Практическое занятие 2
Выбор и обоснование резистора для элементов индикации

Цели работы:

1. Изучить основные характеристики резистора и светодиода;
2. Используя полученные знания в теоретической части, рассчитать значение резистора, необходимого для включения в заданную схему;
3. По цветовой маркировке определить характеристики резистора и указать к какому номинальному ряду он относится.

Теоретическая часть

Светодиод

Светодиод или светоизлучающий диод — полупроводниковый прибор с электронно-дырочным переходом, создающий оптическое излучение при пропускании через него электрического тока в прямом направлении.

Излучаемый светодиодом свет лежит в узком диапазоне спектра. Иными словами, его кристалл изначально излучает конкретный цвет (если речь идёт о светодиоде видимого диапазона) — в отличие от лампы, излучающей более широкий спектр, где нужный цвет можно получить лишь применением внешнего светофильтра. Диапазон излучения светодиода во многом зависит от химического состава использованных полупроводников.

Принцип работы

При пропускании электрического тока через p-n переход в прямом направлении, носители заряда — электроны и дырки — рекомбинируют с излучением фотонов (из-за перехода электронов с одного энергетического уровня на другой).

Не все полупроводниковые материалы эффективно испускают свет при рекомбинации. Лучшие излучатели относятся к прямозонным полупроводникам (то есть таким, в которых разрешены прямые оптические переходы зона-зона), типа $A^{II}B^{IV}112$ (например, GaAs или InP) и AIIBVI (например, ZnSe или CdTe). Варьируя состав полупроводников, можно создавать светодиоды для всевозможных длин волн от ультрафиолета (GaN) до среднего инфракрасного диапазона (PbS).

Диоды, сделанные из непрямозонных полупроводников (например, кремния, германия или карбида кремния), свет практически не излучают. Впрочем, в связи с развитием кремниевой технологии, активно ведутся работы по созданию светодиодов на основе кремния.

Характеристики светодиода

Вольт-амперная характеристика светодиодов в прямом направлении нелинейна. Диод начинает проводить ток, начиная с некоторого порогового напряжения. Это напряжение позволяет достаточно точно определить материал полупроводника.

Современные светодиоды обладают менее выраженной полупроводимостью, чем обычные диоды. Высокочастотные пульсации в питающей цепи (т. н. «иголки») и выбросы обратного напряжения приводят к

ускоренному деградированию кристалла. Скорость деградирования также зависит от питающего тока (нелинейно) и температуры кристалла (нелинейно).

Светодиод в электрических схемах обозначается (рисунок 1):

Рисунок 1 – Обозначение светодиода на схемах

Цвета светодиодов

В таблице 1 приведены доступные цвета с диапазоном длин волн, падение напряжения на диоде, и материал:

Таблица 1 - Цвета светодиодов с диапазоном длин волн, падением напряжения на диоде, и материалом изготовления

Цвет	Длина волны (нм)	Напряжение (В)	Материал полупроводника
Инфракрасный	$\lambda > 760$	$\Delta U < 1.9$	Арсенид галлия (GaAs), алюминия галлия арсенид (AlGaAs)
Красный	$610 < \lambda < 760$	$1.63 < \Delta U < 2.03$	Алюминия-галлия арсенид (AlGaAs), Галлия арсенид-фосфид (GaAsP), Алюминия-галлия-индия фосфид (AlGaInP), Галлия(III) фосфид (GaP)
Оранжевый	$590 < \lambda < 610$	$2.03 < \Delta U < 2.10$	Галлия фосфид-арсенид (GaAsP), Алюминия-галлия-индия фосфид (AlGaInP), Галлия(III) фосфид (GaP)
Жёлтый	$570 < \lambda < 590$	$2.10 < \Delta U < 2.18$	Галлия фосфид-арсенид (GaAsP), Алюминия-галлия-индия фосфид (AlGaInP), Галлия(III) фосфид (GaP)
Зелёный	$500 < \lambda < 570$	$1.9 < \Delta U < 4.0$	Индия-галлия нитрид (InGaN) / Галлия(III) нитрид(GaN), Галлия(III) фосфид (GaP), Алюминия-галлия-индия фосфид (AlGaInP)
Голубой	$450 < \lambda < 500$	$2.48 < \Delta U < 3.7$	Селенид цинка (ZnSe), Индия-галлия нитрид (InGaN), Карбид кремния (SiC) в качестве субстрата
Фиолетовый	$400 < \lambda < 450$	$2.76 < \Delta U < 4.0$	Индия-галлия нитрид (InGaN)
Пурпурный	Смесь нескольких спектров	$2.48 < \Delta U < 3.7$	Двойной: синий/красный диод, синий с красным люминофором, или белый с пурпурным пластиком
Ультрафиолетовый	$\lambda < 400$	$3.1 < \Delta U < 4.4$	Алмаз (235 нм), Нитрид бора (215 нм), Нитрид алюминия (AlN) (210 нм)
Белый	Широкий спектр	$\Delta U \approx 3.5$	Голубой/ультрафиолетовый диод с люминофором;

Резистор

Резистор — пассивный элемент электрической цепи, в идеале характеризуемый только сопротивлением электрическому току, то есть для идеального резистора в любой момент времени должен выполняться закон Ома для участка цепи: мгновенное значение напряжения на резисторе пропорционально току, проходящему через него.

На практике же резисторы в той или иной степени обладают также паразитной ёмкостью, паразитной индуктивностью и нелинейностью вольт-амперной характеристики.

Классификация резисторов

По назначению:
• резисторы общего назначения;
• резисторы специального назначения;
• высокоомные (сопротивления от десятка МОм до единиц ТОм, рабочие напряжения 100..400 В);
• высоковольтные (рабочие напряжения — десятки кВ);
• высокочастотные (имеют малые собственные индуктивности и ёмкости, рабочие частоты до сотен МГц);
• прецизионные и сверхпрецизионные (повышенная точность, допуск 0,001 — 1 %).
По характеру изменения сопротивления:
• постоянные резисторы;
• переменные регулировочные резисторы;
• переменные подстроечные резисторы.
По способу защиты:
• изолированные;
• неизолированные;
• вакуумные;
• герметизированные.
По способу монтажа:
• для печатного монтажа;
• для навесного монтажа;
• для микросхем и микромодулей.
По виду вольт-амперной характеристики:
• линейные резисторы;
• нелинейные резисторы;
• варисторы — сопротивление зависит от приложенного напряжения;
• терморезисторы — сопротивление зависит от температуры;
• фоторезисторы — сопротивление зависит от освещённости;
• тензорезисторы — сопротивление зависит от деформации резистора;
• магниторезисторы — сопротивление зависит от величины магнитного поля.

Характеристики резистора

Кроме предельного сопротивления, резисторы обладают рядом других физико-технических показателей, которые имеют большое значение в его применении.

Среди основных параметров выделяются такие характеристики резистора, как сопротивление по номинальному значению и его возможное отклонение, рассеиваемая мощность, предельное рабочее напряжение, максимальная температура, температурный коэффициент сопротивления, частотный отклик и шумы. Рассмотрим некоторые из них.

Температурный коэффициент сопротивления ТКС

Температурный коэффициент сопротивления (ТКС) определяет относительное изменение величины сопротивления резистора при изменении температуры окружающей среды на 1 ° по Цельсию. ТКС может быть как

положительным, так и отрицательным. Если резистивная пленка имеет относительно большую толщину, то она обладает свойствами объемного тела, сопротивляемость которого с увеличением температуры становится больше. Если же резистивная пленка имеет относительно небольшую толщину, то она состоит как бы из небольших «островков», расположенных отдельно друг от друга, и сопротивление такой пленочной структуры с увеличением температурных значений становится меньше, так как взаимодействие между отдельными «островками» улучшается. Для непроволочных резисторов, применяемых в радиоэлектронике и телевизионной промышленности, температурный коэффициент сопротивления не больше ±0,04 - 0,2 %, у проволочных деталей -±0,003 - 0,2 %.

Рассеиваемая мощность резистора

Номинальная мощность рассеивания, или рассеиваемая мощность резистора показывает предельно значимую мощность, которую сопротивление может рассеивать при долговременной электрической нагрузке, атмосферном давлении и температуре в нормальных значениях. Непроволочные резисторы подразделяются на мощность по номиналу от 0,05 до 10 Вт, а сопротивления проволочного типа от 0,2 до150 Вт. На электросхемах рассеиваемая мощность резистора выделяется условно пунктиром на обозначении сопротивления для мощностей меньше 1 Вт и римскими цифрами на обозначении сопротивления для мощности больше 1 Вт. Номинальная мощность рассеивания этих деталей должна быть на 20—30 % больше такого показателя, как рабочая рассеиваемая мощность резистора.

Максимальное напряжение резистора

Предельное или максимальное напряжение резистора - это предельно возможное напряжение, подведенное к выводам сопротивления, которое не допускает превышения показателей технических условий (ТУ) на параметры электричества. Иначе, максимальное напряжение резистора – предельно допустимая величина, которая может быть приложена к резистору. Этот показатель выводится для обычных пределов работы детали и напрямую зависит от линейных размеров резистора, шага спиральной нарезки, температурных показателей, давления эксплуатационной среды и давления атмосферы. Чем выше температурные показатели и меньше давление атмосферы, тем больше шансов для пробоя теплового или электрического типа и выхода резистора из строя.

Максимальная температура резистора

Одной из характеристик резистора является такой показатель, как максимальная температура резистора, напрямую зависит от мощности детали. Получается, что при увеличении мощности, которая выделяется в сопротивлении, увеличивается температура резистора, что может привести к его поломке. Во избежание этого, необходимо уменьшить температуру резистора. Это можно достичь укрупнением габаритов сопротивления. Для всех типов сопротивлений определена максимальная температура резистора, превышение которой чревато выходом детали из строя.

Температурный показатель сопротивления находится в прямой зависимости и от температуры окружающего воздуха. Если этот показатель достигает большого значения, то температурный показатель сопротивления может стать выше максимальной температуры резистора, что крайне нежелательно. Чтобы этого не случилось, нужно снизить мощность, которая выделяется в резисторе.

Маркировка резисторов с проволочными выводами

Резисторы, в особенности малой мощности — мелкие детали, резистор мощностью 0,125Вт имеет длину несколько миллиметров и диаметр порядка миллиметра. Прочитать на такой детали номинал с десятичной запятой невозможно. Поэтому, при указании номинала вместо десятичной точки пишут букву, соответствующую единицам измерения (К — для кОм, М — для МОм, Е или R для единиц Ом). Кроме того, любой номинал отображается максимум тремя символами. Например, 4К7 обозначает резистор, сопротивлением 4,7 кОм, 1R0 — 1 Ом, М12 - 120кОм (0,12МОм) и т. д. Однако в таком виде наносить номиналы на маленькие резисторы трудно, и для них применяют маркировку цветными полосами.

Для резисторов с точностью 20 % используют маркировку с тремя полосками, для резисторов с точностью 10 % и 5 % маркировку с четырьмя полосками, для более точных резисторов с пятью или шестью полосками. Первые две полоски всегда означают первые два знака номинала. Если полосок 3 или 4, третья полоска означает десятичный множитель, то есть степень десятки, которая умножается на число, состоящее из двух цифр, указанное первыми двумя полосками. Если полосок 4, последняя указывает точность резистора. Если полосок 5, третья означает третий знак сопротивления, четвёртая — десятичный множитель, пятая — точность. Шестая полоска, если она есть, указывает температурный коэффициент сопротивления (ТКС). Если эта полоска в 1,5 раза шире остальных, то она указывает надёжность резистора (% отказов на 1000 часов работы)

На рисунке 2 представлена цветовая маркировка резисторов.

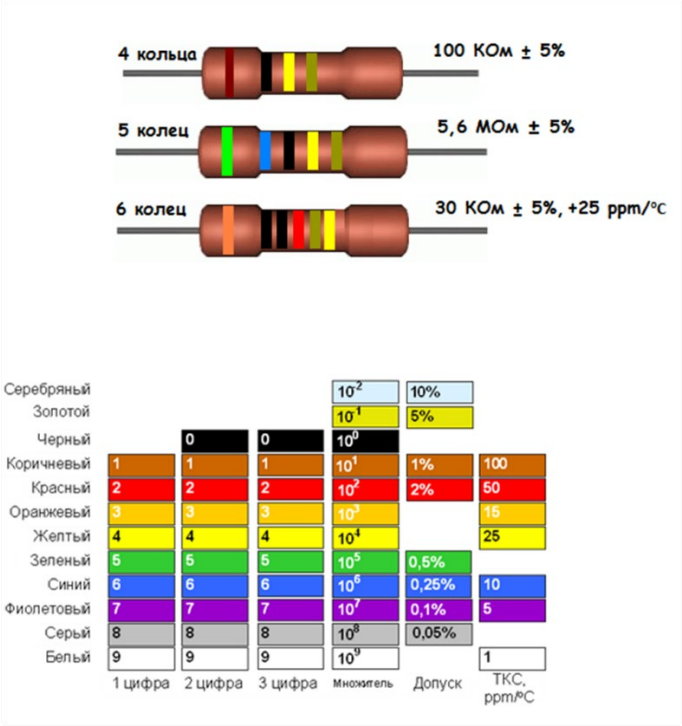


Рисунок 2 - Пример цветовой маркировки резисторов

Ряды номиналов резисторов

Номиналы промышленно выпускаемых резисторов не являются произвольными. Существуют специальные ряды номиналов, представляющие собой множества значений от 1 до 10. Номинал детали определённого ряда является произвольным значением из соответствующего множества, умноженным на произвольный десятичный множитель (10 в целой степени).

Номинальные ряды E6, E12, E24

Название ряда указывает общее число элементов в нём, т. е. ряд E24 содержит 24 числа в интервале от 1 до 10, E12 — 12 чисел и т. д. +1

Каждый ряд соответствует определённому допуску в номиналах деталей. Так, детали из ряда E6 имеют допустимое отклонение от номинала ±20 %, из ряда E12 — ±10 %, из ряда E24 — ±5 %. Собственно, ряды устроены таким образом, что следующее значение отличается от предыдущего чуть меньше, чем на двойной допуск.

В таблице 2 приведён пример номинальных рядов E3, E6, E12, E24.

E6	E12	E24	E6	E12	E24	E6	E12	E24
1.0	1.0	1.0	2.2	2.2	2.2	4.7	4.7	4.7
		1.1			2.4			5.1
	1.2	1.2		2.7	2.7		5.6	5.6
		1.3			3.0			6.2
1.5	1.5	1.5	3.3	3.3	3.3	6.8	6.8	6.8
		1.6			3.6			7.5
	1.8	1.8		3.9	3.9		8.2	8.2
		2			4.3			9.1

Принципы построения рядов

Ряд E24 приблизительно представляет собой геометрическую прогрессию со знаменателем $10^{1/24}$. Другими словами, в логарифмическом масштабе элементы этого ряда делят отрезок от 1 до 10 на 24 равные части. По некоторым, видимо историческим, соображениям некоторые элементы отличаются от идеальной прогрессии, хотя и никогда не больше, чем на 2,5 %. Номинальные ряды с меньшим количеством элементов получаются вычёркиванием элементов из ряда E24 через один. Номиналы из этих рядов образуют примерно геометрическую прогрессию со знаменателем $10^{1/12}$ (E12), $10^{1/6}$ (E6), $10^{1/3}$ (E3). Ряд E3 практически не применяется. Номинальные ряды с большим числом элементов образуют уже абсолютно точную геометрическую прогрессию со знаменателем $10^{1/n}$, где n — число элементов ряда. Число n всегда представляет собой степень двойки, умноженную на 3.

Номинальный ряд по сути своей представляет собой таблицу десятичных логарифмов. Действительно, порядковый номер элемента в ряду минус 1 даёт мантиссу логарифма в виде простой дроби со знаменателем (m − 1)/n (m — номер элемента, n — порядок ряда, например, 24 для E24).

Есть универсальный способ определения номинала для любого ряда $V(n)=(10n)^{1/m}$, где m - номер ряда, а n=0;1;2;...;m-1.

Подключение светодиодов

В конструировании приборов радиоэлектронной промышленности светодиоды не подключают непосредственно к батарее или источнику питания. Причиной этого является то, что в этом случае светодиод перегорит практически моментально, поскольку слишком большой ток выведет его из рабочего состояния.

Следовательно, светодиоды должны иметь ограничительный резистор, который будет ограничивать ток, проходящий через единичный индикатор.

Значение резистора R при последовательном соединении со светодиодом (рисунок 3) определяется по формуле:

$$R = \frac{V_s - V_l}{\mathrm{I}} \qquad (3.1)$$

где V_(s) – напряжение питания;
V_(l) – прямое напряжение, расчётное для каждого типа диодов;
I – ток светодиода.

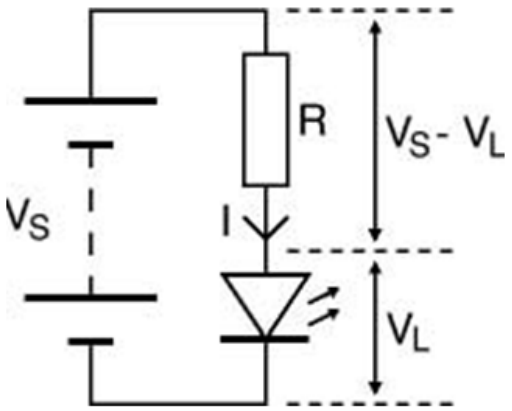


Рисунок 3 – Схема последовательного соединения резистора с одним светодиодом

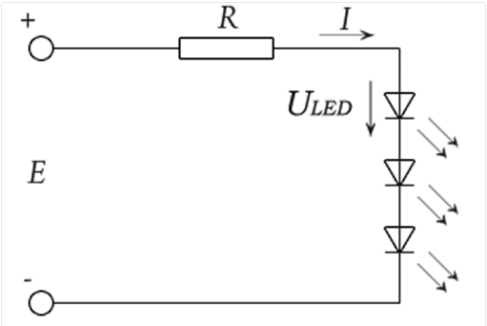


Рисунок 4 – Схема последовательного подключения светодиодов

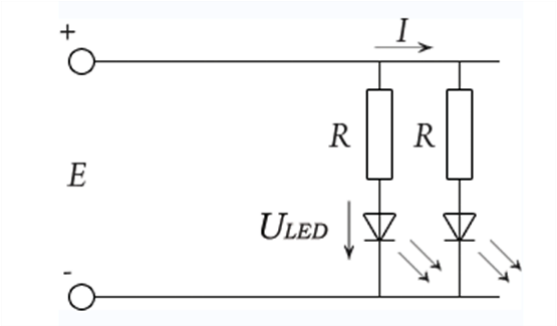


Рисунок 5 – Схема параллельного подключения светодиодов

Учебные задания и методические указания к их выполнению

Задание 1. Расчёт значения резистора для светодиода

1. **О**пределите точное значение ограничительного резистора, который будет использоваться в предложенной схеме (согласно варианту) для ограничения тока,
2. Подберите резистор из существующих в производстве по значению номинала
3. Определите минимальную мощность резистора и общую потребляемую мощность.
4. Заполните таблицу 4.

Таблица 3 – Варианты заданий

№ вариан-та	Напряжение питания, В	Прямое напряжение светодиода, В	Ток через светодиод, мА	Кол-во светодиодов, шт.	Соединение светодиодов
1	42	КЛ101А	КЛ101А	5	Послед.
2	42	КЛ101Б	КЛ101Б	4	Параллел.
3	42	2Л101А	2Л101А	3	Послед.
4	220	АЛ102В	АЛ102В	6	Параллел.
5	220	3Л102А	3Л102А	5	Послед.
6	220	АЛ112А	АЛ112А	4	Параллел.
7	42	АЛ301А-1	АЛ301А-1	3	Послед.
8	42	АЛ307А	АЛ307А	2	Послед.
9	42	АЛ307В	АЛ307В	6	Параллел.
10	110	АЛ307ДМ	АЛ307ДМ	2	Послед.
11	220	АЛ310А	АЛ310А	4	Послед.
12	220	АЛ316А	АЛ316А	3	Параллел.
13	110	АЛС331А	АЛС331А	2	Послед.
14	160	3ЛС331А	3ЛС331А	5	Послед.
15	160	АЛ341А	АЛ341А	6	Параллел.
16	60	КЛ360А	КЛ360А	5	Послед.
17	100	КЛД901А	КЛД901А	3	Послед.
18	100	КИПД01А-1Л	КИПД01А-1Л	2	Параллел.
19	100	КИПД02А-1К	КИПД02А-1К	5	Послед.
20	100	КИПД03А-1К	КИПД03А-1К	4	Послед.
21	220	КИПД04Б-1К	КИПД04Б-1К	5	Параллел.
22	220	КИПД05А-1К	КИПД05А-1К	3	Послед.
23	160	КИПД06В-1Л	КИПД06В-1Л	2	Послед.
24	63	КИПМ01А-1К	КИПМ01А-1К	4	Параллел.
25	63	КИПМ02Г-1Л	КИПМ02Г-1Л	5	Послед.
26	63	КИПМ03Б-1К	КИПМ03Б-1К	4	Послед.
27	100	КИПМ04В-1К	КИПМ04В-1К	3	Параллел.
28	100	АЛ102А	АЛ102А	6	Послед.
29	220	АЛ301Б-1	АЛ301Б-1	3	Послед.
30	220	АЛ307ВМ	АЛ307ВМ	4	Параллел.

Таблица 4 – Результаты расчета

	Номинал резистора, Ом	Мощность резистора, Вт
Расчетное значение		
Номинал ряда Е24		

Задание 2. Моделирование подключения светодиода

1. Разработайте схему подключения светодиода (Multisim) с исходными данными упражнения 1.
2. Произведите измерения токов, напряжений и мощности в схеме для расчетного значения резистора.
3. Произведите измерения токов, напряжений и мощности в схеме для резистора ряда Е24.
4. Сравните полученные результаты с результатами упражнения 1 и сделайте выводы.

5. Заполните таблицу 5.
6. Приведите в отчете скриншоты с измеренными значениями.

Таблица 5 – Результаты моделирования

	Расчетное значение	Номинал ряда E24
Ток через диод(ы), А		
I_1…		
… I_n		
Напряжение на диоде(ах), В		
U_1…		
… U_n		
Мощность на резисторе(ах), Вт		
P_1…		
… P_n		

Задание 3. Определение характеристик резистора по цветной маркировке

Резисторы, в особенности малой мощности — мелкие детали, имеющие длину несколько миллиметров и диаметр порядка миллиметра. Прочитать на такой детали номинал с десятичной запятой невозможно. Поэтому, при указании номинального значения, допуска, температурного коэффициента резистора используют цветовую маркировку.

1. Используя теоретические данные, изложенные в работе, по цветовой маркировке определите параметры резистора:
   - номинальное значение,
   - допуск
   - температурный коэффициент резистора,
   - номинальный ряд, к которому он принадлежит.

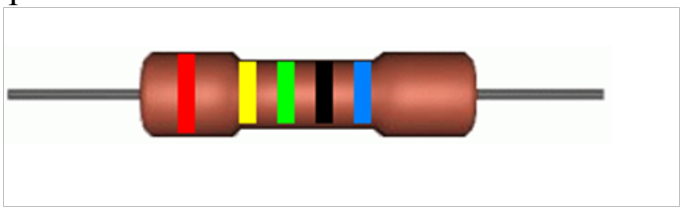
Варианты заданий необходимо брать у преподавателя.

Требования к отчёту

1. Титульный лист
2. Цель работы
3. Результаты работы (скриншоты и таблицы).
4. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Что такое резистор?
2. Что такое светодиод?
3. Определите номинал и другие характеристики резистора по 5-и цветной маркировке?



4. Для чего резистор последовательно соединяют в цепь к светодиоду?
5. Что такое анод и катод?
6. По каким критериям классифицируют резисторы?
7. Что определяет температурный коэффициент сопротивления (ТКС) резистора?
8. Какую характеристику резистора определяет 6 полоса цветовой маркировки?
9. Сколько номинальных рядов можно выделить у резистора?
10. К какому номинальному ряду относится резистор номиналом 4,7 кОм и допуском ± 10%?