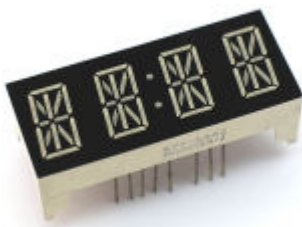


ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ПОВОЛЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ И ИНФОРМАТИКИ»
Кафедра радиоэлектронных систем

С. В. Ситникова

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ**
Учебно-методическое пособие



Самара
2017

УДК 621.38

ББК 32.85

С

Рекомендовано к изданию Методическим советом ПГУТИ,
протокол №69 от 03.05.2017

Ситникова, С. В.
С412 Электротехника и электроника. Методические указания
к выполнению курсовой работы. Учебно-методическое по-
сobie/С.В. Ситникова. – Самара: ПГУТИ, 2017.– 26 с.

Учебно-методическое пособие «Электротехника и электроника. Методические указания к выполнению курсовой работы» предназначено для студентов 2 курса ФБТО, обучающихся по направлению подготовки бакалавров 12.03.03 – Фотоника и оптоинформатика.

Содержание

Задание 1. Расчет усилительного каскада на биполярном транзисторе, включенном по схеме с общим эмиттером.....	4
<i>Приложение 1.</i> Назначение элементов и принцип работы усилительного каскада, включенного по схеме с общим эмиттером.....	6
<i>Приложение 2.</i> Предельно допустимые режимы работы транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером (ОЭ).....	8
<i>Приложение 3.</i> Порядок расчета элементов и параметров принципиальной схемы транзисторного усилителя.....	8
<i>Приложение 4.</i> Расчет параметров каскада при подаче на вход переменного сигнала.....	13
<i>Приложение 5.</i> Ряды номинальных значений резисторов и конденсаторов.....	16
<i>Приложение 6.</i> Стабилизаторы напряжения в интегральном исполнении.....	17
Задание 2. Разработка структуры полупроводниковой интегральной схемы.....	18
<i>Приложение 7.</i> Планарно-эпитаксиальная технология изготовления полупроводниковых ИМС.....	22
<i>Приложение 8.</i> Планарно-диффузионная технология изготовления полупроводниковых ИМС.....	23
Задание 3. Разработка схем на основе светодиодных индикаторов.....	24
Требования к оформлению курсовой работы.....	26

Задание 1

Расчет усилительного каскада на биполярном транзисторе, включенном по схеме с общим эмиттером

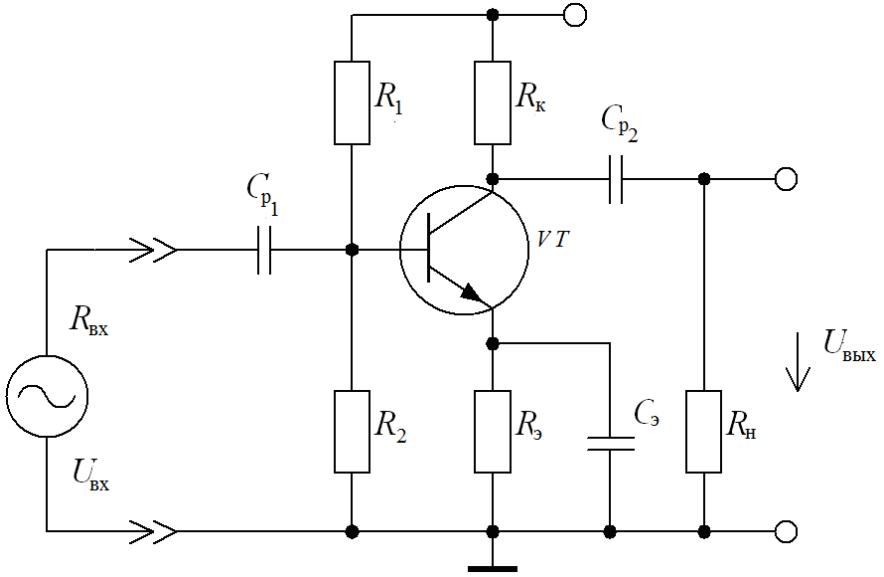


Рис.1.1

Расчитать каскад транзисторного усилителя напряжения, принципиальная схема которого изображена на рис. 1.1.

Исходные данные (таблица 1.1):

1) максимально допустимое выходное напряжение (напряжение на нагрузке) $U_{кэ\max}$; 2) сопротивление нагрузки $R_н$; 3) нижняя предельная частота $f_{н}$; 4) максимально допустимая мощность, рассеиваемая на коллекторе $P_{к\max}$; 5) максимально допустимый выходной ток $I_{к\max}$; 6) входные и выходные характеристики заданного транзистора с определенными приращениями входного тока ΔI .

Определить: 1) номинальные значения всех элементов схемы (сопротивление в цепи коллектора $R_к$; сопротивление в цепи эмиттера $R_э$; напряжение источника питания $E_к$; сопротивления резисторов R_1 и R_2 (делителя напряжения), стабилизирующих режим работы транзистора; емкость разделительных конденсаторов C_{p1} и C_{p2} ; ёмкость конденсатора в цепи эмиттера $C_э$).

2) основные параметры усилительного каскада при подаче на него гармонического сигнала: коэффициенты усиления по напряжению, по току, по мощности; входное и выходное сопротивление; мощность входного сигнала; мощность, потребляемую источником питания, полезную выходную мощность, КПД.

Таблица 1.1

Номер варианта	Данные для расчета					
	$U_{кэ\ max}$, В	R_n , Ом	f_n , Гц	ΔI_b , мкА	$P_{к\ max}$, мВт	$I_{к\ max}$, В
1	40	100	90	10	400	60
2	45	120	95	15	400	50
3	35	130	100	20	380	55
4	30	140	105	10	200	65
5	35	150	110	15	390	45
6	40	160	120	20	220	35
7	25	180	115	25	330	40
8	30	110	125	10	230	30
9	40	200	130	15	340	50
10	45	220	135	20	240	60
11	35	240	140	25	360	35
12	25	270	145	25	250	45
13	35	300	150	10	260	55
14	45	330	155	15	260	65
15	30	100	160	20	370	25
16	20	110	165	15	270	35
17	40	360	170	10	280	40
18	25	390	175	15	280	50
19	35	130	180	20	290	35
20	30	160	185	25	290	40
21	40	180	190	10	300	45
22	20	430	195	15	310	60
23	25	220	200	20	320	50
24	30	240	210	25	320	50
25	35	270	220	10	350	40
26	40	300	230	20	350	45
27	30	300	200	20	400	40

Приложение 1

Назначение элементов и принцип работы усилительного каскада, включенного по схеме с общим эмиттером

Основными элементами схемы являются источник питания E_k , управляемый элемент - транзистор VT и резистор R_k . Эти элементы образуют главную цепь усилительного каскада, в которой за счет протекания управляемого по цепи базы коллекторного тока создается усиленное переменное напряжение на выходе схемы. Остальные элементы каскада выполняют вспомогательную роль. Конденсаторы C_{p1} , C_{p2} являются разделительными. Конденсатор C_{p1} исключает протекание по входной цепи каскада от цепи источника входного сигнала постоянной составляющей тока, что позволяет, во-первых, исключить протекание постоянного тока через источник входного сигнала по цепи $E_k \rightarrow R_1 \rightarrow R_T$ и, во-вторых, обеспечить независимость от внутреннего сопротивления этого источника R_T напряжения на базе $U_{бэ0}$ в режиме покоя. Функция конденсатора C_{p2} сводится к пропуску в цепь нагрузки переменной составляющей напряжения и задержанию постоянной составляющей. Резисторы R_1 и R_2 используются для задания режима покоя каскада. Поскольку биполярный транзистор управляется током, ток покоя управляемого элемента создается заданием соответствующей величины тока базы покоя $I_{б0}$. Резистор R_1 предназначен для создания цепи протекания тока $I_{б0}$. Совместно с R_2 резистор R_1 обеспечивает исходное напряжение на базе $U_{бэ0}$ относительно зажима «+» источника питания.

Резистор R_3 является элементом отрицательной обратной связи, предназначенным для стабилизации режима покоя каскада при изменении температуры. Температурная зависимость параметров режима покоя обуславливается зависимостью коллекторного тока покоя $I_{к0}$ от температуры. Основными причинами такой зависимости являются изменения от температуры начального тока коллектора, напряжения $U_{бэ}$ и коэффициента усиления по току транзистора β . Температурная неустойчивость указанных параметров приводит к прямой зависимости тока $I_{к0}$ от температуры. При отсутствии мер по стабилизации тока $I_{к0}$, его температурные изменения вызывают изменение режима покоя каскада, что может привести, к режиму работы каскада в нелинейной области характеристик транзистора и искажению формы кривой выходного сигнала. Вероятность появления искажений повышается с увеличением амплитуды выходного сигнала.

Стабилизирующее действие отрицательной обратной связи, создаваемой резистором R_3 , проявляется в том, что температурные изменения параметров режима покоя передаются цепью обратной связи в противофазе на вход каскада, препятствуя тем самым изменению тока $I_{к0}$, а, следовательно, и напряжения $U_{кЭ0}$.

Конденсатор C_3 шунтирует резистор R_3 по переменному току, исключая проявление отрицательной обратной связи в каскаде по переменным составляющим. Отсутствие конденсатора C_3 привело бы к уменьшению коэффициентов усиления схемы.

Название схемы «с общим эмиттером» означает, что вывод эмиттера транзистора по переменному току является общим для входной и выходной цепи каскада.

Принцип действия каскада ОЭ заключается в следующем. При наличии постоянных составляющих токов и напряжений в схеме подача на вход каскада переменного напряжения приводит к появлению переменной составляющей тока базы транзистора, а, следовательно, переменной составляющей тока в выходной цепи каскада (в коллекторном токе транзистора). За счет падения напряжения на резисторе $R_к$ создается переменная составляющая напряжения на коллекторе, которая через конденсатор C_{p2} передается на выход каскада - в цепь нагрузки.

Рассмотрим основные положения, на которых базируется расчет элементов схемы каскада, предназначенных для обеспечения требуемых параметров режима покоя (расчет по постоянному току).

Анализ каскада проводят *графоаналитическим* методом, основанным на использовании графических построений и расчетных соотношений. Графические построения проводятся с помощью выходных характеристик транзистора. При определении переменных составляющих выходного напряжения каскада и коллекторного тока транзистора используют линию нагрузки каскада по переменному току. При этом необходимо учесть, что по переменному току сопротивление в цепи эмиттера транзистора равно нулю, так как резистор R_3 шунтируется конденсатором C_3 , а к коллекторной цепи подключается нагрузка, поскольку сопротивление конденсатора C_{p2} по переменному току мало. Если к тому же учесть, что сопротивление источника питания $E_к$ по переменному току также близко к нулю, то окажется, что задача определения этих показателей решается при расчете усилительного каскада по переменному току.

Приложение 2. Предельно допустимые режимы работы транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером (ОЭ)

При работе транзистора в режиме усиления необходимо учитывать максимально возможные значения его параметров, которые не должны быть превышены для данного режима. К ним, в частности, относятся предельно допустимые ток коллектора $I_{к\max}$ и напряжение на коллекторе прибора относительно эмиттера $U_{кэ\max}$, а также предельно допустимая мощность рассеиваемая на коллекторе $P_{к\max}=I_{к\max}U_{кэ}$. В соответствии с соотношением $I_{к\max}=P_{к\max}/U_{кэ}$ ограничивающая предельно допустимый режим кривая представляет собой отрезок гиперболы.

Для определения области допустимых значений выходных токов и напряжений усилительного каскада на выходных характеристиках следует нанести прямые $U_{кэ\max}=\text{const}$, $I_{к\max}=\text{const}$ и кривую максимальной мощности, рассеиваемой на коллекторе, для построения которой составляют таблицу значений $U_{кэ}$ и $I_{к\max}$:

$U_{кэ}$	5	10	20	30	40
$I_{к\max}=P_{к\max}/U_{кэ}$					

Приложение 3. Порядок расчета элементов и параметров принципиальной схемы транзисторного усилителя

1) Выбираем значение напряжения источника питания $E_{к}$ в пределах:

$$E_{к} = (0,7 \dots 0,9) U_{кэ\max}$$

Кроме этого, должно выполняться условие:

$$E_{к} = U_{кэ0} + I_{к0} \cdot (R_3 + R_к) \quad (1)$$

где $U_{кэ0}$ и $I_{к0}$ – напряжение и ток в рабочей точке (РТ). Выбираем РТ на выходной характеристике $I_{б0}$ таким образом, чтобы на входной характеристике она $I_{б0}$ и точки $I_{б0}+I_{мб}$ и $I_{б0}-I_{мб}$ (в курсовой работе принимаем $I_{мб}=\Delta I_{б}$) оказались на линейном участке.

Из выражения (1) находим (подбираем) значения сопротивлений резисторов:

$$(R_3 + R_к) = \frac{E_{к} - U_{кэ0}}{I_{к0}} = A \quad (2)$$

Для обеспечения термостабилизации режима покоя транзистора значение сопротивления R_3 должно быть как можно больше. Но его увеличение приводит к уменьшению падения напряжения на сопротивлении $R_к$, а следовательно, к уменьшению коэффициента усиления. Поэтому принято выбирать значение R_3 в пределах

$$R_3 = (0,1 \dots 0,25) R_к.$$

Начальное значение R_k для повышения коэффициента усиления, обычно принимают большим $R_{н}$ в 3...5 раз.

Примечание. Полученные значения сопротивлений R_3 и R_k уточняем из параметрического ряда сопротивлений E24 (приложение 5).

Например, используя формулу (2)

$$(R_3 + R_k) = A = 1000 \text{ (Ом)}$$

$$0,1R_k + R_k = 1,1R_k; \quad 0,25R_k + R_k = 1,25R_k$$

$$R_{k1} = A/1,1 = 1000/1,1 = 909; \quad R_{31} = 91$$

$$R_{k2} = A/1,25 = 1000/1,25 = 800; \quad R_{32} = 200$$

согласно ряду номиналов E24 – R_k может иметь значение 820 Ом, $R_3=91,100, 110, 120, 130, 150, 160, 180, 200$ Ом. Выбираем $R_3=180$ Ом $180+820=1000 \text{ (Ом)} = A$

Примечание. Если не удастся получить $(R_3 + R_k) = A$, то следует изменить положение рабочей точки или уточнить напряжение источника питания, используя выражение (1).

По полученному значению напряжения питания E_k выбираем стабилизированный источник питания на базе микросхемы (приложение 6). Стабилизированный источник питания целесообразно выбирать с фиксированным напряжением питания, а указанным допуском отклонения можно пренебречь.

2) Определяем основные параметры биполярного транзистора в выбранной рабочей точке.

а) входное сопротивление по постоянному току рассчитывается в заданной рабочей точке (PT) на входных характеристиках:

$$R_{0вх} = \frac{U_1^{PT}}{I_1^{PT}} = \frac{U_{бэ}^{PT}}{I_б^{PT}}$$

б) Дифференциальное входное сопротивление h_{11} определяется на входной характеристике, снятой при постоянном выходном напряжении

$U_2 = U_{кэ} = \text{const}$. Вокруг рабочей точки строят характеристический треугольник (рис.1.2), PT располагают в середине гипотенузы. Катетами треугольника будут приращения напряжения $\Delta U_{бэ}$ и тока $\Delta I_б$,

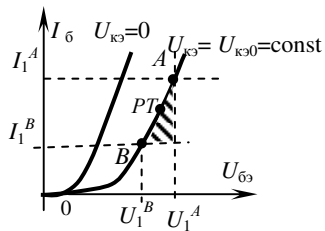


Рис. 1.2. Входные характеристики БПТ, включенного по схеме с ОЭ. Построения к расчету h_{11} .

которые дают разности между абсциссами и ординатами выбранных точек (*A* и *B*). Этот параметр рассчитывается по формуле:

$$h_{11} \approx \left. \frac{\Delta U_{\text{бз}}}{\Delta I_{\text{б}}} \right|_{U_{\text{кз}}=\text{const}} = \frac{(U_{\text{бз}}^A - U_{\text{бз}}^B) B}{(I_6^A - I_6^B) \text{мА}} \Big|_{U_{\text{кз}}=U_{\text{кз}0} \text{ В}}$$

в) Для определения параметра h_{12} (**дифференциального коэффициента обратной связи по напряжению**) надо располагать двумя *входными* характеристиками, снятыми при различных выходных напряжениях U_2 (рис. 1.3). Через рабочую точку (*PT*) проводят горизонтальную линию $I_{\text{б}0} = \text{const}$, соответствующую постоянному входному току и находят точку пересечения со второй характеристикой (*C*). Разность входных напряжений в точках пересечения характеристик с этой прямой дает приращение $\Delta U_{\text{бз}}$, а разность выходных напряжений, при которых сняты входные характеристики, дает приращение $\Delta U_{\text{кз}}$ (рис. 1.3). Этот параметр определяется по формуле:

$$h_{12} \approx \left. \frac{\Delta U'_{\text{бз}}}{\Delta U_{\text{кз}}} \right|_{I_6=\text{const}} = \frac{(U_{\text{бз}}^{\text{PT}} - U_{\text{бз}}^C) B}{(U_{\text{кз}}^{\text{PT}} - U_{\text{кз}}^C) B} \Big|_{I_6=I_{\text{б}0}(\text{мА})}$$

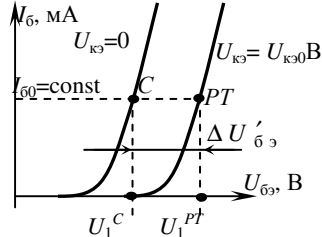


Рис. 1.3. Входные характеристики БПТ, включенного по схеме с ОЭ. Построения к расчету h_{12} .

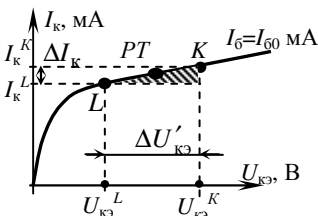


Рис. 1.4. Выходная характеристика БПТ, включенного по схеме с ОЭ. Построения к расчету h_{22} .

г) Для определения параметра h_{22} (**дифференциальной выходной проводимости**) на *выходной* характеристике, снятой при постоянном входном токе $I_{\text{б}0} = \text{const}$, вокруг рабочей точки строят характеристический треугольник (рис. 1.4), располагая *PT* на середине гипотенузы. Тогда катетами треугольника будут приращения $\Delta U_{\text{кз}}$ и $\Delta I_{\text{к}}$. Этот параметр определяется по формуле:

$$h_{22} \approx \left. \frac{\Delta I_{\text{к}}}{\Delta U'_{\text{кз}}} \right|_{I_{\text{б}0}=\text{const}} = \frac{(I_{\text{к}}^K - I_{\text{к}}^L) \text{мА}}{(U_{\text{кз}}^K - U_{\text{кз}}^L) \text{В}} \Big|_{I_{\text{б}0} \text{ мА}}$$

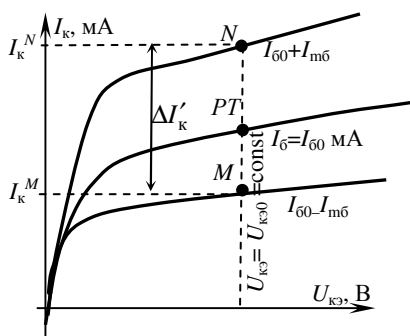


Рис. 1.5. Выходные характеристики БПТ, включенного по схеме с ОЭ. Построения к расчету h_{21} .

д) Для определения параметра h_{21} (дифференциального коэффициента усиления по току) на выходных характеристиках проводят вертикальную линию $U_{кз} = \text{const}$, соответствующую постоянному выходному напряжению (рис. 1.5). Разность значений выходных токов в точках пересечения характеристик и линии $U_{кз} = \text{const}$ дает приращение ΔI_k , разность значений входных токов, при которых сняты выходные характеристики, дает приращение ΔI_6 . Этот параметр определяется по формуле:

$$h_{21} \approx \left. \frac{\Delta I'_k}{\Delta I'_6} \right|_{U_{кз0} = \text{const}} = \frac{(I_k^N - I_k^M) \text{ мА}}{(I_6^N - I_6^M) \text{ мкА}} \Big|_{U_{кз} = U_{\text{э}0} \text{ В}}$$

е) Статический коэффициент усиления по току определяется по выходным характеристикам как отношение выходного тока к входному в заданной рабочей точке:

$$K_I = \frac{I_k^{PT}}{I_6^{PT}}$$

ж) Выходная проводимость по постоянному току определяется в заданной рабочей точке на одной из выходных характеристик как отношение выходного тока к выходному напряжению:

$$G_{0\text{вых}} = \frac{I_k^{PT}}{U_{кз}^{PT}}$$

3) Положение рабочей точки определяется величиной и знаком постоянного напряжения $U_{\text{бэ}0}$, для создания которого используется делитель напряжения (R_1 и R_2). Значения сопротивлений резисторов определяются выражениями:

$$R_1 = \frac{E_k - U_{\text{бэ}0}}{I_{\text{дел}}}; \quad R_2 = \frac{R_3 I_{\text{э}0} + U_{\text{бэ}0}}{I_{\text{дел}} - I_{\text{б}0}}$$

Здесь $I_{\text{дел}}$ – ток делителя, протекающий через резисторы R_1 и R_2 . Для повышения стабильности напряжения желательно, чтобы $I_{\text{дел}}$ был достаточно высоким, однако его высокое значение ведет к росту по-

требуемой мощности от источника питания и, как следствие, снижение КПД, поэтому значение $I_{\text{дел}}$ выбирается в пределах $(2...5)I_{60}$.

Ток эмиттера в рабочей точке определяется из соотношения токов в транзисторе:

$$I_{30} = I_{\text{к0}} + I_{60}.$$

Примечание. Полученные значения сопротивлений R_1 и R_2 уточняем из параметрического ряда сопротивлений E24 (приложение 5).

4) Для того, чтобы конденсатор C_3 осуществлял шунтирование R_3 , необходимо, чтобы емкостное сопротивление во всем диапазоне частот, на которых работает каскад было много меньше R_3 :

$$X_{C_3} \ll R_3$$

Обычно достаточно, чтобы сопротивление X_{C_3} на нижней предельной частоте f_n было в $5...10$ раз меньше R_3 :

$$X_{C_3} = \frac{R_3}{5...10} = (0,2...0,1)R_3$$

Тогда ёмкость конденсатора C_3 :

$$C_3 = \frac{1}{2\pi f_n X_{C_3}} = \frac{1}{6,283 \cdot f_n (0,2...0,1)R_3}$$

Примечание. Значение ёмкости конденсатора необходимо выбирать из параметрического ряда номиналов емкостей E24 (приложение 5).

5) Для удаления постоянной составляющей во входном сигнале перед делителем ставится разделительный конденсатор C_{p1} . Его ёмкость рассчитывается исходя из того, что его емкостное сопротивление на низких частотах должно быть много меньше входного сопротивления каскада

$$X_{C_{p1}} \ll R_{\text{вх.к.}}$$

Входное сопротивление каскада складывается из сопротивления базы и входного сопротивления транзистора, включенных параллельно:

$$R_{\text{вх.к.}} = \frac{R_6 \cdot R_{\text{вх.тр}}}{R_6 + R_{\text{вх.тр}}}$$

Здесь R_6 – сумма сопротивлений делителя напряжения R_1 и R_2 , включенных параллельно:

$$R_6 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

Входное сопротивление транзистора $R_{\text{вх.тр}} = h_{11}(Om)$

В обычных расчетах достаточно чтобы X_{Cp1} не превышало 10% $R_{вх.к.}$

$$X_{Cp1} \leq 0,1 R_{вх.к.} \text{ (Ом)}$$

Тогда

$$C_{p1} \geq \frac{1}{2\pi f_H X_{Cp1}} = \frac{1}{6,283 \cdot f_H \cdot 0,1 R_{вх.к}}$$

6) Конденсатор C_{p2} используется для удаления постоянной составляющей, созданной делителем напряжения R_1 и R_2 . Расчет ведется с учетом сопротивления нагрузки

$$C_{p2} \geq \frac{1}{2\pi f_H X_{Cp2}} = \frac{1}{6,283 \cdot f_H \cdot R_{вых}}$$

Выходное сопротивление каскада определим как:

$$R_{вых} = \frac{R_H \cdot R_K}{R_H + R_K}$$

Примечание. Значение емкостей конденсаторов C_{p1} и C_{p2} необходимо выбирать из параметрического ряда номиналов емкостей E24 (приложение 5).

7) Привести схему рассчитанного усилителя с указанием номиналов всех элементов.

Приложение 4. Расчет параметров каскада при подаче на вход переменного сигнала

Проведем расчет параметров каскада при подаче на вход переменного сигнала с амплитудой $I_{мб}$. Соответствующие графические построения приводятся на вольт-амперных характеристиках транзистора.

Строим на входных характеристиках линию нагрузки по двум точкам: рабочая точка (РТ) с координатами $U_{кэ0}$ и $I_{кэ0}$ и значение напряжения источника питания E_K . На нагрузочной прямой отмечаем точки $I_{60} + I_{мб}$ и $I_{60} - I_{мб}$. Опустив перпендикуляры из полученных точек на оси I_K и $U_{кэ}$ получаем максимальные и минимальные значения токов и напряжений при подаче гармонического сигнала.

Так как максимальные значения положительных и отрицательных полупериодов сигнала могут быть неодинаковыми и, значит, усиление большого сигнала и в активном режиме сопровождается некоторыми искажениями, то значения амплитуд определяются как средние за период.

Амплитуда выходного напряжения

$$U_{mкэ} = \frac{U_{кэ \max} - U_{кэ \min}}{2}$$

Амплитуда выходного тока

$$I_{mk} = \frac{I_{k \max} - I_{k \min}}{2}.$$

Определяем положение рабочей точки на входных характеристиках по значению тока базы I_{60} , полученной для рабочей точки на выходной характеристике, отмечаем точки $I_{60}+I_{mб}$ и $I_{60}-I_{mб}$. Опускаем перпендикуляры из полученных точек на ось входного напряжения, получаем максимальное и минимальное значение, рассчитываем амплитуду входного напряжения:

$$U_{mбэ} = \frac{U_{бэ \max} - U_{бэ \min}}{2}.$$

При построении осциллограмм входных и выходных токов и напряжений следует обратить внимание на то, что выходное напряжение противофазно входному.

Значения рабочих параметров каскада в рабочей точке выражаются через соответствующие амплитуды и постоянные составляющие токов и напряжений.

Коэффициенты усиления по напряжению, по току и по мощности:

$$K_U = \frac{U_{mkэ}}{U_{mбэ}},$$

$$K_I = \frac{I_{mk}}{I_{mб}},$$

$$K_P = K_I \cdot K_U.$$

Входное и выходное сопротивления переменному току:

$$R_{вх\sim} = \frac{U_{mбэ}}{I_{mб}}; R_{вых\sim} = \frac{U_{mkэ}}{I_{mk}}.$$

Мощность, потребляемая от источника питания:

$$P_{потр} = E_k \cdot I_{k0} + I_{дел}^2 (R_1 + R_2) + I_{60}^2 \cdot R_1.$$

Полезная выходная мощность:

$$P_{R\sim} = 0,5 U_{mkэ} \cdot I_{mk}.$$

Мощность, рассеиваемая в коллекторе:

$$P_k = U_{кэ0} \cdot I_{к0}.$$

Коэффициент полезного действия выходной цепи:

$$\eta = \frac{P_{R\sim}}{P_{потр}} 100\%.$$

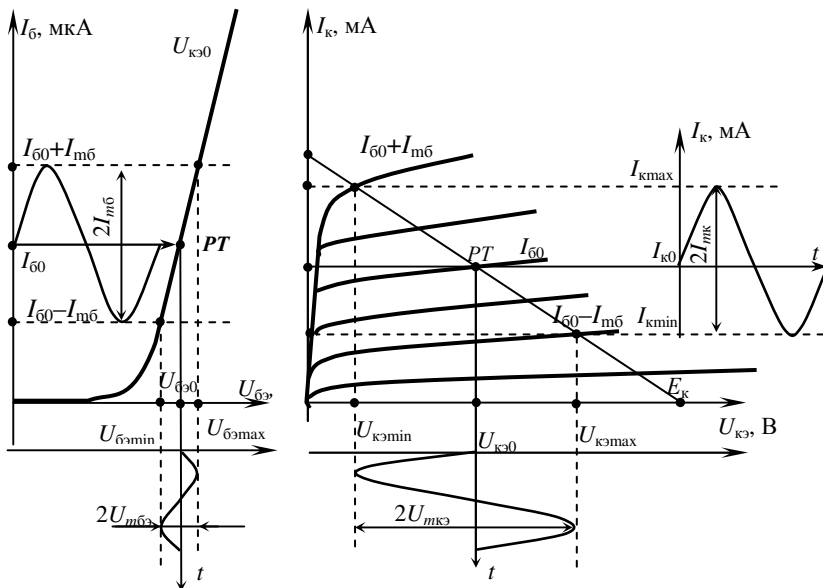


Рис. 1.6. Входные и выходные характеристики кремниевого планарно-эпитаксиального $n-p-n$ транзистора, включенного по схеме с ОЭ. Построения к расчету параметров усилителя на БПТ.

Приложение 5. Ряды номинальных значений резисторов и конденсаторов

Номинальное сопротивление. Номинальное сопротивление - электрическое сопротивление, значение которого обозначено на резисторе или указано в нормативной документации и является исходным для отчета отклонений от этого значения.

Номинальные сопротивления резисторов стандартизованы. Для постоянных резисторов согласно ГОСТ 2825-67 установлено шесть рядов E6, E12, E24, E48, E96, E192, а для переменных резисторов в соответствии с ГОСТ 10318-80 установлен ряд E6. Цифра после буквы E указывает число номинальных значений в каждом десятичном интервале.

Наиболее употребляемые ряды номинальных значений сопротивлений:

E6 – 1; 1,5; 2,2; 3,3; 4,7; 6,8.

E12 – 1; 1,2; 1,5; 1,8; 2,2; 2,7; 3,3; 3,9; 4,7; 5,6; 6,8; 8,2.

E24 – 1; 1,1; 1,2; 1,3; 1,5; 1,6; 1,8; 2; 2,2; 2,4; 2,7; 3; 3,3; 3,6; 3,9; 4,3; 4,7; 5,1; 5,6; 6,2; 6,8; 7,5; 8,2; 9,1.

Номинальные сопротивления в каждой декаде соответствуют указанным в таблице числам или числам, полученным умножением либо делением их на 10^n , где n – целое положительное или отрицательное число.

Номинальная емкость. Номинальная емкость – емкость, значение которой обозначено на конденсаторе или указано в сопроводительной документации. Фактическое значение емкости может отличаться от номинальной на величину допустимого отклонения. Номинальные значения емкости стандартизованы и выбираются из определенных рядов чисел путем умножения или деления их на 10^n , где n – целое положительное или отрицательное число.

Наиболее употребляемые ряды номинальных значений емкостей:

E3 – 1; 2,2; 4,7.

E6 – 1; 1,5; 2,2; 3,3; 4,7; 6,8.

E12 – 1; 1,2; 1,5; 1,8; 2,2; 2,7; 3,3; 3,9; 4,7; 5,6; 6,8; 8,2.

E24 – 1; 1,1; 1,2; 1,3; 1,5; 1,6; 1,8; 2; 2,2; 2,4; 2,7; 3; 3,3; 3,6; 3,9; 4,3; 4,7; 5,1; 5,6; 6,2; 6,8; 7,5; 8,2; 9,1.

Приложение 6. Стабилизаторы напряжения в интегральном исполнении

Стабилизаторы напряжения, рассчитанные на одно фиксированное напряжение

Тип микросхемы	Е _к , В	Тип микросхемы	Е _к , В
7805, 7905, 78L(M)05, КР142ЕН5А(В) КР1157ЕН5А-Г, КР1157ЕН501(2)А(Б) КР1162ЕН5А(Б), КР1168ЕН5 КР1179ЕН05	5	7806, 7906, 78L(M)06, КР142ЕН5Г КР1157ЕН601(2)А(Б), КР1162ЕН6А(Б), КР1168ЕН6 КР1179ЕН06	6
7908, 78(79)M08 КР1157ЕН801(2)А(Б), КР1179ЕН08 КР1162ЕН8А(Б), КР1168ЕН8	8	78L09, КР142ЕН8А(Г), КР1168ЕН9 КР1157ЕН9Б(В,Г), КР1162ЕН9А(Б); КР1157ЕН901(2)А(Б);	9
7812, 78L12, КР142ЕН8Б(Д), КР1157ЕН12А(Б,В,Г); КР1180ЕН12А КР1157ЕН1201А(Б), КР1162ЕН12А, КР1168ЕН12, КР1179ЕН12	12	7815, 78M15, КР142ЕН8В(Е), КР1157ЕН15А(Б,В,Г), КР1157ЕН1501А(Б), КР1180ЕН15Б, КР1162ЕН15Б, КР1168ЕН15, КР1179ЕН15	15
7818, 79L18, КР1157ЕН18А(Б,В,Г), КР1157ЕН1801А, КР1162ЕН18А, КР1180ЕН18Б	18	78M20, 79M20, КР142ЕН9А	20
7824, 79L24, КР142ЕН9Б(Д), КР1157ЕН24А-Г, КР1157ЕН2401А, КР1162ЕН24А, КР1179ЕН24, КР1180ЕН24Б	24	КР142ЕН9В(Е), КР1157ЕН2702А(Б)	27

Стабилизаторы напряжения, обеспечивающие регулируемое выходное напряжение

Тип микросхемы	Е _к , В	Тип микросхемы	Е _к , В
LM317L	1,2 -37	LM337LZ	1,2- 37
КР142ЕН12А,Б	1,2 -37	КР142ЕН18А,Б	1,3 -26,5
КР1157ЕН1	1,2 - 37	КР1168ЕН1	1,2 - 37

Задание 2.

Разработка структуры полупроводниковой интегральной схемы

По заданному варианту и исходным данным, приведенным в таблице 2.1 составить принципиальную схему фрагмента полупроводниковой интегральной микросхемы (ИМС). Начертить структуру кристалла (в разрезе), топологический чертеж (вид сверху) и все фототemplates, используемые в процессе изготовления ИМС, предполагая, что на всех этапах используется позитивный фоторезист.

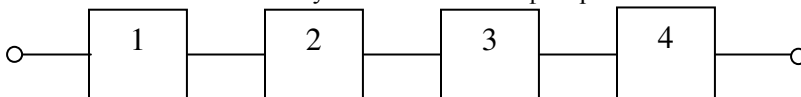


Рис.2.1. Структура принципиальной схемы ИМС

Таблица 2.1

№ Варианта (последняя цифра студенческого билета)	№ элемента в структурной и принципиальной схемах				Технология изготовления (предпоследняя цифра студ. билета)
	1	2	3	4	
0	R ₁	A-VD ₁	VT 1-2	C ₁	четная – планарно-эпитаксиальная нечетная – планарно-диффузионная
1	C ₂	R ₂	A-VD ₂	VT1-3	
2	VT 2-1	C ₁	R ₃	A-VD ₃	
3	C ₁	VT2-3	A-VD ₄	R ₄	
4	A-VD ₅	C ₂	VT3-1	R ₁	
5	C ₂	VT3-2	R ₄	K-VD ₁	
6	K-VD ₂	R ₃	C ₁	VT3-2	
7	R ₂	K-VD ₃	C ₂	VT2-1	
8	VT3-1	C ₁	K-VD ₅	R ₂	
9	R ₃	K-VD ₄	VT2-3	C ₂	

Примечания к таблице 2.1:

Резисторы: R₁ - пинч-резистор, R₂ - на основе эмиттерной области, R₃ - на основе базовой области, R₄ - на основе коллекторной области;

Конденсаторы: C₁ - на основе обратносмещенного *p-n*-перехода эмиттер-база, C₂ - на основе обратносмещенного *p-n*-перехода коллектор-база;

Диоды (признак схемы диодного включения транзистора):

$$VD_1 - U_{кб}=0,$$

$$VD_2 - U_{бэ}=0,$$

$$VD_3 - U_{кэ}=0,$$

$$VD_4 - I_э=0,$$

$$VD_5 - I_к=0.$$

Буква А – обозначает подключение к аноду диода, буква К – к его катоду (рис.2.2).

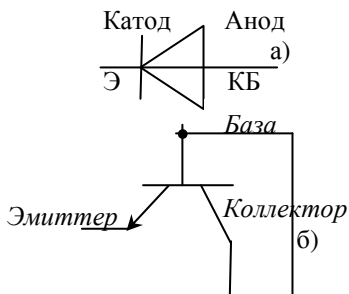


Рис.2.2. УГО диода (а) и диодного включения транзистора с признаком схемы $U_{кб}=0$ (б)

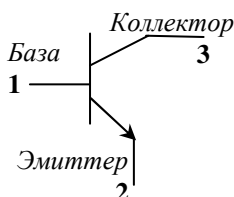


Рис.2.3. УГО

биполярного *n-p-n* транзистора

Транзистор VT (*n-p-n*- вида) представлен на рис.2.3. Первая цифра в таблице 2.1 обозначает, какой из электродов будет входным, вторая цифра – выходным.

Пример выполнения задания 2

Допустим, задана структура принципиальной схемы как на рис. 2.4а. Тогда, принципиальная схема будет иметь вид, показанный на рис. 2.4б. Перечертим схему с учетом того, что в качестве диода используется транзисторная структура с признаком схемы $U_{кб}=0$ (рис.2.4в).

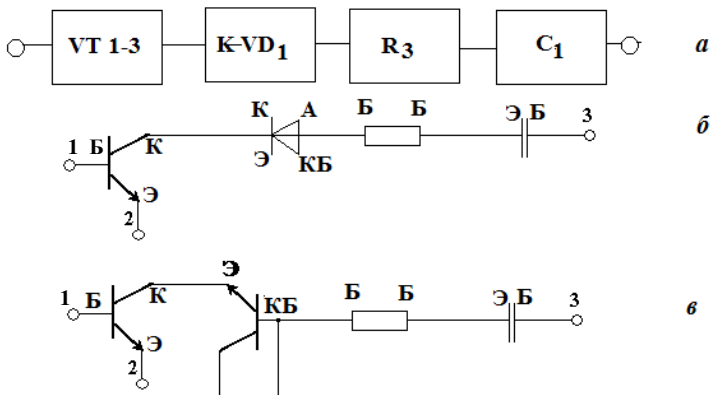


Рис. 2.4

Используя конструкции элементов, скомпонуем все элементы в одном кристалле, как показано на рис.2.5а и покажем соединения между элементами в одной плоскости разреза. Покажем диодную со скрытым p^+ -слоем изоляцию между элементами.

На рис.2.5 б изображен топологический чертеж. На рис. 2.5в изображены приблизительные фотошаблоны, которые используются в процессе изготовления ИМС с использованием позитивного фоторезиста.

Фотошаблон 1 используется в формировании скрытого p^+ слоя.

Фотошаблон 2 используется для разделительной диффузии акцепторных примесей (р-типа) в эпитаксиальный п-слой (для промежутков между элементами).

Фотошаблон 3 используется для диффузии р-областей базового слоя.

Фотошаблон 4 используется для формирования эмиттерных и коллекторных п+областей.

Фотошаблон 5 используется для формирования окон под контакты в слое двуокиси кремния SiO_2 , которые затем металлизуются.

Фотошаблон 6 используется в процессе травления промежутков в сплошном слое металла, т.е. для получения требуемого рисунка соединений между элементами на поверхности кристалла.

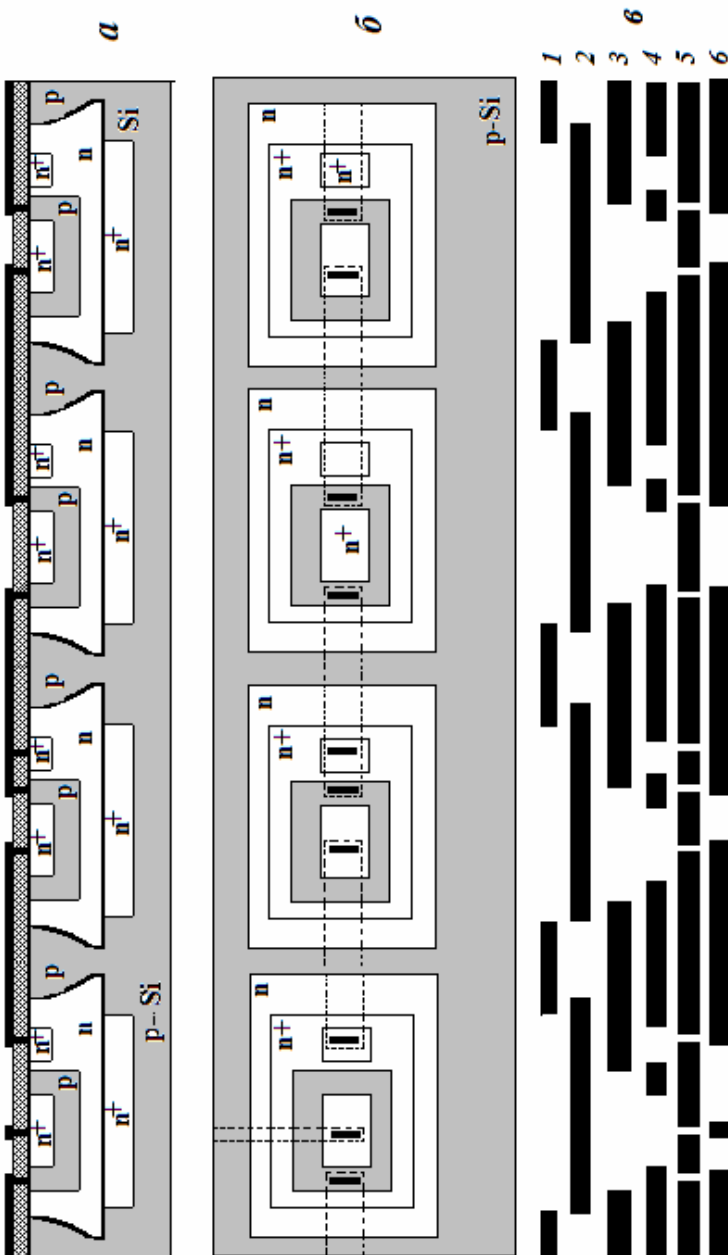
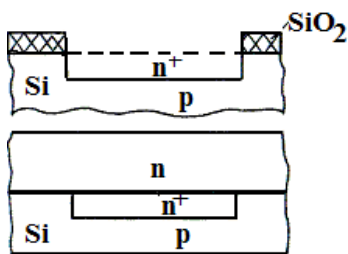


Рис. 2.5

Приложение 7. Планарно-эпитаксиальная технология изготовления полупроводниковых ИМС

Сущность этой технологии состоит в выращивании на поверхности кремния р-типа эпитаксиального слоя, создания в нем карманов n-типа и формировании в них вертикальных p-n-p-транзисторных структур. Технологический процесс состоит из следующих основных операций:



а) на подложке Si р-типа создается слой SiO_2 , в котором вытравливаются окна для осуществления диффузии доноров, формируется скрытый n^+ слой;

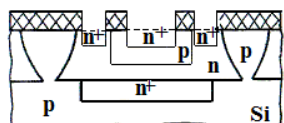
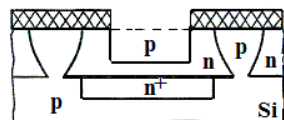
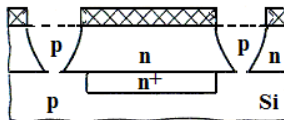
б) удаляется слой SiO_2 и наращивается эпитаксиальный n-слой;

в) окисляется поверхность, делаются окна в SiO_2 , через которые вводят акцепторную примесь (р-типа), в результате чего эпитаксиальный слой «разрезается» на отдельные островки-карманы с проводимостью n-типа;

г) создается новый окисный слой с окном для введения акцепторов, формируется базовая область;

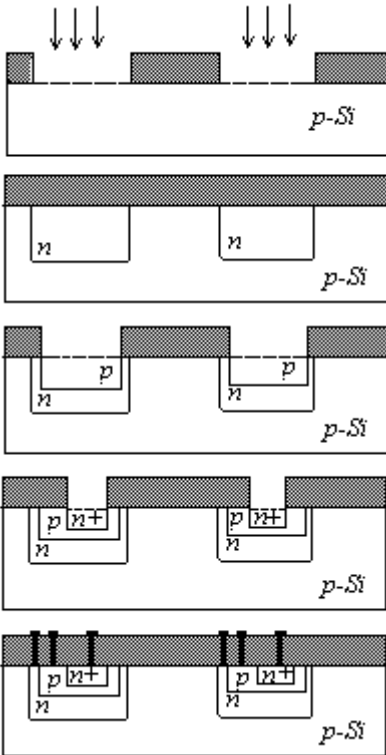
д) опять создается новый слой SiO_2 с окнами для диффузии доноров, формируется эмиттер и n^+ -области для осуществления выводов от коллектора.

На последующих этапах технологического процесса формируются окна для осуществления выводов от эмиттера, базы и коллектора, напыляется сплошная пленка алюминия и методом фотолитографии формируется рисунок внешних проводниковых соединений на поверхности SiO_2 (рис.2.5а).



Приложение 8. Планарно-диффузионная технология изготовления полупроводниковых ИМС

а) В качестве исходной структуры берется пластина кремния, например, р - типа, на которую наносится защитный слой SiO_2 , затем через незащищенные участки производится диффузия донорной примеси п-типа. В результате диффузии образуются изолированные п-слои - коллекторные области транзисторов.



б) Затем проводится повторная диффузия акцепторной примеси с целью получения базовых р-областей.

в) Третья диффузия повышенной концентрации донорной примеси приводит к образованию эмиттеров.

г) После этого осуществляют металлизацию - омический контакт с областями коллектора, базы и эмиттера и создают контактные площадки, к которым впоследствии можно присоединить внешние выводы.

Недостаток: р-п-переход не имеет четкой границы. Это объясняется тем, что диффузия идет с поверхности материала. В связи с этим примесь в исходном материале распределяется неоднородно: на поверхности атомов примеси больше, а в глубине меньше. Нечеткость р-п-перехода существенно влияет на качество и свойства компонентов схемы.

Задание 3.

Разработка схем на основе светодиодных индикаторов

Разработать схему на основе 15 – сегментных индикаторов, которые высвечивают заданные последовательности символов (слова). Для проверки функционирования схемы воспользоваться программой Multisim.

Варианты заданий могут быть различны: например,

а) при положении ключа в одном состоянии высвечивается первое слово, при переключении ключа в другое состояние – второе слово.

б) при подаче на вход 2...m цифровых кодов – высвечиваются 2...m слов, состоящих из n-букв

Пример выполнения задания 3

15 –сегментный индикатор с общим катодом имеет цокалевку, изображенную на рис. 3.1.

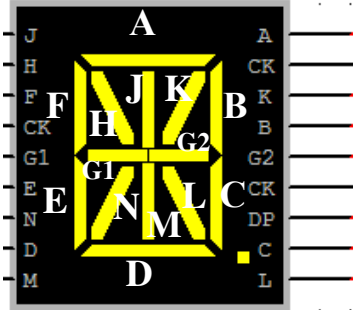


Рис. 3.1

Составим таблицу соответствия активных (включенных в прямом направлении) сегментов при высвечивании буквы К- в одном положении ключа, буквы А – в другом положении (табл.3.1).

Таблица 3.1

индикатор		Буква	A	B	C	D	E	F	G1	G2	H	J	K	N	M	L	DP
1	X1	К					1	1	1				1			1	
	X2	А		1	1					1			1	1			
...																	
n																	

Для каждого сегмента запишем логическое выражение

$$V=C=G2=N= X2$$

$$K=X1+X2$$

$$E=F=G1=L=X1$$

На рис.3.2 и 3.3 представлена схема, собранная в программе Multisim, высвечивающая букву К – в одном положении ключа, букву А– в другом положении. Выводы СК следует заземлить.

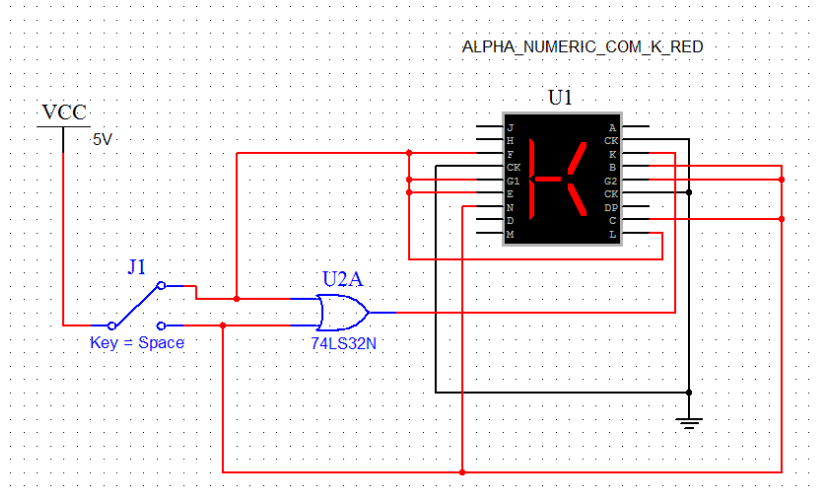


Рис.3.2

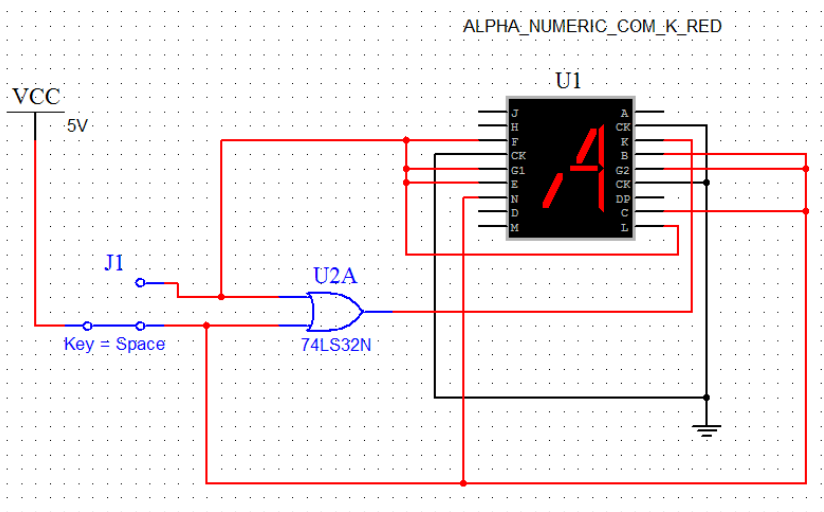


Рис.3.3

Требования к оформлению курсовой работы

С полным перечнем требований к оформлению можно ознакомиться в **РД ПГУТИ 2.45.7 - 2016 –Правила оформления текстовых студенческих работ в ПГУТИ. Положение.**

Приведем основные требования:

- 1) Для курсовой работы используются стандартные листы бумаги А4 (297 × 210 мм). Печать с одной стороны.
- 2) Текст работы печатается через полтора интервала шрифтом Times New Roman кеглем в 12 пунктов. Заголовки –16, подзаголовки –14. Для заголовков могут использоваться полужирный шрифт или курсив. Точку в конце заголовка не ставят. Все **заголовки** располагаются с выравниванием **по центру**. **Текст работы** должен быть выровнен **по ширине**. Размеры полей: левое – 30 мм, правое – 15 мм, верхнее – 20 мм, нижнее –20 мм. абзацный отступ - 1,25 см.
- 3) Номера страниц на титульном листе и содержании не проставляются.
- 4) Таблицы и иллюстрации (фотографии, рисунки, чертежи, схемы, графики,) располагаются непосредственно на странице с текстом после абзаца, в котором они упоминаются впервые, обозначаются словом «Рис.» и «Таблица..» и нумеруются последовательно в пределах раздела. Например: Рис. 1.2 (второй рисунок первого раздела). Иллюстрации должны иметь наименование, которое располагается после номера рисунка. После наименования рисунка точка не ставится.
- 5) Формулы рекомендуется набирать в редакторе формул с выравниванием по центру строки. В формулах необходимо четко обозначать надстрочные и подстрочные символы и индексы. Размер символов, цифр, букв в формулах должен соответствовать размеру шрифта основного текста. Формулы (если их более одной) нумеруются в пределах раздела. Номер формулы состоит из номера раздела и порядкового номера формулы в разделе, разделенных точкой. Номера формул пишутся в круглых скобках и выравниваются по правому краю листа на уровне формулы. Пояснение значений символов и числовых коэффициентов необходимо приводить непосредственно под формулой в той же последовательности, в какой они даны в формуле, а значение каждого символа и числового коэффициента давать с новой строки.
- 6) Для каждого задания следует приводить теоретические сведения по тематике задания объемом 1-6 страниц.
- 7) В конце курсовой работы приводится список использованных источников, который можно располагать в порядке **появления ссылок в тексте работы** или в алфавитном порядке фамилий первых авторов или заглавий.