

ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

Кисель Е.Р.

Научный руководитель – старший преподаватель Жуковская Т.Е.

Работа оптоэлектронных приборов основана на электронно-фотонных процессах получения, передачи и хранения информации.

Простейшим оптоэлектронным прибором является оптоэлектронная пара, или оптрон. Принцип действия оптрона, состоящего из источника излучения, иммерсионной среды (световода) и фотоприемника, основан на преобразовании электрического сигнала в оптический, а затем снова в электрический.

Оптроны как функциональные приборы обладают следующими преимуществами перед обычными радиоэлементами:

полной гальванической развязкой «вход – выход» (сопротивление изоляции превышает $10^{12} - 10^{14}$ Ом);

абсолютной помехозащищенностью в канале передачи информации (носителями информации являются электрически нейтральные частицы – фотоны);

однаправленностью потока информации, которая связана с особенностями распространения света;

широкополосностью из-за высокой частоты оптических колебаний,

достаточным быстродействием (единицы наносекунд);

высоким пробивным напряжением (десятки киловольт);

малым уровнем шумов;

хорошей механической прочностью.

По выполняемым функциям оптрон можно сравнивать с трансформатором (элементом связи) при реле (ключом).

В оптронных приборах применяют полупроводниковые источники излучения – светоизлучающие диоды, изготавливаемые из материалов соединений группы $A^{III} B^V$, среди которых наиболее перспективны фосфид и арсенид галлия. Спектр их излучения лежит в области видимого и ближнего инфракрасного излучения (0,5 – 0,98 мкм). Светоизлучающие диоды на основе фосфида галлия имеют красный и зеленый цвет свечения. Перспективны светодиоды из карбида кремния, обладающие желтым цветом свечения и работающие при повышенных температурах, влажности и в агрессивных средах.

Светодиоды, излучающие свет в видимом диапазоне спектра, используют в электронных часах и микрокалькуляторах.

Светоизлучающие диоды характеризуются спектральным составом излучения, который достаточно широк, диаграммой направленности; квантовой эффективностью, определяемой отношением числа испускаемых квантов света к количеству прошедших через $p-n$ -переход электронов; мощностью (при невидимом излучении) и яркостью (при видимом излучении); вольтамперными, люмен-амперными и ватт-амперными характеристиками; быстродействием (нарастанием и спадом электролюминесценции при импульсном возбуждении), рабочим диапазоном температур. При повышении рабочей температуры яркость светодиода падает и снижается мощность излучения.

Основные характеристики светоизлучающих диодов видимого диапазона приведены в табл. 1, а инфракрасного диапазона – в табл. 2.

Таблица 1 Основные характеристики светоизлучающих диодов видимого диапазона

Тип диода	Яркость, кд/м ² , или сила света, мккд	Постоянное прямое напряжение, В	Цвет свечения	Постоянный прямой ток, мА	Масса, г
КЛ101 А – В	10 – 20 кд/м ²	5,5	Желтый	10 – 40	0,03
АЛ102 А – Г	40 – 250 мккд	2,8	Красный, зеленый	5 – 20	0,25
АЛ307 А – Г	150 – 1500 мккд	2,0 – 2,8	Красный, зеленый	10 – 20	0,25

Светоизлучающие диоды в оптоэлектронных приборах соединяются с фотоприемниками иммерсионной средой, основным требованием к которой является передача сигнала с минимальными потерями и искажениями. В оптоэлектронных приборах используют твердые иммерсионные среды – полимерные органические соединения (оптические клеи и лаки), халькогенидные среды и волоконные световоды. В зависимости от длины оптического канала между излучателем и фотоприемником оптоэлектронные приборы можно подразделить на оптопары (длина канала 100 – 300 мкм), оптоизоляторы (до 1 м) и волоконно-оптические линии связи – ВОЛС (до десятков километров).

Таблица 2. Основные характеристики светоизлучающих диодов инфракрасного диапазона

Тип диода	Полная мощность излучения, мВт	Постоянное прямое напряжение, В	Длина волны излучения, мкм	Время нарастания импульса излучения, нс	Время спада импульса излучения, нс	Масса, г
АЛ103 А, Б	0,6 – 1 (при токе 50 мА)	1,6	0,95	200 – 300	500	0,1
АЛ106 А – Д	0,2 – 1,5 (при токе 100 мА)	1,7 – 1,9	0,92 – 0,935	10	20	0,5
АЛ107 А, Б	6 – 10 (при токе 100 мА)	2	0,95	–	–	0,2
АЛ108 А	1,5 (при токе 100 мА)	2	0,94	400	1000	0,15
АЛ109 А	0,2 (при токе 20 мА)	1,2	0,94	–	–	0,006
АЛ115 А	10 (при токе 50 мА)	2,0	0,9 – 1	300	500	0,2

К фотоприемникам, используемым в оптронах приборах, предъявляют требования по согласованию спектральных характеристик с излучателем, минимуму потерь при преобразовании светового сигнала в электрический, фоточувствительности, быстродействию, размерам фоточувствительной площадки, надежности и уровню шумов.

Для оптронов наиболее перспективны фотоприемники с внутренним фотоэффектом, когда взаимодействие фотонов с электронами внутри материалов с определенными физическими свойствами приводит к переходам электронов в объеме кристаллической решетки этих материалов.

Внутренний фотоэффект проявляется двояко: в изменении сопротивления фотоприемника под действием света (фоторезисторы) либо в появлении фото-ЭДС на границе раздела двух материалов – полупроводник-полупроводник, металл-полупроводник (вентильные фотоэлементы, фотодиоды, фототранзисторы).

Фотоприемники с внутренним фотоэффектом подразделяют на фотодиоды (с *p-n*-переходом, МДП-структурой, барьером Шоттки), фоторезисторы, фотоприемники с внутренним усилением (фототранзисторы, составные фототранзисторы, фототиристоры, полевые фототранзисторы).

Фотодиоды выполняют на основе кремния и германия. Максимальная спектральная чувствительность кремния 0,8 мкм, а германия – до 1,8 мкм. Они работают при обратном смещении на *p-n*-переходе, что позволяет повысить их быстродействие, стабильность и линейность характеристик.

Наиболее часто в качестве фотоприемников оптоэлектронных приборов различной сложности применяют фотодиоды *p-i-n*-структуры, где *i* – обедненная область высокого электрического поля. Меняя толщину этой области, можно получить хорошие характеристики по быстродействию и чувствительности за счет малой емкости и времени пролета носителей.

Повышенной чувствительностью и быстродействием обладают лавинные фотодиоды, использующие усиление фототока при умножении носителей заряда. Однако у этих фотодиодов недостаточно стабильны параметры в диапазоне температур и требуются источники питания высокого напряжения. Перспективны для использования в определенных диапазонах длин волн фотодиоды с барьером Шоттки и с МДП-структурой.

Фоторезисторы изготавливают в основном из поликристаллических полупроводниковых пленок на основе соединения (кадмия с серой и селеном). Максимальная спектральная чувствительность фоторезисторов 0,5 – 0,7 мкм. Фоторезисторы, как правило, применяют при малой освещенности; по чувствительности они сравнимы с фотоэлектронными умножителями – приборами с внешним фотоэффектом, но требуют низковольтного питания. Недостатками фоторезисторов являются низкое быстродействие и высокий уровень шумов.

Наиболее распространенными фотоприемниками с внутренним усилением являются фототранзисторы и фототиристоры. Фототранзисторы чувствительнее фотодиодов, но менее быстродействующие. Для большего повышения чувствительности фотоприемника применяют составной фототранзистор, представляющий сочетание фото- и усилительного транзисторов, однако он обладает невысоким быстродействием.

В оптронах в качестве фотоприемника можно использовать фототиристор (полупроводниковый прибор с тремя *p-n*-переходами, переключающийся при освещении), который обладает высокими чувствительностью и уровнем выходного сигнала, но недостаточным быстродействием.

Многообразие типов оптронов определяется в основном свойствами и характеристиками фотоприемников. Одно из основных применений оптронов – эффективная гальваническая развязка передатчиков и приемников цифровых и аналоговых сигналов. В этом случае оптрон можно использовать в режиме преобразователя или коммутатора сигналов. Оптрон характеризуется допустимым входным сигналом (током управления), коэффициентом передачи тока, быстродействием (временем переключения) и нагрузочной способностью.

Отношение коэффициента передачи тока к времени переключения называется добротностью оптрона и составляет 10^5 – 10^6 для фотодиодных и фототранзисторных оптронов. Широко используют оптроны на основе фототиристоров. Оптроны на фоторезисторах не получили широкого распространения из-за низкой временной и температурной стабильности. Схемы некоторых оптронов приведены на рис. 1, *a* – *z*.

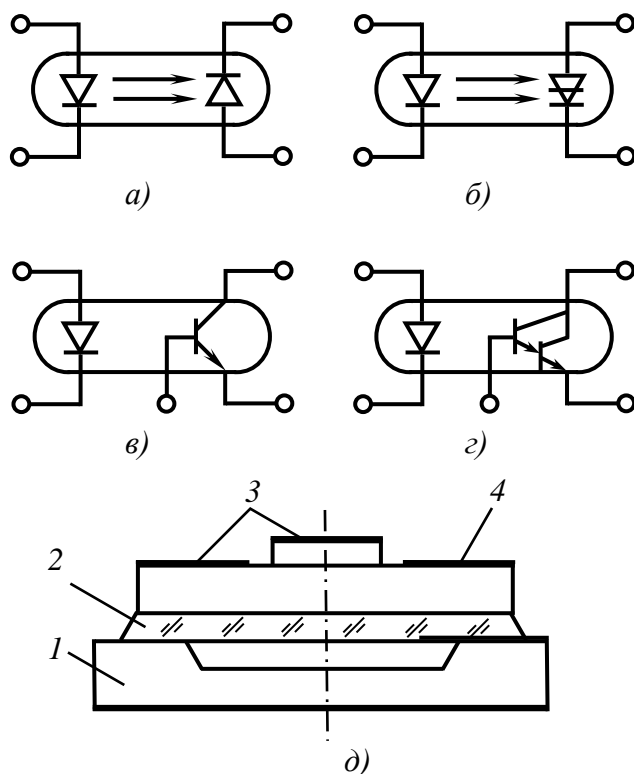


Рисунок 1. Схемы оптронов с фотодиодом (а), фототиристором (б), фототранзистором (в), составным фототранзистором (г) и разрез оптрона (д):

1,4 – приемник и источник света, 2 – световод, 3 – омические контакты

В качестве когерентных источников излучения применяют лазеры, обладающие высокой стабильностью, хорошими энергетическими характеристиками и эффективностью. В оптоэлектронике для конструирования компактных устройств используют полупроводниковые лазеры – лазерные диоды, применяемые, например, в волоконно-оптических линиях связи вместо традиционных линий передачи информации – кабельных и проводных. Они обладают высокой пропускной способностью (полоса пропускания единицы гигагерц), устойчивостью к воздействию электромагнитных помех, малой массой и габаритами, полной электрической изоляцией от входа к выходу, взрыво- и пожаробезопасностью. Особенностью ВОЛС является использование специального волоконно-оптического кабеля, структура которого представлена на рис. 2. Промышленные образцы таких кабелей имеют затухание 1 – 3 дБ/км и ниже. Волоконно-оптические линии связи используют для построения телефонных и вычислительных сетей, систем кабельного телевидения с высоким качеством передаваемого изображения. Эти линии допускают одновременную передачу десятков тысяч телефонных разговоров и нескольких программ телевидения.

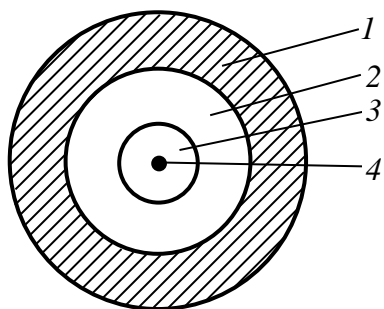


Рисунок 2. Структура волоконно-оптического кабеля.

1, 3 – защитная и стекловолоконная оболочки, 2 – пластмассовое покрытие, 4 – стекловолоконная центральная жила

В последнее время интенсивно разрабатываются и получают распространение оптические интегральные схемы (ОИС), все элементы которых формируются осаждением на подложку необходимых материалов.

Перспективными в оптоэлектронике являются приборы на основе жидких кристаллов, широко используемые в качестве индикаторов в электронных часах. Жидкие кристаллы представляют собой органическое вещество (жидкость) со свойствами кристалла и находятся в переходном состоянии между кристаллической фазой и жидкостью.

Индикаторы на жидких кристаллах имеют высокую разрешающую способность, сравнительно дешевы, потребляют малую мощность и работают при больших уровнях освещенности.

Жидкие кристаллы со свойствами, схожими с монокристаллами (нематики, наиболее часто используют в световых индикаторах и устройствах оптической памяти. Разработаны и широко применяются жидкие кристаллы, изменяющие цвет при нагревании (холестерики). Другие типы жидких кристаллов (смектики) используют для термооптической записи информации.

Оптоэлектронные приборы, разработанные сравнительно недавно, получили широкое распространение в различных областях науки и техники, благодаря своим уникальным свойствам. Многие из них не имеют аналогов в вакуумной и полупроводниковой технике. Однако существует еще много нерешенных проблем, связанных с разработкой новых материалов, улучшением электрических и эксплуатационных характеристик этих приборов и развитием технологических методов их изготовления.

Оптоэлектронные датчики

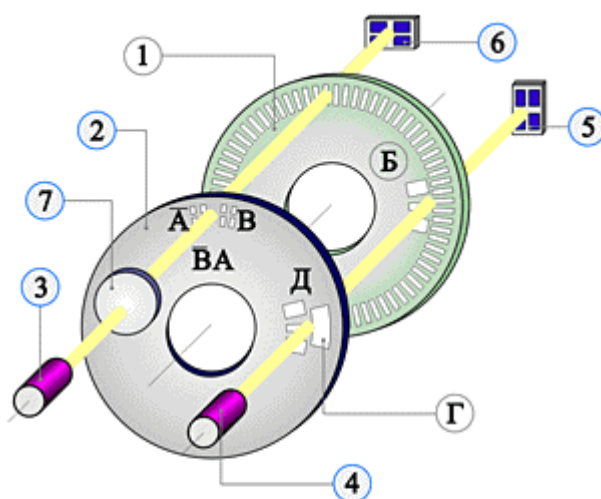
Оптоэлектронные преобразователи угловых перемещений

Преобразователи угловых перемещений предназначены для информационной связи по положению между позиционируемым объектом и устройством числового программного управления (УЧПУ) или устройством цифровой индикации (УЦИ). К этому классу преобразователей принадлежат оптоэлектронные растровые преобразователи "ЛИР" фирмы СКБ ИС. Особенность угловых оптоэлектронных растровых преобразователей перемещений заключается в использовании в качестве меры длины радиальной шкалы, являющейся носителем регулярного и кодового растров. Возможность нанесения штрихов растров с субмикронной точностью на материалы с заданным коэффициентом линейного расширения, стабильность их геометрического положения, достаточно высокая степень защищенности конструктивного исполнения, а также их высокая устойчивость к внешним воздействиям обеспечили растровым преобразователям перемещений широкий спектр областей промышленного и научного применения.

Принцип действия преобразователей угловых перемещений

Принцип работы преобразователей угловых перемещений основан на регистрации относительной величины прошедшего через растровое сопряжение потока оптического излучения как координатно-периодической функции взаимного углового положения регулярного растра шкалы и растров окон анализатора.

Преобразователь имеет два кинематически связанных функциональных звена: радиальную растровую шкалу 1, жестко связанную с валом преобразователя, и растровый анализатор 2 неподвижного считывающего узла. Радиальная растровая шкала (далее везде лимб) содержит две concentricкие информационные дорожки: регулярного растра и референтной метки Б.



Считывающий узел

- ② растровый анализатор
- ③ ④ излучающий диод
- ⑤ ⑥ квадрантный фотодиод
- ⑦ конденсор



Рисунок 3. Схема преобразователя угловых перемещений

Растровый анализатор содержит окна инкрементного считывания и референтную метку Д. Окна позиционно согласованы с дорожкой регулярного растра лимба и имеют внутри растры А, А, В, В с шагом, равным шагу регулярного растра лимба. При этом, в каждой паре окон растры смещены друг относительно друга на величину равную половине их шага, а взаимный пространственный сдвиг растров между парами окон составляет четверть шага растров. Последовательно с растровыми окнами расположено прозрачное окно Г. Референтная метка Д позиционно согласована с дорожкой референтных меток лимба. Считывающий узел решает задачу реализации оптических растровых и кодовых сопряжений, информативно соответствующих величине углового перемещения, и задачу считывания, обработки и анализа текущих значений оптически информативных параметров указанных сопряжений.

Конструктивно эти задачи решает инкрементный узел преобразователя перемещений. Первую из них решает механическая часть этого узла, обеспечивая необходимую точность растрового сопряжения лимба и анализатора, а также соосность последних по отношению к оси вращения вала. Вторую — реализуют осветители, фотоприемники и плата электрической схемы выделения и обработки информации о перемещении. Излучающий диод 3, конденсор 7, формирующий параллельный пучок лучей осветителя, окна А, А, В, В анализатора и фотоприемник 6 образуют так называемый канал считывания. Требование повышенной точности преобразователей перемещений диктует применение двух или четырех диаметрально расположенных каналов считывания.

Оптоэлектронный датчик дыма

Данный датчик используется для определения признаков пожара. Устройство работает следующим образом: в диодах VD1 и VD2 (рис.1) выполнена оптопара с открытым каналом В качестве излучающего и приемного светодиодов используется светоизлучающий ИК диод АЛ107Б. При освещении светодиода VD2 потоком ИК излучения от светодиода VD1 первый будет иметь небольшое сопротивление, и в точке соединения резисторов R2, R3 и светодиода VD2 значение напряжения будет менее половины напряжения питания На триггере Шмитта (элементы DD1.1, DD1.2) установится уровень логического "0". Генератор импульсов, выполненный на элементах DD1 3, DD1 4 блокирован этим уровнем (на выводе 9 DD1.3). Транзистор VT1 закрыт уровнем логического "0" на выводе 11 элемента DD1.4. При попадании дыма на датчик освещенность светодиода VD2 уменьшается и, как следствие, увеличивается его сопротивление. Напряжение в точке соединения элементов R2, R3, VD2 возрастает, приводит к срабатыванию триггера Шмитта и включению генератора на элементах DD1.3, DD1.4.

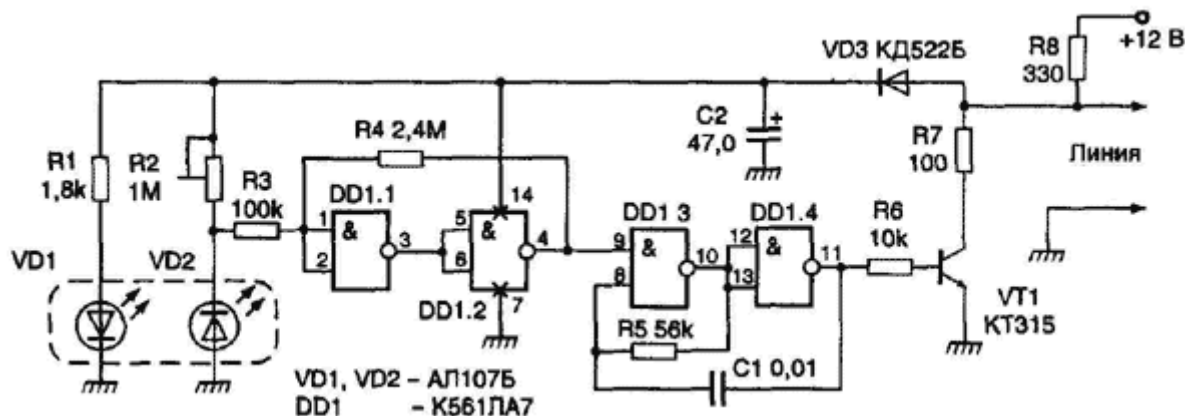


Рисунок 4. Принципиальная схема датчика дыма

С выхода последнего 11 DD1.4) через резистор R6 положительные импульсы поступают на базу транзистора VT1. Он открывается и замыкает линию связи через резистор R7 на землю. При этом напряжение в точке соединения элементов VD3, R7, R8 уменьшается, а при закрывании транзистора VT1 — увеличивается. Таким образом, при появлении дыма на выходе линии (точка соединения элементов VD3, R7, R8) будут присутствовать импульсы с частотой, задаваемой генератором на элементах DD1.3, DD1.4. Эти импульсы обрабатываются схемой оповещения о пожаре (на рис. не показана), и выдается сигнал тревоги. Питание устройства осуществляется по линии связи от источника +12 В через резистор R8. При этом в исходном состоянии (дым отсутствует) конденсатор C2 заряжен через диод VD3. При срабатывании датчика питание устройства будет осуществляться от конденсатора C2, который подзарядается через диод VD3 при закрывании транзистора VT1. При замыкании линии через резистор R7 и транзистор VT1 диод VD3 препятствует разряду конденсатора C2. Одна из возможных конструкций датчика дыма показана на рис.2. Вместо

светодиодов АЛ107Б можно использовать АЛ108, Настройка датчика заключается в установке порога срабатывания триггера Шмитта изменением сопротивления резистора R2.



Рисунок 5. Принципиальная схема датчика дыма

Литература

1. Акимов Н.Н. и др. Резисторы, конденсаторы, трансформаторы, дроссели, коммутационные устройства РЭА: Справочник / Н.Н. Акимов, Е.П. Ващуков, В.А. Прохоренко, Ю.П. Ходоренок. Мн.: Беларусь, 2005.–591 с.
2. Опадчий Ю.Ф. и др. Аналоговая и цифровая электроника: Учебник для вузов / Ю.Ф. Опадчий, О.П. Глудкин, А.И. Гуров; Под.ред. О.П. Глудкина. М.: Горячая Линия – Телеком, 2002. – 768 с.
3. Петров К.С. Радиоматериалы, радиокомпоненты и электроника: Учебное пособие для вузов. – СПб: Питер, 2003. – 512 с.
4. <http://www.qrz.ru/schemes/contribute/constr/smoke.shtml>
5. <http://www.geyser.dp.ua/auto/skbis/catalog/angular/>