

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

Кафедра конструирования узлов и деталей РЭА (КУДР)

Н.И. Кузевных, М.М. Славникова

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ И ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ОПТРОНОВ

*Руководство к лабораторной работе для студентов специальности
211000 Конструирование и технология электронных средств*

2014

СОДЕРЖАНИЕ

1 Введение	3
2 Основные сведения об оптронах	4
2.1 Конструктивные особенности и принцип действия оптронов	4
2.2 Требования к элементам оптронов и их основные свойства	5
2.3 Типы элементарных оптронов и их условные обозначения	8
3 Параметры и характеристики оптронов	9
3.1 Входные параметры диодных оптронов	9
3.2 Выходные параметры диодных оптронов	9
3.3 Параметры передаточной характеристики диодных оптронов	10
3.4 Параметры гальванической развязки	11
4 Описание лабораторной установки	11
5 Задание на выполнение лабораторной работы	12
6 Методика проведения экспериментальных исследований оптрона	13
6.1 Подготовка лабораторной установки	13
6.2 Измерение входных параметров оптрона	14
6.3 Определение коэффициента передачи оптрона	14
6.4 Определение временных параметров оптрона	15
7 Контрольные вопросы для самопроверки	16
Рекомендуемая литература	16

1 ВВЕДЕНИЕ

Оптроном называется оптоэлектронный прибор, состоящий из источника излучения и фотоприемника, связанных между собою оптически и размещенных в общем корпусе.

Принцип функционирования оптрона заключается в преобразовании входного электрического сигнала в световой с помощью источнике света и передаче его по световоду на вход фотоприемника, который преобразует световой поток в электрический выходной сигнал.

Основными функциональными элементами, определяющими физические свойства оптронов, являются излучатели и фотоприемники. При этом излучатель и фотоприемник могут быть связаны между собой как по оптической, так и по электрической цепям. По виду связей излучателя и фотоприемника оптроны делятся на две группы:

- оптроны с прямой оптической связью – *элементарные оптроны, называемые оптопарами;*
- оптроны с комбинированными оптическими и электрическими связями – *активные оптроны.*

Именно возможность реализации разнообразных связей между излучателем и фотоприемником открывает широкие перспективы использования оптронов в функциональной электронике.

Основные достоинства оптронов по сравнению с другими аналогичными электронными и электрическими функциональными устройствами обусловлены тем, что в качестве переносчика информации используются нейтральные к электромагнитным полям *фотоны* и заключаются в следующем:

- идеальная гальваническая развязка между входом и выходом;
- однонаправленность распространения информации;
- широкая частотная полоса пропускания;
- невосприимчивость оптических каналов связи к воздействию электромагнитных полей;
- электрическая и конструктивная совместимость с интегральными микросхемами и другими электронными приборами.

К недостаткам оптронов следует отнести:

- относительно высокий уровень шумов;
- большую потребляемую мощность;
- существенную температурную и временную нестабильность;
- необходимость использования гибридной, непланарной технологии при изготовлении оптронов.

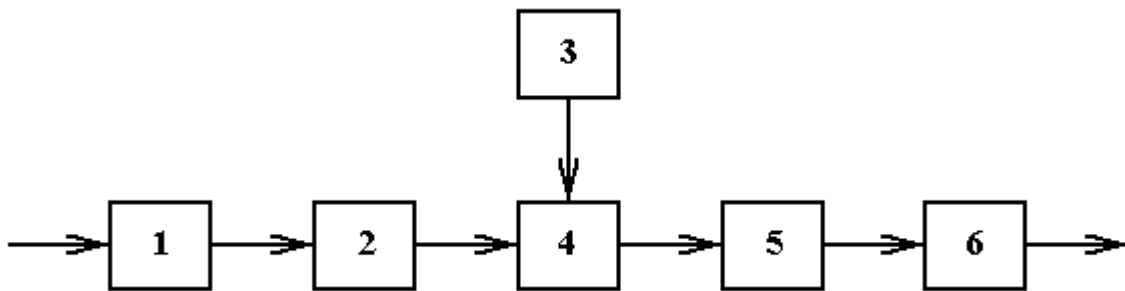
Оптроны с прямой оптической связью используются в радиоэлектронной аппаратуре, аналоговой и дискретной вычислительной и измерительной технике для усиления и преобразования электрических сигналов, согласования низковольтных цепей с высоковольтными, коммутации электрических цепей, гальванической развязки элементов и узлов, моделирования математических операций.

2 ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ОПТРОНАХ

2.1 Конструктивные особенности и принцип действия оптронов

Конструктивно оптроны изготавливаются корпусные и бескорпусные. Корпусные оптроны обычно размещают в стандартных корпусах интегральных микросхем. На основе оптронов реализуются оптоэлектронные интегральные схемы, включающие в себя одну или несколько оптопар, согласующие, усилительные и др. электронные устройства, объединенные электрическими связями в единую схему.

На рисунке 2.1 представлена обобщенная структурная схема оптрона. Входное устройство 1 служит для преобразования входного сигнала (например, модуляции) и оптимизации рабочего режима излучателя. Излучатель 2 преобразует электрический сигнал в оптическое излучение. Назначение оптической среды 4 – передача энергии оптического сигнала от излучателя к фотоприемнику и гальваническая развязка их. Во многих случаях, особенно в бескорпусных оптронах, оптическая среда используется также в качестве основания, обеспечивающего механическую целостность конструкции.



*1 – входное устройство; 2 – излучатель; 3 – устройство управления;
4 – оптическая среда; 5 – фотоприемник; 6 – выходное устройство.*

Рисунок 2.1 – Обобщенная структурная схема оптрона

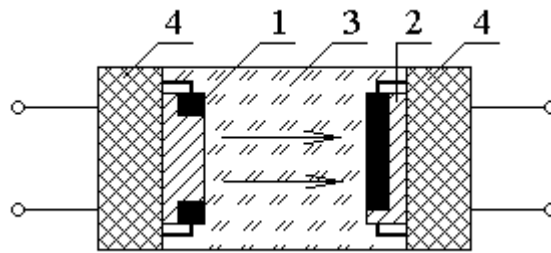
Принципиальная возможность управления оптическими свойствами среды, например, с помощью использования электрооптических или магнитооптических эффектов, отражена введением в схему устройства управления 3. В этом случае получаем оптрон с управляемым оптическим каналом. Функционально он отличается от элементарного оптрона тем, что изменение выходного сигнала может осуществляться как по входу, так и по цепи управления.

В фотоприемнике 5 происходит «восстановление» информационного сигнала из оптического в электрический. В элементарных оптронах в качестве фотоприемников используются фотодиоды, фототранзисторы, фототиристоры и фоторезисторы. По типу фотоприемника принято и называть оптроны.

Выходное устройство 6 призвано преобразовать сигнал от фотоприемника в стандартную форму, удобную для воздействия на последующие за оптроном каскады, чаще всего, входные цепи логических интегральных схем или устройства релейного типа. Практически обязательной функцией выходного

устройства является усиление сигнала, так как потери энергии после двойного преобразования весьма значительны. В этом смысле выходное устройство обязательно только для диодных оптронов, а в транзисторных, тиристорных и резисторных оптронах усиление выходного сигнала осуществляется непосредственно фотоприемниками.

Устройство типичного элементарного оптрона приведено на рисунке 2.2. Конструкция оптрона включает в себя излучатель, фотоприемник и оптическую среду, связывающую их между собой. Элементы оптрона располагаются на основании и, как правило, заключаются в стандартный корпус. Изготавливаются также бескорпусные оптроны для внутриблочного монтажа.



1 – излучатель; 2 – фотоприемник; 3 – оптическая среда; 4 основание оптрона

Рисунок 2.2 – Устройство элементарного оптрона

2.2 Требования к элементам оптронов и их основные свойства

К функциональным элементам оптрона, кроме общих, предъявляются специфические требования, обусловленные необходимостью согласования их по спектральным характеристикам, быстродействию, стабильности и др. свойствам.

Излучатели предназначены для преобразования электрического входного сигнала в световой поток. К ним предъявляются довольно жесткие требования, которые можно свести к следующим:

- высокое быстродействие;
- высокая чувствительность;
- простота и удобство возбуждения и модуляции излучения;
- высокая эффективность преобразования энергии электрического тока в энергию излучения;
- спектральное согласование с выбранным фотоприемником;
- преимущественная направленность излучения.

Для использования оптронов пригодны и доступны несколько разновидностей излучателей: миниатюрные лампочки накаливания; неоновые лампочки; порошковые и тонкопленочные электролюминесцентные ячейки; полупроводниковые инжекционные светоизлучающие диоды – светодиоды. Основные свойства некоторых видов излучателей, используемых в оптронах, представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Обобщенные характеристики излучателей

Вид излучателя	Спектральный диапазон, <i>мкм</i>	Быстродействие, <i>с</i>	Потребляемая мощность, <i>мВт</i>	Управляющее напряжение, <i>В</i>
Лампочки накаливания	0,4 – 4	$10^{-1} - 10^{-2}$	100 – 500	6 – 12
Неоновые лампочки	0,6 – 0,7	$10^{-3} - 10^{-5}$	50 – 200	30 – 80
Электролюминесцентные пленки	0,6 – 0,7	$10^{-3} - 10^{-4}$	(1 – 10) <i>мВт/см²</i>	15 – 30
Светодиоды	0,5 – 0,9	$10^{-6} - 10^{-8}$	1 – 50	1,2 – 1,7

Из анализа характеристик излучателей видно, что наиболее полно приведенным выше требованиям соответствуют **светодиоды**. Они относятся к наиболее универсальным излучателям, обладая следующими свойствами:

- высокое быстродействие;
- большой коэффициент полезного действия преобразования электрической энергии в оптическую;
- простота модуляции мощности излучения;
- узкий спектр излучения (квазимонохроматичность) и направленность излучения;
- широкий спектральный диапазон, перекрываемый различными типами светодиодов;
- линейность ватт-амперной характеристики;
- малые габариты, технологическая и конструктивная совместимость с другими микроэлектронными элементами;
- высокая надежность;
- низкие значения питаемого напряжения и тока;
- возможность работы как в импульсном, так и в непрерывном режиме;
- относительно небольшая потребляемая мощность.

В оптронах наиболее широкое применение получили светодиоды на основе арсенида галлия $GaAs$ и твердых растворов типа $Al_xGa_{1-x}As$ и $GaAs_xP_{1-x}$ с легирующими примесями, придающими определенный цвет излучения.

Фотоприемники в оптронах выполняют функцию преобразователя энергии оптического излучения в электрическую энергию. Для эффективного преобразования энергии фотоприемники должны обладать:

- высоким быстродействием.
- высокой спектральной чувствительностью,
- высоким к.п.д. в рабочем диапазоне длин волн, т.е. эффективностью преобразования энергии излучения в электрическую энергию;
- широкими функциональными возможностями, например, наличием внутреннего усиления.

Существует большое разнообразие фотоприемников различного назначения, конструкций и принципов функционирования, но в оптронах широкое

применение получили наиболее перспективные **полупроводниковые** фотоприемники: фотодиоды, фототранзисторы, фототиристоры, фоторезисторы и различные комбинации из них. В таблице 2.2 приведены основные характеристики полупроводниковых фотоприемников.

Таблица 2.2 – Основные характеристики фотоприемников оптронов

Вид фотоприемника	Быстродействие, с	Коэффициент внутреннего усиления
Фотодиод <i>p-n</i> -типа	$10^{-6} - 10^{-9}$	1
Фотодиод <i>p-i-n</i> -типа	$10^{-8} - 10^{-10}$	1
Лавинный фотодиод	$10^{-9} - 10^{-11}$	$10 - 10^3$
Фототранзистор	$10^{-5} - 10^{-6}$	$10-10^2$
Фототиристор	$10^{-4} - 10^{-5}$	–
Фоторезистор	$10^{-1} - 10^{-3}$	$10^4 - 10^6$

В оптронах используются фотоприемники, чувствительные в видимой и ближней инфракрасной области, так как именно в этом диапазоне спектра имеются высокоэффективные источники излучения – светодиоды. Наиболее универсальными являются фотоприемники с *p-n* переходами (фотодиоды, фототранзисторы и т.п.). В подавляющем большинстве случаев они изготавливаются на основе кремния и область их максимальной чувствительности находится в диапазоне 0,7...0,9 мкм.

Оптическая среда оптрона должна соответствовать следующим основным требованиям:

- обладать высоким удельным сопротивлением, чтобы обеспечить надежную гальваническую развязку между излучателем и фотоприемником;
- иметь минимальный коэффициент поглощения в спектральной области работы оптрона, чтобы обеспечить минимальные потери при передаче светового потока от излучателя к фотоприемнику;
- иметь коэффициент преломления, близкий к коэффициенту преломления излучателя и фотоприемника, чтобы исключить потери на отражение на границах с излучателем и фотоприемником;
- должна быть устойчива к механическим, климатическим и др. видам эксплуатационных воздействий;
- должна хорошо согласовываться по температурным коэффициентам расширения и обладать хорошим коэффициентом адгезии с материалами активных элементов.

В оптронах используется три варианта оптической среды:

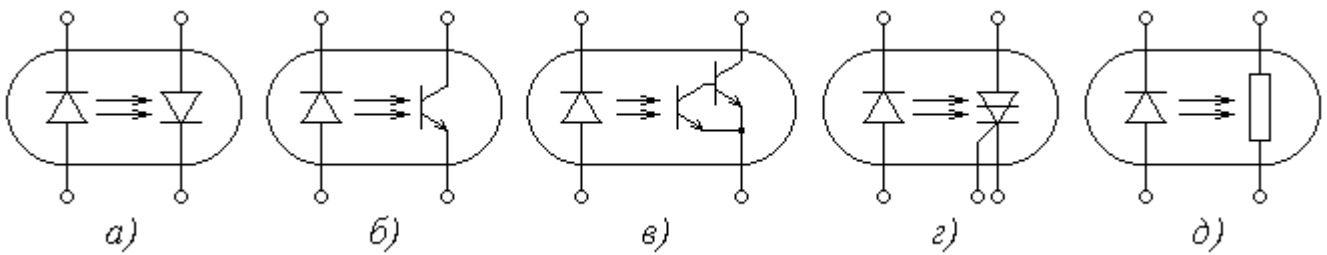
- 1) полимерные материалы – оптические клеи, лаки, вязкие вещества в виде вазелиноподобных силиконовых составов, халькогенидные стекла;
- 2) воздушная. При этом могут использоваться фокусирующие системы на основе стеклянных линз;
- 3) волоконные световоды.

Выбор того или иного варианта оптической среды обусловлен требова-

ниями, связанными с применением оптронов. Наиболее широкое применение получили полимерные смолы и оптические клеи, обладающие хорошей адгезией к арсениду галлия и кремнию, высоким удельным сопротивлением ($\rho > 10^{10} \dots 10^{12} \text{ Ом}\cdot\text{м}$) и механической прочностью, высокой стабильностью и широким диапазоном рабочей температуры ($-60 \dots +120 \text{ }^\circ\text{C}$). Максимально допустимое напряжение между входом и выходом оптрона $U_{из}$ для полимерных клеев и стекол составляет $100 \dots 500 \text{ В}$, а для воздушной среды – до $1 \dots 50 \text{ кВ}$.

2.3 Типы элементарных оптронов и их условные обозначения

Функционально, как элемент электрической схемы, оптрон характеризуется, прежде всего, параметрами фотоприемника. Поэтому они и именуется по типу фотоприемника. К элементарным оптронам относятся диодные, транзисторные, тиристорные и резисторные. На рисунке 2.3 приведены условные изображения элементарных оптронов в электрических схемах.



а – диодный; б – транзисторный; в – составной транзисторный; г – тиристорный; д – резисторный

Рисунок 2.3 – Условные изображения элементарных оптронов

Условные обозначения (маркировка) отечественных оптронов (за исключением резисторных и силовых тиристорных) семизначные буквенно-цифровые. В первой, буквенной, группе:

- первая буква обозначает материал излучателя (А – арсенидгаллиевый светодиод);
- вторая буква «О» – оптрон;
- третья буква – вид фотоприемника (Д – диод, Т – транзистор, Т² – составной транзистор, У – тиристор и т.д.).

Вторая группа – трехзначное число – порядковый номер разработки.

Третья группа (обычно одна буква) – обозначает группу приборов с конкретным сочетанием параметров (А, Б, В и т.д.).

Например: АОД101Б – диодный оптрон с арсенидгаллиевым излучателем, типа 101, группы Б; аналогично, АОТ110А и АОУ103В обозначают транзисторный и тиристорный оптроны.

Тиристорные силовые оптроны обозначаются буквами «ТО» – тиристорный оптрон и цифрами, указывающими величину тока коммутации, например: ТО - 6,3; ТО - 10; ТО2 - 10; ТО2 - 40 и т.д.

Резисторные оптроны обозначаются буквами «ОЭП» – оптоэлектронная пара и цифрой, обозначающей тип оптрона.

У бескорпусных оптронов в конце обозначения добавляется еще одна цифра, определяющая вид исполнения, например, АОД 120А-1 – бескорпусной диодный оптрон с гибкими выводами (исполнение 1). Оптоэлектронные интегральные микросхемы обозначаются как обычные микросхемы, например, К249ЛП1А – оптоэлектронная микросхема, отнесенная к микросхемам «логическим прочим» (ЛП).

3 ПАРАМЕТРЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ОПТРОНОВ

Функциональные возможности оптронов довольно широкие. Наиболее часто они используются в качестве элементов связи. В этом случае важно знать входные, выходные и передаточные параметры. При использовании оптронов в импульсных цепях весьма важными являются динамические свойства – временные и частотные. Использование оптронов в качестве коммутационных устройств требует знания всех параметров оптронов: входных, выходных, временных и параметров гальванической развязки.

Параметры и характеристики оптронов определены в ГОСТ 27299–87 Приборы полупроводниковые оптоэлектронные. В нем все параметры оптронов разделены на четыре группы: входные, выходные, передаточной функции и гальванической развязки. Для различных типов оптронов параметры могут различаться. Здесь ограничимся лишь параметрами для диодных оптронов.

3.1 Входные параметры диодных оптронов

Первая группа параметров характеризует свойства входной цепи оптрона. Для диодных оптронов к ним относятся:

- **номинальный входной ток $I_{вх.н}$** – значение тока, рекомендуемое для оптимальной энсинуации оптрона и используемое при измерении его основных параметров;

- **входное напряжение $U_{вх}$** – прямое напряжение на светодиоде при заданном прямом токе;

- **максимально допустимый входной ток $I_{вх.мах}$** – максимальная величина постоянного прямого тока, которую допускается пропускать через светодиод;

- **максимально допустимое обратное входное напряжение $U_{вх.обр}$** – максимальное значение обратного напряжения любой формы, которое допускается подавать на светодиод;

- **входная емкость $C_{вх}$** – емкость между входными выводами оптрона.

3.2 Выходные параметры диодных оптронов

Вторая группа параметров характеризует выходную цепь оптрона – это следующие параметры:

максимально допустимое обратное выходное напряжение $U_{\text{вых.обр}}$ – максимальное значение обратного напряжения любой формы, которое допускается прикладывать к выходу оптрона;

- *темновой ток на выходе* $I_{\text{вых.тем}}$ – ток на выходе оптрона при $I_{\text{вх}} = 0$;
- *выходная емкость* $C_{\text{вых}}$ – емкость между выходными выводами оптрона.

3.3 Параметры передаточной характеристики диодных оптронов

Параметры передаточной характеристики отражают степень воздействия излучателя на фотоприемник. Как элемент связи оптрон характеризуется *статическим коэффициентом передачи по току* K_I – это отношение тока на выходе оптрона к величине входного тока.

При прохождении через оптрон входной сигнал искажается. Степень искажения формы выходного сигнала по сравнению с входным оценивается по импульсной переходной характеристике следующими временными параметрами (см. рисунок 3.1):

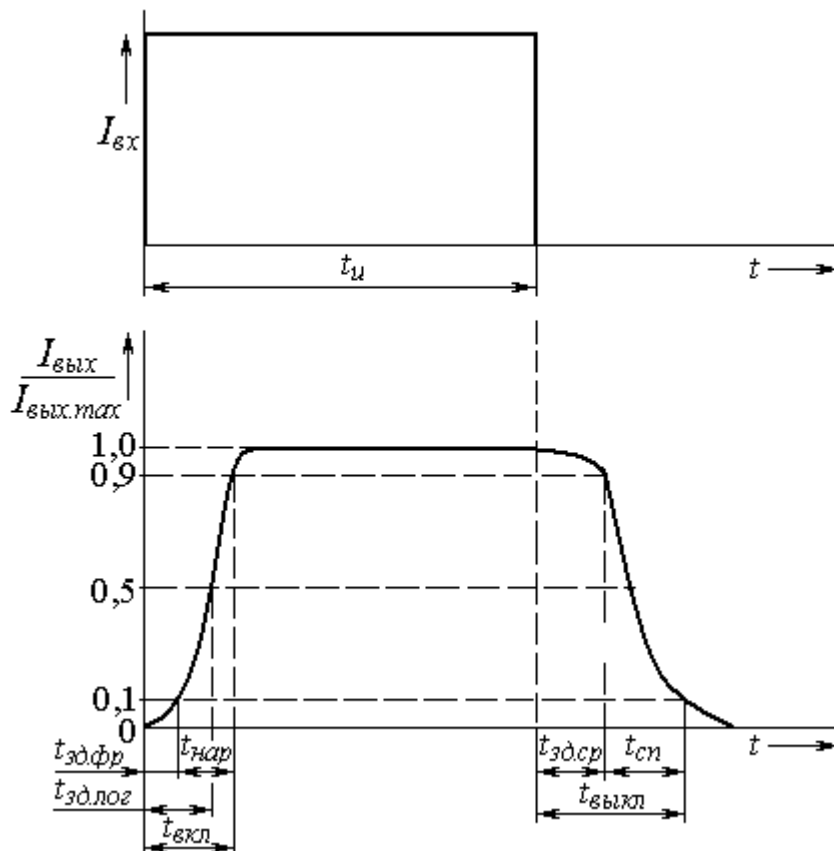


Рисунок 3.1 – Импульсная переходная характеристика выходного тока оптрона

- *временем нарастания и спада выходного импульса* $t_{\text{нар}}$ и $t_{\text{сп}}$;
- *временем задержки переднего фронта и среза импульса* $t_{\text{зд.фр}}$ и $t_{\text{зд.сп}}$;
- *временем включения и выключения* $t_{\text{вкл}}$ и $t_{\text{выкл}}$ или *временем логической задержки* $t_{\text{зд.лог}}$.

Значения временных параметров определяются по уровням 0,1; 0,5 и 0,9 от максимального уровня выходного импульса. Так время нарастания и спада выходного импульса $t_{нар}$ и $t_{сп}$ определяются по уровням от 0,1 до 0,9 и от 0,9 до 0,1, соответственно. Время задержки переднего фронта выходного импульса $t_{зд.фр}$ определяется при нарастании сигнала от 0 до 0,1, а время задержки среза импульса $t_{зд.сп}$ – по уровням 1,0 – 0,1. Время логической задержки выходного сигнала $t_{зд.лог}$ определяется по уровню 0,5 амплитуды выходного импульса. Время включения $t_{вкл}$ определяется по уровням от 0 до 0,9, а время выключения $t_{выкл}$ – от 1,0 до 0,1. Это обусловлено экспоненциальным характером переходных процессов в оптронах.

Частотные свойства оптрона характеризуются *граничной частотой* $f_{зр}$. Это частота, при которой относительная величина амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) по току снижается до 0,7 ($W_I(f_{зр}) = 0,7$) по сравнению с АЧХ в области низких частот – $W_I(f) = 1$.

3.4 Параметры гальванической развязки

Возможности оптрона как элемента гальванической развязки характеризуются:

- *максимальным напряжением развязки* $U_{из}$ – это максимально допустимое напряжение между входом и выходом оптрона;
- *сопротивлением развязки* $R_{из}$ – сопротивление между входной и выходной цепями оптрона;
- *проходной емкостью* $C_{пр}$ – емкость между входной и выходной цепями оптрона.

Все параметры гальванической развязки измеряются между замкнутыми входными и замкнутыми выходными выводами оптрона.

4 ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Схема электрическая принципиальная лабораторной установки представлена на рисунке 4.1. Она включает в себя:

- лабораторный макет – на схеме выделен штриховой линией;
- генератор импульсный G;
- осциллограф двухлучевой N;
- вольтметры цифровые V.

Лабораторный макет состоит из исследуемого диодного оптрона типа ... (V1), встроенного источника питания постоянного напряжения UZ, миллиамперметра А (РА1), выключателя (тумблера) S1, переключателя галетного S2 и набора нагрузочных резисторов R2-R9. Выключатель S1 (ПИТАНИЕ ОПТРОНА) служит для выбора рода питания светодиода оптрона – постоянным током от встроенного источника питания UZ (ВНУТ.) или переменным током (импульсным или синусоидальным) от внешнего генератора G (ГЕНЕРАТОР). Ве-

личина нагрузки оптрона устанавливается переключателем S2 (НАГРУЗКА) путем подключения нагрузочных резисторов R2-R9, номинальные значения сопротивлений которых, соответственно, равны: 10 и 100 Ом; 1, 5, 10, 50, 100 и 150 кОм. Для подключения внешних приборов предусмотрены соединители X1-X4, расположенные на передней лицевой панели. Питание лабораторного макета осуществляется от промышленной сети (220 В, 50 Гц), которое подается с помощью выключателя СЕТЬ (на схеме не показано). Для контроля подключения макета к сети предусмотрена контрольная лампочка – светодиод красного цвета, расположенный над выключателем. Величина тока светодиода оптрона устанавливается с помощью резистора переменного сопротивления R1 (ТОК ОПТРОНА).

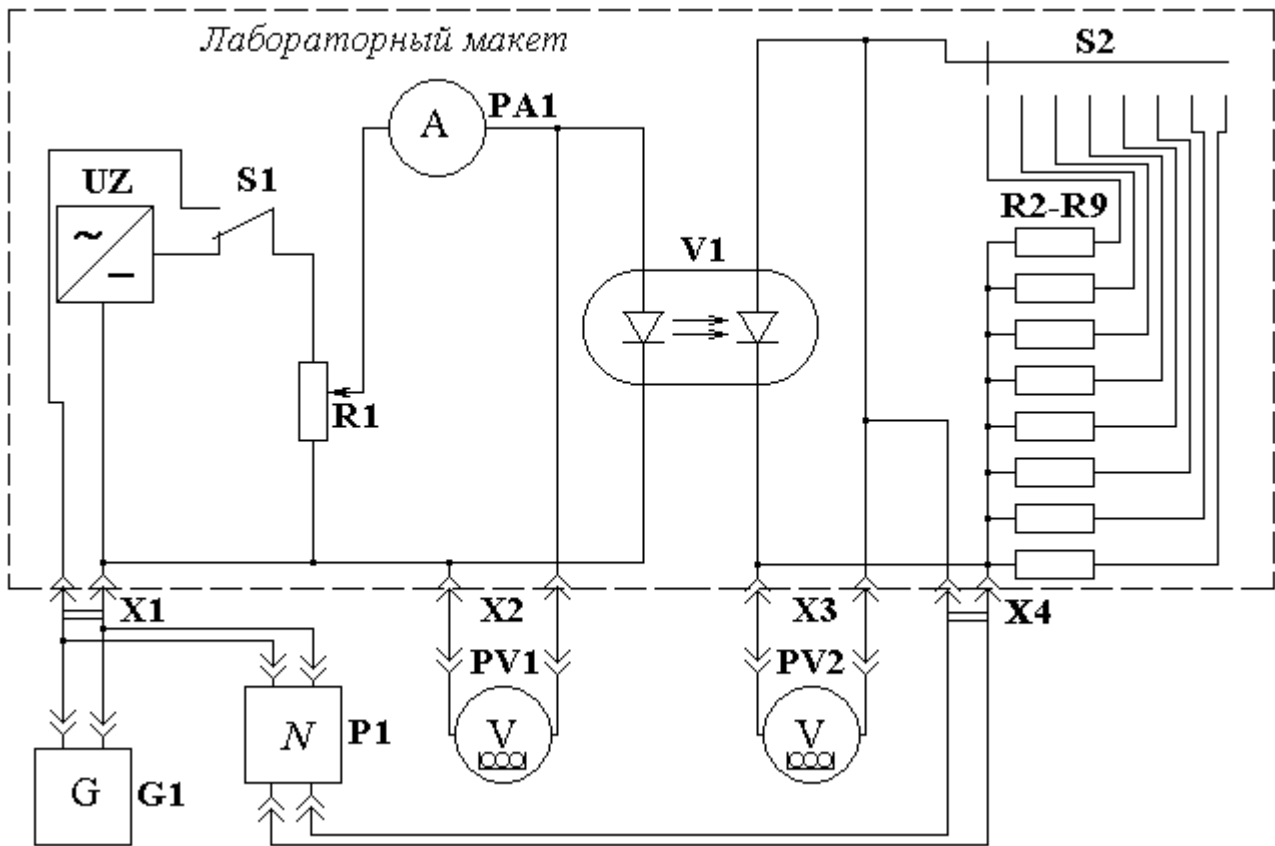


Рисунок 4.1 – Схема электрическая лабораторной установки

5 ЗАДАНИЕ НА ВЫПОЛНЕНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

5.1. Ознакомиться с лабораторной установкой и с конструкцией лабораторного макета, подготовить установку к проведению экспериментальных исследований. Рекомендации см. в подразделе 6.1.

5.2. Определить входные параметры фотодиодного оптрона $I_{вх.н}$ и $U_{вх.н}$ на постоянном токе. Снять входную характеристику оптрона $I_{вх}(U_{вх})$ (методику измерений см. в подразделе 6.2). Результаты измерений $I_{вх}$ и $U_{вх}$ внести в таблицу 5.1. Построить входную характеристику $I_{вх}(U_{вх})$ и определить номинальные значения входного тока $I_{вх.н}$ и напряжения $U_{вх.н}$.

Таблица 5.1 – Результаты измерения входной характеристики оптрона

$I_{вх}, mA$	0	1	2	3	4	5	6	8	10	12	14	16	20
$U_{вх}, B$	0												

5.3. Снять зависимость выходного напряжения $U_{вых}$ фотодиодного оптрона от входного тока $I_{вх}$ и рассчитать значения выходного тока по формуле (6.1). Результаты измерений и расчета внести в таблицу 5.2. Построить передаточную характеристику $I_{вых}(I_{вх})$ и определить статический коэффициент передачи оптрона по току K_I . Методические рекомендации по выполнению данного пункта см. в подразделе 6.3.

Таблица 5.2 – Результаты измерения передаточной характеристики оптрона

$I_{вх}, mA$	0	2	4	6	8	10	12	14	16	20
$U_{вых}, B$	0									
$I_{вых}, mA$	0									

5.4. Определить динамические свойства оптрона – временные параметры импульсной переходной характеристики: время нарастания, время спада и времена задержки выходного импульса, время включения и время выключения оптрона. Методику проведения эксперимента см. в подразделе 6.4. Результаты эксперимента внести в таблицу 5.3. Сюда же внести справочные данные исследуемого оптрона.

Таблица 5.3 – Результаты определения временных параметров оптрона, мкс

Обозначения параметров	$t_{нар}$	$t_{сп}$	$t_{зд.фр}$	$t_{зд.сп}$	$t_{вкл}$	$t_{выкл}$	$t_{зд.лог}$
Экспериментальные данные							
Справочные данные							

5.5 Провести сравнение полученных экспериментальных данных со справочными данными исследуемого оптрона и сформулировать выводы. Вид оптопары, параметры импульса, нагрузка оптопары задаются преподавателем.

5.6 Оформить отчет согласно требованиям, приведенным в [4], и представить к защите.

6 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ОПТРОНА

6.1 Подготовка лабораторной установки

6.1.1 Ознакомиться с лабораторной установкой – изучить схему электрическую по рисунку 4.1 и найти соответствующие устройства в установке.

6.1.2 Ознакомиться с устройством лабораторного макета – изучить схему электрическую лабораторного макета по рисунку 4.1 и найти на лицевой панели все элементы коммутации и регулирования: выключатели (тумблеры) СЕТЬ и ПИТАНИЕ ОПТРОНА (S1); переключатель НАГРУЗКА (S2); гнезда соединителей: ГЕНЕРАТОР (X1), ОСЦИЛЛОГРАФ (X4), ВХОД (X2), ВЫХОД (X3); ручку управления ТОК ОПТРОНА (R1).

6.1.3 Привести лабораторную установку в исходное состояние:

- выключатели СЕТЬ на макете и на приборах установки должны быть выключены (контрольные лампочки не горят);
- ручку ТОК ОПТРОНА повернуть в крайнее левое положение до упора – входное напряжение оптрона минимальное;
- переключатель НАГРУЗКА установить в крайнее правое положение – нагрузка оптрона минимальная (сопротивление нагрузки максимальное);
- выключатель ПИТАНИЕ ОПТРОНА перевести в положение ВНУТРЕННЕЕ (верхнее положение) – питание оптрона от источника постоянного тока;
- подключить вольтметр (типа В7–26) к гнездам соединителя ВХОД на макете, соблюдая полярность;
- внешние устройства генератор G и осциллограф N должны быть отключены от лабораторного макета.

6.2 Измерение входных параметров оптрона

6.2.1 Включить электропитание вольтметра и лабораторного макета. При этом должны загореться контрольные лампочки.

6.2.2 Плавно поворачивая ручку ТОК ОПТРОНА вправо, снять входную (вольтамперную) характеристику оптрона. Измерения проводятся при изменении входного тока от 1 до 20 мА (через 1-2 мА). Величина тока устанавливается по миллиамперметру РА1, а напряжение контролируется по цифровому вольтметру РV1. При этом величина тока не должна превышать 25 мА. Результаты измерений I_{ex} и U_{ex} заносятся в таблицу 5.1. По результатам измерений строится входная характеристика $I_{ex}(U_{ex})$ и по ней определяются номинальные значения входного тока $I_{ex.n}$ и напряжения $U_{ex.n}$.

6.3 Определение коэффициента передачи оптрона

6.3.1 Ручку ТОК ОПТРОНА вывести в крайнее левое положение до упора.

6.3.2 Подключить вольтметр (типа В7–26) к гнездам соединителя ВЫХОД на макете, соблюдая полярность.

6.3.3 Переключателем НАГРУЗКА (S1) по рекомендации преподавателя установить величину нагрузки оптрона R_n .

6.2.2 Плавно поворачивая ручку ТОК ОПТРОНА вправо, снять зависимость выходного напряжения оптрона $U_{вых}$ от входного тока $I_{вх}$. Измерения проводятся при изменении входного тока от 0 до 20 мА (через 2 мА). При этом величина тока не должна превышать 25 мА. Результаты измерений заносятся в таблицу 5.2. По результатам измерений рассчитываются значения выходного тока по формуле (6.1), а результаты вносятся в таблицу 5.2.

$$I_{вых} = U_{вых}/R_n. \quad (6.1)$$

Строится переходная характеристика $I_{вых}(I_{вх})$ и по ней определяется коэффициент передачи оптрона по току K_I при номинальном значении входного тока $I_{вх.н}$.

6.4 Определение временных параметров оптрона

6.4.1 Подготовить лабораторную установку к исследованию динамических свойств оптрона:

- подключить внешние устройства ГЕНЕРАТОР и ОСЦИЛЛОГРАФ к сети питания – выключатели СЕТЬ перевести в положение ВКЛЮЧЕНО;
- ручку ТОК ОПТРОНА повернуть в крайнее левое положение до упора;
- переключатель НАГРУЗКА установить в крайнее правое положение;
- выключатель ПИТАНИЕ ОПТРОНА перевести в положение ГЕНЕРАТОР (нижнее положение) – питание оптрона от импульсного генератора;
- вывести напряжение импульсного генератора до минимума (повернуть ручку в крайнее левое положение) и подключить к гнезду соединителя ГЕНЕРАТОР на макете тройник. Подключить к одному из гнезд тройника с помощью внешнего кабеля генератор G (см. рисунок 4.1);
- подключить с помощью кабелей осциллограф N к лабораторной макету. Один вход к гнезду ГЕНЕРАТОР (X1) через тройник, другой вход к гнезду ОСЦИЛЛОГРАФ (X4) (см. рисунок 4.1);
- установить частоту и напряжение импульсного генератора согласно рекомендациям преподавателя. **Выходное напряжение генератора не должно превышать одного вольта.**

6.4.2 Настроить первый канал осциллографа на четкое изображение входного импульса с помощью рукояток: СИНХРОНИЗАЦИЯ, АСТИГМАТИЗМ, РАЗВЕРТКА и УСИЛЕНИЕ. Обратит внимание на наличие/отсутствие искажений формы входного импульса и установить по сетке начало и конец импульса. Аналогично настроить второй канал осциллографа на четкое изображение выходного импульса, разместив его в линейной части экрана.

6.4.3 Скопировать на кальку выходной импульсный сигнал, отметив начало и конец входного импульса и рассчитать масштаб по оси времени (мкс/мм).

6.4.4 Определить все временные параметры оптрона согласно рисунку 3.1: время нарастания $t_{нар}$ и спада $t_{сп}$; время задержки переднего фронта $t_{зд.фр}$ и среза импульса $t_{зд.ср}$; время включения $t_{вкл}$, выключения $t_{выкл}$ и логической задержки $t_{зд.лог}$ выходного импульса. Внести результаты эксперимента в таблицу 5.3.

7 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

- 7.1 Что называется элементарным оптроном?
- 7.2 Какие типы элементарных оптронов вы знаете?
- 7.3 Какие типы излучателей нашли применение в оптронах?
- 7.4 Принципы функционирования элементарных оптронов?
- 7.5 Как условно обозначаются оптроны в электрических схемах?
- 7.6 Как маркируются элементарные оптроны и оптоэлектронные интегральные микросхемы?
- 7.7 Какими параметрами характеризуются входная и выходная цепи диодного оптрона?
- 7.8 Способы реализации оптической связи в оптронах?
- 7.9 Какими параметрами характеризуется гальваническая развязка оптрона?
- 7.10 Какими параметрами характеризуются динамические свойства диодного оптрона?
- 7.11 Области применения элементарных оптронов и основные требования к их свойствам?

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

- 1 Кузевных Н.И. Физика функциональных устройств: Учебное пособие для студентов специальности 210201 – «Проектирование и технология радиоэлектронных средств». – Томск: ТУСУР, 2007. – 145 с.
- 2 Носов Ю.Р., Сидоров А.С. Оптоны и их применение.–М.: Радио и связь, 1981.–279 с.
- 3 Кравченко А.Ф. Физические основы функциональной электроники: Учебное пособие для вузов.– Новосибирск: Изд-во Новосиб. ун-та, 2000.– 444 с.
- 4 Кузевных Н.И. Общие требования и правила оформления отчетов по лабораторным работам: Методические указания по оформлению отчетов по лабораторным работам для студентов всех специальностей. – Томск: ТУСУР, 2012. – 12 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [edu,tusur.ru/training/publications/](http://edu.tusur.ru/training/publications/)