряжение, а тем более $U_{з.а.ж}$, газоразрядных трубок тлеющего разряда лазерных излучателей превышает 1000 В. Экспериментировать с такими напряжениями неспециалистам опасно, поэтому газоразрядный излучатель в настоящей лабораторной работе имитируется неоновой лампочкой.

ВНИМАНИЕ! Тем не менее, поскольку $U_{з.а.ж}$ и рабочие напряжения неоновой лампы превышают 36 В, то дотрагиваться до токоведущих частей установки при подаче на нее напряжения

КАТЕГОРИЧЕСКИ ЗАПРЕЩАЕТСЯ!

Схема экспериментальной установки приведена на рис. 6. Напря-



Р и с. 6. Схема экспериментальной установки

жение с регулируемого источника питания ИП подается через один из токоограничивающих резисторов $R_1 \dots R_8$ на неоновую лампу HL , последовательно с которой включается микроамперметр $мкА$. Выбор токоограничивающего резистора осуществляется с помощью переключателя SA . Выходное напряжение источника питания ИП измеряется встроенным в него или подключаемым вольтметром V . Источник питания должен обеспечивать регулировку напряжения в пределах $0 \dots 100$ В и выходной ток не менее 1 мА, а микроамперметр $мкА$ - чувствительность не хуже 1 мкА и верхний предел - не менее 1 мА.

Экспериментальная установка позволяет измерять напряжение зажигания по скачку тока микроамперметра либо по загоранию разряда в лампе HL , а также снимать ВАХ газового разряда в области с отрицательным динамическим сопротивлением. При измерении ВАХ предполагается, что внутренним сопротивлением микроамперметра $мкА$, а следовательно и падением напряжения на нем, можно пренебречь. Поэтому напряжение на лампе HL $U_{л}$ рассчитывается по формуле $U_{л} = U_{вх} - R(1 \dots 8) I$, где I - показания микроамперметра, $мкА$; $U_{вх}$ - показания вольтметра V ; $R(1 \dots 9)$ - значение сопротивления одного из резисторов $R_1 \dots R_9$. Набор резисторов обеспечивает широкий диапазон изменения тока разряда в ограниченном диапазоне изменений выходного напряжения источника питания.

4. ЗАДАНИЕ

Измерение ВАХ падающей области 3 (см. рис.3) требует особой аккуратности, т.к. она имеет узкий по токам диапазон существования. Поэтому рекомендуется перемежать получение экспериментальных отсчетов с построением пробных графиков $U_{п}(I)$.

1. Собрать схему для экспериментального исследования ВАХ тлеющего разряда (см. рис.6).

2. Выполнить спецификацию схемы : ИП, V , $мкА$, HL .

3. Проверить с преподавателем правильность собранной схемы и начальной установки органов управления приборов. Осуществить включение приборов.

4. Уточнить у преподавателя максимально допустимые для данной спецификации токи и напряжения.

5. Переключателем SA ввести в цепь R8 (наименьший номинал). Плавно увеличивая $U_{ВХ}$ по скачку тока и появлению свечения лампы HL, определить $U_{Заж}$.

6. Снижая $U_{ВХ}$ от $U_{Заж}$ до погасания разряда U_p , сделать несколько (5...6) отсчетов $U_{ВХi}$ (I_1).

7. Пункты 5 и 6 проделать с каждым из резисторов.

8. Рассчитать напряжение на лампе для каждого значения тока. Результаты занести в таблицу.

$R_1 =$			$R_2 =$			$R_3 =$			$R_8 =$				
$U_{Заж} =$			$U_{Заж} =$			$U_{Заж} =$			$U_{Заж} =$				
$I,$ ед. из.	$U_{ВХ},$ ед. из.	$U_L,$ ед. из.	$I,$ ед. из.	$U_{ВХ},$ ед. из.	$U_L,$ ед. из.	$I,$ ед. из.	$U_{ВХ},$ ед. из.	$U_L,$ ед. из.			$I,$ ед. из.	$U_{ВХ},$ ед. из.	$U_L,$ ед. из.

9. Нанести экспериментальные точки $U_{Л1}(I_1)$ на координатную плоскость (I, U) и построить усредненную ВАХ тлеющего разряда.

10. Разбить ВАХ не менее чем десятью вертикалями $I = const_n$ и получить координаты точек (I_n, U_n) , где $n = 1, 2, \dots, N (N \geq 10)$, которые использовать для расчета сопротивлений статического $R_n = U_n / I_n$ и динамического $r_d = (U_{n+1} - U_n) / (I_{n+1} - I_n)$.

11. Результаты занести в таблицу.

I_n ед.из.	U_n ед.из.	R_n ед.из.	r_d ед.из.

12. Построить графики $R_n(I)$, $r_d(I)$.

13. Оценить погрешность метода измерений R_n и r_d не менее чем в одной точке.

14. Рассчитать допустимую нестабильность

$$N = 2 \frac{U_{ВХ.маx} - U_{ВХ.миn}}{U_{ВХ.маx} + U_{ВХ.миn}}$$

напряжения источника питания для поддержания тока тлеющего разряда в заданных пределах в зависимости от номинала токостабилизирующего резистора.

Конкретные значения допустимых пределов тока и сопротивления (или сопротивлений) получить у преподавателя на основе экспериментальной ВАХ.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Приведите определение ВАХ, статического и динамического сопротивлений газоразрядного прибора.

2. Сформулируйте критерий устойчивого статического равновесия электрической цепи, содержащей нелинейные элементы.

3. Назовите схемотехнические решения, направленные на стабилизацию рабочей точки газоразрядного прибора.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Арцимович Л.А. Элементарная физика плазмы. - М.: Атомиздат, 1966. - 200 с.
2. Балашин Ю.А., Крылов К.И., Шарлай С.Ф. Применение ЭВМ при разработке лазеров. - Л.: Машиностроение, 1989. - 236 с.
3. Вакуленко В.М., Иванов Л.П. Источники питания лазеров. - М.: Сов. радио, 1980. - 104 с.
4. Гринфилд Дж. Транзисторы и линейные ИС: Руководство по анализу и расчету. - М.: Мир, 1992. - 560 с.
5. Еркин А.М. Лампы с холодным катодом. - М.: Энергия, 1972. - 96 с.
6. Залманзон Л.А. Беседы об автоматике и кибернетике. - М.: Наука, 1981. - 416 с.
7. Иванов В.И., Аксенов А.И., Юшин А.М. Полупроводниковые оптоэлектронные приборы: Справочник. - М.: Энергоатомиздат, 1984. - 184 с.
8. Лазерная техника и технология. В 7 кн. Кн.1. Физические основы технологических лазеров / В.С.Голубев, Ф.В.Лебедев. - М.: Высш.школа., 1987. - 191 с.
9. Мухитдинов М., Мусаев Э.С. Светоизлучающие диоды и их применение. - М.: Радио и связь, 1988. - 80 с.
10. Нейман Л.Р., Калантаров П.Л. Теоретические основы электротехники. В 3 Ч. Ч.2. Теория цепей переменного тока. - М.-Л.: Госэнергоиздат, 1954. - 416 с.
11. Носов Ю.Р., Сидоров А.С. Оптроны и их применение. - М.: Радио и связь, 1981. - 280 с.
12. Полупроводниковые приборы. Диоды выпрямительные, стабилитроны, тиристоры: Справочник / Под ред. А.В. Голомедова. - М.: Радио и связь, 1989. - 528 с.
13. Телешевский Б.Е. Лабораторные работы по электро- и радиоизмерениям. - М.: Высш.шк., 1980. - 125 с.
14. Хиленко В.И., Хиленко А.В. Электропитание устройств связи. - М.: Радио и связи, 1995. - 224 с.
15. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники: В 3 Т. Т 1. - М.: Мир, 1993. - 413 с.
16. Шмелев К.Д., Королев Г.В., Источники электропитания лазеров. - М.: Энергоатомиздат, 1981. - 168 с.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Лабораторная работа N 1. ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО СТАБИЛИЗАТОРА НАПРЯЖЕНИЯ.....	1
1. ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СТАБИЛИЗАТОР НАПРЯЖЕНИЯ НА ПОЛУПРОВОДНИКОВОМ СТАБИЛИТРОНЕ.....	3
2. ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ.....	8
3. ЗАДАНИЕ.....	10
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.....	13
Лабораторная работа N 2. ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛЬТ-АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СВЕТОДИОДА.....	14
1. КОНСТРУКЦИЯ И ВАХ СВЕТОДИОДА.....	15
2. СХЕМОТЕХНИКА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РЕЖИМА СВЕТОДИОДА.....	18
3. ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ.....	20
4. ЗАДАНИЕ.....	21
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.....	22
Лабораторная работа N 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛЬТ-АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА В ГАЗЕ.....	23
1. ПОНЯТИЕ ОБ УСТОЙЧИВОСТИ ГАЗОВОГО РАЗРЯДА.....	24
2. ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РЕЖИМА НЕПРЕРЫВНОГО ГАЗОРАЗРЯДНОГО ЛАЗЕРА.....	27
3. ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ.....	31
4. ЗАДАНИЕ.....	32
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.....	34
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	35