**МИНИСТЕРСТВО ЦИФРОВОГО РАЗВИТИЯ, СВЯЗИ И МАССОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
Ордена Трудового Красного Знамени

государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования  
**Московский Технический Университет Связи и Информатики**

Кафедра «Электроника»

**Учебно-методическое пособие по дисциплине**

**«Основы конструирования и технологии производства ЭС»**

для студентов направления 11.03.01 и 11.03.02

Москва, 2024

Учебно-методическое пособие по дисциплине

**Основы конструирования и технологии производства ЭС**

Авторы: Г.М. Аристархов,

О.В. Аринин,

В.Н. Каравашкина

Рецензент Т.Б. Асеева

# Лабораторная работа №1к

**Исследование параметров пассивных элементов   
гибридных интегральных микросхем**

**1. Цель работы**

Ознакомление с конструктивно-технологическими особенностями и параметрами пленочных элементов гибридных интегральных микросхем (ИС).

**2. Задание**

1. По вариантам, начертить топологию элементов. Рассчитать основные параметры элементов: размеры, номинальное значение, число квадратов, относительную погрешность.
2. Получить задание на расчет топологии пленочных элементов;
3. Выбрать материалы пленок. Рассчитать топологию элементов. Результаты расчетов оформить в виде таблицы.
4. Начертить топологию ИС в масштабе 20:1, 10:1 или 5:1, разместив элементы так, чтобы они по возможности занимали минимальную площадь.
5. Размеры навесных элементов принять равными 1x1 мм2. Размеры контактных площадок 500x500 мкм2.

**3. Содержание отчета:**

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Чертеж топологии и результаты расчета параметров элементов.
4. Расчеты топологии элементов.
5. Таблица с результатами расчета топологии элементов.
6. Чертеж топологии ИС в формате, указанном преподавателем.
7. Выводы.

**4. Контрольные вопросы**

1. Чем определяется выбор технологии изготовления гибридных интегральных схем?
2. Назовите основные типы подложек ГИС и их параметры.
3. Какие требования предъявляются к материалам контактных площадок, проводников, резистивных пленок?
4. Виды материалов, применяемых для контактных площадок, проводников, резистивных пленок?
5. Каковы требования к диэлектрическим пленкам? Для каких целей они применяются?
6. Чем обусловлен разброс номиналов пленочных элементов?
7. Какие основные конфигурации резисторов используются в пленочных ИС?
8. Чем определяются минимальные размеры резисторов?
9. Как влияет топология конденсатора на точность его изготовления?
10. Назовите предельные характеристики пленочных индуктивностей?

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

**Проектирование пленочных элементов гибридных интегральных микросхем**

Быстрое увеличение сложности радиоэлектронной аппаратуры требует значительного повышения ее надежности и снижения стоимости, габаритов, веса. Решение этих задач привело к появлению новых технических решений и технологических процессов, в основе которых лежат интегральные методы изготовления электронных схем.

В связи с этим изменился подход к конструированию аппаратуры. Появилась тесная взаимосвязь процессов проектирования РЭА и производства ИС и соответственно необходимость тесного взаимодействия разработчиков и технологов.

В настоящее время в области конструирования и технологии интегральных схем определились два основных направления:

1. Полупроводниковые интегральные схемы, представляющие собой функциональные устройства, содержащие активные и пассивные элементы, изготовленные в кристалле полупроводника. Диффузионные резисторы и конденсаторы монолитных схем имеют узкий диапазон реализуемых номиналов, низкую точность изготовления, сильную температурную зависимость номиналов и являются нелинейными элементами. Полупроводниковые схемы характеризуются высокой плотностью упаковки.

2. Гибридные интегральные схемы, представляющие собой диэлектрическую подложку с пленочными пассивными элементами и навесными бескорпусными активными элементами или полупроводниковыми микросхемами.

В отличие от диффузионных элементов тонкопленочные пассивные элементы обладают значительно меньшими температурными коэффициентами, повышенной радиационной стойкостью, более точными номинальными значениями, лучшими параметрами в СВЧ диапазоне.

К недостаткам гибридных ИС по сравнению о полупроводниковыми относятся необходимость ручных сборочных операций и большие габариты.

В настоящее время технология гибридных интегральных микросхем достаточно хорошо отработана и позволяет создавать самые разнообразные компактные и высоконадежные схемы.

Хотя ГИС и уступают полупроводниковым микросхемам по надежности и площади, занимаемой элементами схемы, и трудности, возникающие при создании пленочных активных элементов еще не преодолены, пленочная технология является хорошим дополнением полупроводниковой технологии, так как во многих случаях упрощает и удешевляет производство аппаратуры.

Выбор той или иной технологии для изготовления конкретной схемы определяется многими факторами, главными из которых являются объем выпуска и универсальность схемы. Технология гибридных интегральных схем оказывается более выгодной при мелкосерийном исерийном производстве. В этом случае она имеет следующие преимущества:

* капитальные вложения, необходимые для налаживания производства, в 10-20 раз меньше, чем при освоении полупроводникового производства;
* проще и дешевле проектирование схем; проще переход от одной схемы к другой (достаточно смены масок, трафаретов);
* технологические процессы менее сложны, более однородны и не так чувствительны к производственным помехам, как при производстве полупроводниковых схем;
* возможность одновременного использования полупроводниковых компонентов, различающихся по технологии изготовления и материалам (МОП, биполярные ИС, туннельные диоды, ИС на р-n подложках и подложках из арсенида галлия и др.), что обеспечивает большую гибкость при проектировании схем;
* возможность подгонки в некоторых случаях номиналов пленочных элементов;
* более высокая плотность упаковки при размещении на подложке нескольких полупроводниковых бескорпусных БИС по сравнению с той же аппаратурой на корпусированных БИС.

Эти преимущества обусловили переход к разработке и производству гибридных интегральных схем и БИС частного применения, т.е. микросхем, выпускаемых непосредственно предприятием-изготовителем аппаратуры. Серийность и номенклатура ГИС для конкретной аппаратуры определяется самим предприятием, а для их производства покупаются бескорпусные полупроводниковые приборы и схемы широкого применения либо в виде отдельных кристаллов, либо в виде неразрезанных пластин с последующим отбором годных изделий. Таким образом, становится невозможным проектирование аппаратуры без знания разработчиком возможностей как гибридной, так и полупроводниковой технологии.

В свою очередь технология гибридных и пленочных интегральных схем подразделяется на два вида: тонкопленочную и толстопленочную.

Само по себе деление на тонкие и толстые пленки является в значительной мере условным, и критерием различия здесь служит технология нанесения пленки. Толстые пленки проводящего, резистивного, диэлектрического материалов наносят методом трафаретной печати с помощью специальных паст с последующей многократной термообработкой при 800°С. Тонкие пленки наносят обычно распылением материала в вакууме с последующим осаждением его на диэлектрическую подложку через трафарет. Толстые пленки дают возможность получать ширину линии до 0,2 мм. Тонкопленочная технология обладает большей разрешающей способностью. Дли ширины линий в 0,1 мм необходимо использовать тонкие пленки.

Практика показала, что толстопленочная технология применяется при изготовлении схем более низкочастотных, с большими номиналами резисторов, работающих на более высоких уровнях мощности, в системах, где допустимы большие габариты и не требуются жесткие технологические допуски.

Выбор технологии в каждом случае диктуется совокупностью таких факторов как технологические возможности и эксплуатационные характеристики, которые необходимо получить в конкретной схеме. Важную роль играют опыт данного предприятия, стоимость производства ИС, объем опытных партий, требования к качеству изделий, сложность систем, в которых используются ИС.

**Подложки гибридных и пленочных микросхем**

Подложкой интегральной микросхемы называется основание, на поверхности или в объеме которого формируются элементы интегральных микросхем.

Подложки дан пленочных микросхем должны удовлетворять следующим требованиям:

* высокая механическая прочность при малых толщинах;
* высокие объемное и поверхностное электрические сопротивления и малые диэлектрические потери;
* температурные коэффициенты линейного расширения подложки и пленки должны быть предельно согласованными;
* химическая инертность к осаждаемым веществам и травителям;
* физическая и химическая стойкость при нагреве до высоких температур порядка 800°С;
* незначительное газовыделение в вакууме;
* хорошая адгезия с осаждаемой пленкой;
* высокий коэффициент теплопроводности;
* легкость механической обработки (резка, шлифовка, полировка);
* низкая стоимость.

Качество поверхности является важнейшим параметром подложки. От правильной обработки поверхности зависят не только структура и свойства наносимых пленок и, следовательно, электрические характеристики элементов, но и выход годных элементов, т.е. в конечном счете стоимость ИС. Чистота поверхности подложки не допускается ниже 13 – 14-го классов для тонкопленочного и 8-го класса для толстопленочных микросхем. Основные параметры подложек для пленочных микросхем приведены в табл.1.

Таблица 1

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Материал подложки | ε | tgδ\*10-4 | Коэффициент теплопроводности, λ, Вт/м\*град | ТКЛР\*10-7, 1/град | Класс частоты, |
| Ситалл СТ580-1 | 8.2 | 25 | 1.4-4 | 50 | 13-14 |
| Керамика 221С | 9.2-10.3 | 6-15 | 12-13 | 75 | 4-11 |
| Поликор | 9.8 | 1 | 30 | 75-80 | 13-14 |
| Сапфир | 9.9 | 1 | 25-40 | 66-90 | 13-14 |
| Окись бериллия | 6.8 | 1-4.6 | 120-150 | 71-90 | 8-9 |

Таблица 2

Рекомендуемые размеры подложки ИС

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Ширина, мм | 60 | 30 | 24 | 20 | 16 | 16 | 16 | 12 | 12 | 10 | 10 |
| Длина, мм | 48 | 48 | 30 | 24 | 60 | 30 | 20 | 48 | 30 | 16 | 12 |

**Подложки из ситалла** широко применяются при изготовлении тонкопленочных гибридных схем. Ситалл, продукт кристаллизации стекла, по своим свойствам занимает промежуточное положение между стеклами и керамикой. Обладает более высокой механической прочностью по сравнению со стеклами (примерно в 2 раза), однако его теплопроводность невысока.

**Подложки из керамики** на основе окиси алюминия сравнительно дешевы, имеют низкие потери, относительно высокую диэлектрическую проницаемость и в несколько раз более высокую, чем у стекла и ситалла, теплопроводность, что позволяет изготавливать более мощные микросхемы. К недостаткам керамических подложек следует отнести трудности их полировки. В связи с этим они используются в основном в толстопленочных микросхемах. Шероховатая поверхность керамики способствует повышению адгезии при вжигании проводящих, резистивных и диэлектрических паст толстопленочных схем.

**Подложки из поликора** применяются преимущественно при изготовлении тонкопленочных гибридных СВЧ микросхем. Поликор изготовляют из корундовой керамики, содержащей около 99,8 % окиси алюминия. В нём удачно сочетаются относительно высокая диэлектрическая проницаемость с малыми потерями на СВЧ. Кроме того, поликор обладает хорошей полируемостью, что также снижает потери на СВЧ.

**Подложки из сапфира** являются перспективными для применения в различных типах микросхем. Сапфир представляет собой монокристаллическую окись алюминия. Он обладает весьма малыми диэлектрическими потерями на СВЧ, высокой теплопроводностью, механической прочностью, устойчивостью к действию высокой температуры, влаги, излучений. Сапфир хорошо полируется до 14-го класса чистоты.

На сапфире возможно гетероэпитаксиальное осаждение кремния, арсенида галлия и др., что позволяет создать на его поверхности активные элементы, используя полупроводниковую технологию.

Широкое применение сапфировых подложек ограничивается трудностями его изготовления и высокой стоимостью.

**Подложки из окиси бериллия (брокерита)** целесообразно использовать, когда в микросхемах необходимо обеспечить хороший теплоотвод от активных элементов, выделяющих значительные мощности. Его теплопроводность на порядок выше теплопроводности окиси алюминия и на два порядка теплопроводности ситалла.

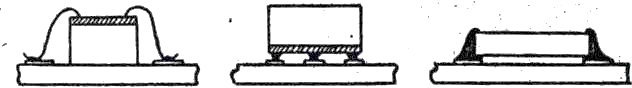
При обработке и получении бериллиевой керамики выделяется токсичная пыль, поэтому необходимо принимать специальные меры предосторожности, усложняющие производство и ограничивающие ее применение.

Кроме рассмотренных, находят применение и другие виды подложек, из которых следует отметить подложки из кварца. Они применяются для создания микросхем стабильных фильтров, генераторов и других активных элементов на основе пьезоэлектрических свойств.

Размеры подложек гибридных и пленочных микросхем стандартизованы: 48x60 мм и кратные этому размеру (см. табл. 2). Толщина подложек – 0,6; 1,0; 1,6 мм.

**Навесные элементы гибридных микросхем**

В качестве активных элементов гибридных интегральных схем могут использоваться как бескорпусные дискретные транзисторы, так и бескорпусные интегральные полупроводниковые схемы. Бескорпусные элементы поставляются в специальной таре, предохраняющей их от повреждений, и имеют различную конструкцию выводов: проволочные, шариковые. Соответственно различаются способы их установки на подложки микросхем (рис. 1) итребования к размещению контактных площадок на подложке.



а) б) в)

Рис. 1. Способы установки навесных элементов

Жесткое крепление навесных элементов осуществляется на подложке с помощью клеев, эпоксидных смол и компаундов. Кроме активных элементов, широко используются в качестве навесных элементов конденсаторы (рис. 1в), имеющие высокую надежность и широкий диапазон номиналов.

**Проводники и контактные площадки.**

Для изготовления пленочных проводников, обкладок конденсаторов и контактных площадок применяются металлические пленки, параметры которых приведены в табл. 3.

Таблица 3

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Материал пленки | Удельное объемное сопротивление, Ом | ТКС, 1/град | Удельная теплопроводность, | ТКЛР 10-6, 1/град |
| Алюминий | 2.8 | 0.0042 | 2.03 | 24.0 |
| Золото | 2.4 | 0.0038 | 2.90 | 14.3 |
| Серебро | 1.6 | 0.0040 | 4.19 | 19.3 |
| Медь | 1.7 | 0.0043 | 3.88 | 16.5 |
| Никель | 7.3 | 0.0065 | 0.72 | 13.0 |
| Нихром | 100.0 | 0.00017 | 0.13 | - |
| Палладий | 10.7 | 0.0038 | 0.70 | 11.0 |
| Олово | 12.0 | 0.0044 | 0.64 | 23.0 |

К пленкам данного типа предъявляются требования высокой элект­ропроводности; хорошей адгезии с поверхностью подложки и другими пленками, малого теплового расширения, минимальной коррозии.

Толщина пленок обычно колеблется в пределах 0,3±1 мкм.

**Резистивные пленки** тонкопленочных резисторов получают напылением различных металлов, керметов (смеси металла с диэлектриком) и специальных сплавов. Некоторые из них даны в. табл. 4.

Таблица 4

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Материал | ρs, Ом/□ | ТКР\*10-4 1/град | ɣСТ, % | ρ0, мВт/мм2 |
| Нихром  ГОСТ 8803-58 | 100-300 | -2,2 | 0,2 | 20 |
| Сплав МЛТ-ЗМ | 200-500 | 2 | 0,1 | 10 |
| Хром  ГОСТ 5905-67 | 200-500 | 0,6 | 2,0 | 10 |
| Кермет | 3000  5000  10000 | 3  -4  -5 | 0,3 | 20 |
| Тантал | 20-100 | -2 | 1 | 30 |
| Сплав PC-3001 | 1000 | -0,2 | 0,1 | 20 |
| Сплав PC-3710 | 2000 | -0,6 | 1 | 40 |

Основной характеристикой резистивного слоя служит величина поверхностного сопротивления ρs, которое определяется как сопротивление электрическому току квадратной пленки. ρs измеряется в "омах на квадрат” (ОМ/□).

При постоянной толщине ρs и материале пленки не зависит от размеров квадрата и равно

, (1)

где ρуд – удельное объемное сопротивление материала; d – толщина пленки.

Выбор соответствующего материала пленки во многом зависит от организации производства и имевшегося опыта. Параметры напыляемых пленок определяются стандартом предприятия, изготовляющего ИС.

Величина сопротивления пленки может меняться под воздействием многих факторов, поэтому в производстве она должна контролироваться. Напыление прекращается, когда сопротивление контрольного резистора достигнет заданной величины. Толщина напыляемых резистивных пленок обычно лежит в пределах 0,01±1 мкм.

**Диэлектрические пленки.** Пленочный конденсатор представляет собой многослойную структуру, состоящую из пленок металла и диэлектрика. Емкость конденсатора определяется диэлектрической постоянной ε, площадью электродов и толщиной диэлектрика. Значение ε для большинства диэлектриков лежит в пределах 3-1000, а толщина диэлектрических пленок при тонкопленочной технологии не менее 0,1 мкм. Ограничения на толщину диэлектрического слоя определяются допустимой электрической прочностью Епр и токами утечки.

В технологии пленочных конденсаторов важнейшее значение имеет получение заданных физических свойств диэлектрических слоев истабильности их качества.

Рациональный выбор материалов позволяет уменьшить трудоемкость технологического процесса. Желательно, чтобы материал нижнего электрода конденсатора мог использоваться для межсоединений ИС и обеспечивал надежный электрический контакт с тонкопленочными резисторами.

Диэлектрическая пленка должна быть хорошим пассивирующим слоем для резисторов.

Материал верхнего электрода конденсатора должен быть приемлемым для создания внутренних соединений и контактных площадок.

Перспективными материалами, во многом отвечающими перечислен­ным требованиям, является пятиокись тантала или титана. За одну операцию осаждения тантала или титана можно получить основные резистивные, емкостные элементы и внутрисхемные соединения. Образование окислов этих элементов является средством подгонки и стабилизации резисторов. Креме того, окислы служат в качестве хороших диэлектриков для конденсаторов.

В табл. 5 приведены лианные о диэлектриках, наиболее часто применяемых в тонкопленочных конденсаторах.

Таблица 5

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Диэлектрик | ε | tgδ\*10-3 | Епр\*106,  В/см | ТКС\*10-5.  1/град |
| SiO | 6-7 | 10 | 1,5-5 | 50 |
| SiO2 | 4,8-6,8 | 0,5-20 | 3-4 |  |
| Ta2O5 | 20-25 | 10-70 | 1,5-2,5 | 40 |
| TiO2 | 20-300 | 40 | 0,5-2 |  |
| GeO | 10-11 | 1-5 | 0,5-1 | 30-50 |
| Боросиликатное стекло | 4 | 1 | 3-4 | 3,5 |

**Межслойная изоляция** в пленочных интегральных микросхемах применяется для разделения пересекающихся проводников и изготовления многослойных ИС с более высокой степенью интеграции.

В качестве межслойной изоляции тонкопленочных схем могут применяться диэлектрики, используемые для изготовления конденсаторов (табл. 5); при этом необходимо учитывать противоположное требование к значениям диэлектрической проницаемости с целью уменьшения межэлементной емкости и более высокие требования к пробивному напряжению. Наиболее часто в качестве изолирующих диэлектрических пленок используют различные виды стекол и лаки.

**Материалы толстопленочных ИС.**

Для изготовления токопроводящих элементов толстопленочных схем используют пасты, в состав которых обычно входят соединения серебра. палладия, измельченное стекло и органическая связка. При нагревании до 700°С происходит последовательное удаление растворителя, выгорание органической связки, расплавление стекла и ряд химических процессов. Расплавленное стекло, заполняя поры подложки, обеспечивает хорошую адгезию. Параметры пленок зависят от вида пасты и определяются предприятием-изготовителем ИС.

Толстопленочные резисторы изготовляют из пасты на основе керметных материалов, в которых проводящей фазой являются металлы (палладий, серебро), а диэлектрической фазой – окислы металлов и стекло. Изменяя концентрацию диэлектрической составляющей пасты, можно регулировать сопротивление пленок в широких пределах (от 1 до 106 Ом/□). ТКС лежит в пределах (0-5)10-4 1/град. Состав и параметры резистивных композиций определяются отраслевыми стандартами или стандартами предприятия.

Для диэлектрических прослоек толстопленочных конденсаторов пасты подбираются таким образом, чтобы образованные слои имели высокие диэлектрическую проницаемость и Епр при малом tgδ. С этой целью в состав паст включают большое количество сегнетоэлектрических материалов (например, титанаты свинца или бария). Из-за большей толщины диэлектрической пленки и меньшей точности изготовления диапазон емкостей более ограничен по сравнению с тонкопленочными конденсаторами, но рабочие напряжения выше. Параметры диэлектрических слоев и толстопленочных конденсаторов, изготовляемых на их основе, определяются стандартами, устанавливающими нормы и требования к конструированию толстопленочных интегральных схем.

**Конструирование пленочных элементов**

Конструирование гибридной интегральной микросхемы включает в себя несколько этапов, из которых одним ив основных является этап разработки топологии. Сущность разработки топологии состоит в том, что с учетом электрических особенностей схемы и технологических возможностей ее изготовления определяют взаимное расположение пленочных элементов, рассчитывают их геометрические размеры, выбирают формы, компонуют и вычерчивают в увеличенном масштабе размещение пленочных элементов на подложке.

Для уменьшения стоимости ИС необходимо стремиться к уменьшению размеров элементов и сокращению количества технологических операций.

Расчет пленочных резисторов выполняют, исходя из следующих параметров:

* номинального значения сопротивления R, Ом;
* заданного допуска на величину сопротивления ɣA, % ;
* мощности рассеяния Р, мВт;
* рабочего диапазона температур ΔТ, °C;
* технологических ограничений.

Сопротивление резистора связано с его размерами и поверхностным сопротивлением пленки ρs соотношением

(2)

где R – сопротивление, Ом;

*l*, b - соответственно длина и ширина резистора.

В случае квадратного резистора *l*=bn сопротивление резистора не зависят от размеров квадрата. Отношение длины элемента к ширине – число квадратов (также называемое коэффициентом формы Кф) – является основным топологическим параметром резистора и равно

. (3)

Порядок расчета, следующий:

1. Выбирают материал резистивный пленки с таким ρs, которое позволяет изготовить все резисторы в одном слое. При этом желательно, чтобы выполнялось условие n ≥ 0,1 для резистора с наименьшим номиналом.

Если сопротивления резисторов отличаются более, чем в 100 раз то с целью уменьшения занимаемой площади целесообразно выбрать разные материалы.

1. Проверяют, обеспечивает ли выбранный материал заданную точность резистора. Погрешность изготовления резистора ɣR состоит из суммы погрешностей:

ɣR=ɣn+ ɣρs+ ɣRt+ ɣRcт

где ɣn – погрешность числа квадратов, %;

ɣρs – погрешность поверхностного сопротивления, определяемая технологией, %;

ɣRt – температурная погрешность, %;

ɣRcт – погрешность, обусловленная старением пленки, %

Погрешность числа квадратов складывается из погрешностей длины и ширины пленки:

Температурная погрешность зависит от материала и равна

где TKR – температурный коэффициент сопротивления, 1/град;

ΔТ – диапазон температур, °C.

Исходя из заданной погрешности резистора и погрешностей материала (табл. 4) и технологии (для серийной технологии можно принять ɣρs=1%), рассчитывают допустимую погрешность числа квадратов:

ɣnдоп=ɣR-ɣρs-|ɣRt|-ɣRст. (4)

Если ɣn отрицательна, то обеспечить заданную точность невозможно и нужно выбрать другой материал или использовать подгонку резистора.

1. Определяют число квадратов резистора и выбирают его форму:

. (5)

При n≤10 – прямоугольный резистор (рис. 2а); при n>10 – составной или «меандр» (рис. 2в,б). Минимальные технологические размеры и допуски указаны на рис. 2г.

1. Если n ≥ 1, определяют следующее:

минимально допустимую ширину резистора, обусловленную его точностью:

; (6)

минимально допустимую ширину резистора, ограниченную мощностью рассеяния:

(7)

где ρ – заданная мощность рассеяния, мВт;

ρ0 – удельная мощность рассеяния пленки, мВт/мм2;

минимально допустимую ширину резистора bмин, обусловленную технологией (рис. 2г).

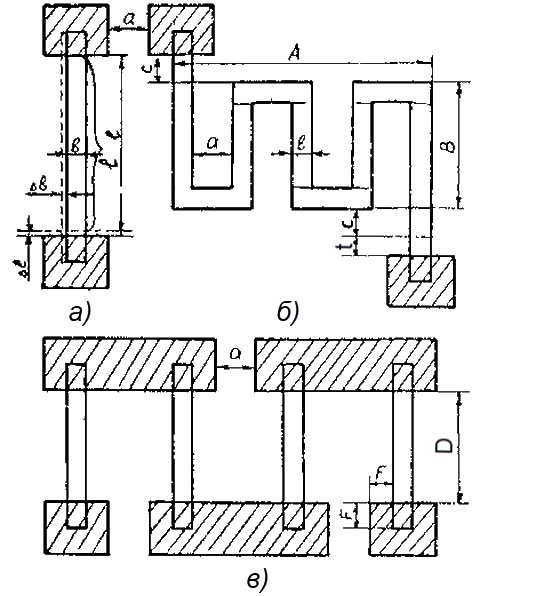
Расчетное значение ширины должно быть не менее наибольшей величины из полученных трех:

bрасч≥макс{bТОЧН, bр, bмин}. (8)

За ширину резистора b принимается ближайшее к bрасч большее целое значение, кратное шагу координатной сетки, принятому для чертежа топологии. При шаге сетки на чертеже 1 мм и масштабе 10:1 округление производят до величины, кратной 100 мкм.

Расчетное значение длины прямоугольного резистора *l*расч определяется по формуле

*l*расч=n\*b. (9)



|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *a* | *b* | *l* | *c* | *F* | *Δb* | *Δl* | *г)* |
| 300 | 100 | 100 | 200 | 200 | 10 | 10 |

Рис. 2. Конструкции пленочных резисторов:

а) прямоугольный; б) «меандр»; в) составной;

г) минимальные технологические размеры, мкм

За длину резистора *l* принимается ближайшее к *l*расч целое значение, кратное шагу координатной сетки. При округлении значения необходимо оценивать получающуюся погрешность и при необходимости выбирать ширину резистора b, при которой округление *l*расч приемлемую величину.

1. Если n < 1,то сначала определяют длину из соотношений

*l*расч ≥ макс{*l*расч, *l*р, *l*мин}.

За длину резистора *l* принимают ближайшее к *l*расч большее целое значение, кратное шагу координатной сетки.

Определяют расчетную ширину резистора bрасч=*l*/n и округляют до шага сетки.

1. При n>10 для резисторов типа "меандр" из соотношений (4)-(9) определяют ширину и длину резистора.

Выбирают величины **a** и **c** (рис. 2г).

Рассчитывают оптимальное количество перегибов резисторов по формуле

(10)

За **m** принимают ближайшее целое четное значение, затем определяют общие размеры резистора из соотношений

(11)

(12)

Приведенный расчет не обеспечивает высокой точности сопротивления резистора, так как не учитывает отличие поверхностного сопротивления в точках перегиба от рассчитанного значения.

Для получения более точного значения номинала необходимо увеличить длину резистора на величину

t=0,44\*m\*b.

Расчет составных резисторов заключается в расчете ширины и длины резистора из (4)‑(9), выборе числа (К) последовательно соединенных участков и длины этих участков

D=*l*/K.

При выборе формы резистора необходимо учитывать, что резистор типа "меандр" занимает меньшую площадь по сравнению с составным, но является менее точным.

При необходимости изготовления резисторов с погрешностью ± 3% и менее используют подгонку. Подгонка, осуществляется:

* путем удаления части резистивного слоя;
* механическим (абразивным) способом;
* лучом лазера или электронным лучом;
* химической обработкой (окисление или протравливание резистивного слоя);
* термическим способом (нагревание резистора импульсами).

Хорошо освоены лазерная и механическая подгонка.

**Конструирование пленочных конденсаторов**

Исходными данными дли расчета конденсатора являются:

* номинальное значение емкости;
* допустимое отклонение емкости;
* рабочее напряжение.

Конструкции конденсаторов показаны на рис. 3.

Величина удельной емкости конденсатора Со выбирается конструктором. Большое внимание должно уделяться выбору материалов диэлектрика и обкладок, так как они в большой степени влияют на характеристики конденсатора. Например, с уменьшением сопротивления обкладок повышается предельная рабочая частота конденсатора.

Порядок расчета конденсатора, следующий:

1. Ориентировочно выбирают материал диэлектрика.
2. Определяют минимальную толщину диэлектрика, исходя из заданного рабочего напряжения:

, см. (13)

где Up - рабочее напряжение, В;

Епр - пробивная напряженность электрического поля, В/см;

Кз = 2-4 – коэффициент запаса электрической прочности;

Толщина диэлектрика должна быть в пределах 0,1-1 мкм. Если это не выполняется, необходимо выбрать другой материал,

1. Определяют удельную емкость конденсатора:

С0 = 0,0885ε/d, пФ/см2. (14)

Здесь d измеряется в см.

1. Рассчитывают площадь верхней обкладки конденсатора:

S=C/C0, см2 (15)

При площади S > 5 мм2 выбирают форму конденсатора (рис. 3а)

Если площадь S > 200 мм2, то целесообразно выбрать другой материал c большим ε и повторить расчет.

1. Определяют размеры верхней обкладки конденсатора:

(16)

Размеры округляют до значения, кратного шагу координатной сетки.

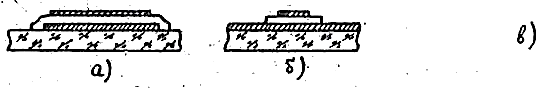
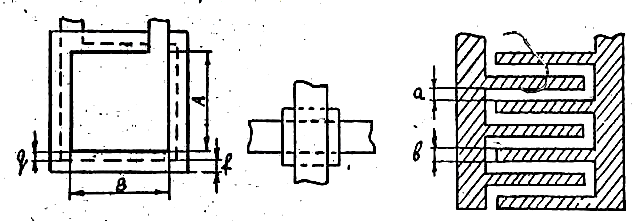
1. Определяют размеры нижней обкладки конденсатора:

Ан=Вн=А+2q, (17)

где q – допуск на совмещение обкладок. Для серийной технологии можно принять q=0,2 мм.

7. При площади обкладок 1≤S≤5 мм2 выбирают форму конденсатора в виде перекрещивающихся полосок (рис. 3б). В этом случае размеры обкладок равны и определяются из (16). Если площадь конденсатора меньше 1 мм2, то применяют последовательное включение конденсаторов (рис. 36).

8. При очень малой рассчитанной площади применяют гребенчатую конструкцию конденсатора (рис. Зв); определяют поправочный коэффициент β, учитывающий неоднородность поля, из графика рис. 4;



|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Минимальные размеры | a | b | q | f |
| МКМ | 200 | 100 | 200 | 100 |

Рис. 3. Конструкции пленочных конденсаторов и минимальные технологические размеры

определяют диэлектрическую проницаемость:

,

где εq, εn – относительные диэлектрические проницаемости покрытия и подложки (без покрытия εq=1) определяют длину совместной границы зубцов гребенки:

(18)

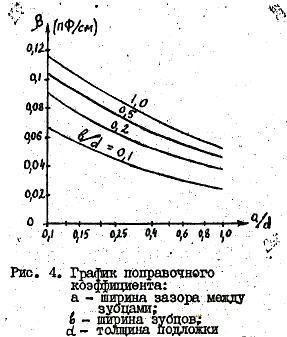


Рис. 4. График поправочного коэффициента:

а – ширина зазора между зубцами; b – ширина зубцов; d – толщина подложки

**Конструирование пленочных индуктивностей**

В гибридных интегральных микросхемах возможно применение только плоских спиральных катушек индуктивности, получаемых напылением проводящих пленок на подложку (рис. 5). Максимальные значения индуктивности ограничены разрешающей способностью технологии и площадью, занимаемой катушкой на подложке, и обычно не превышают 2-5 мкГн. К технологическим ограничениям здесь следует отнести минимально возможные ширину проводящей пленки, ширину зазора между витками спирали и размеры контактной площадки в центре спирали. Величина индуктивности может быть рассчитана по формуле (с точностью 10 %):

, нГн. (19)

где N - число витков;

rН, rb - соответственно наружный и внутренний радиусы спирали, мм;

К - коэффициент, равный 1 для круглой опирали и 1,2 – для квадратной.

Круглая спираль имеет наименьшую длину и, следовательно, сопротивление витков, что дает меньшие потери, особенно на высоких частотах. Квадратная спираль технологичней и занимает наименьшую площадь на подложке.

Колебательные системы, изготовленные на основе пленочных индуктивностей, имеют добротность, обычно не превышающую 30.

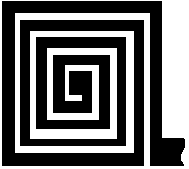


Рис. 5. Конструкция пленочной индуктивности

В связи с ограниченным диапазоном частот, на которых могут использоваться частотно-зависимые цепи на основе пленочных индуктивных элементов, более широкое применение находят цепи с распределенными параметрами, микрополосковые линии, активные RC-фильтры, фильтры на поверхностных волнах и др.

**Литература**

1. Ефимов И.Е., Козырь И.Я. Основы микроэлектроники. - М.: Связь, 1975.

2. Конструирование и технология микросхем: Уч. пособие/Под ред. Л.А. Коледова. - М.: Высшая школа, 1984.

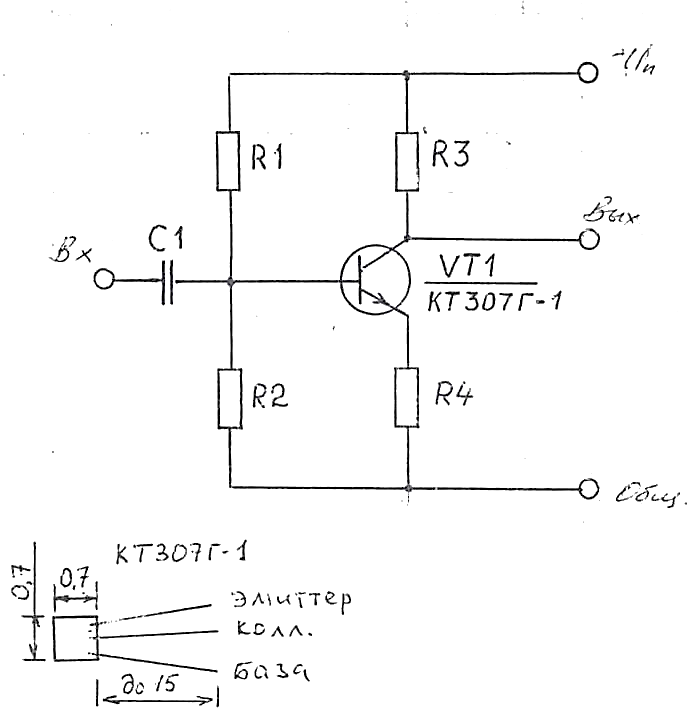
3. Конструирование и расчет БГИС , микросборок и аппаратуры на их основе/Под ред. Б.Ф. Высоцкого. - М.: Радио и связь, 1981.

Выбор вариантов задания

Внимание: численные значения сопротивлений и емкостей должны быть умножены на коэффициент К, равный последней цифре в номере группы, например в группе БИН1952 К=2.

Вариант №1

Численные значения сопротивлений и емкостей должны быть умножены на коэффициент К. Для заочного обучения равный последней цифре в номере группы, например в группе БИН1952 К=2. Для очного обучения получить коэффициент у преподавателя.



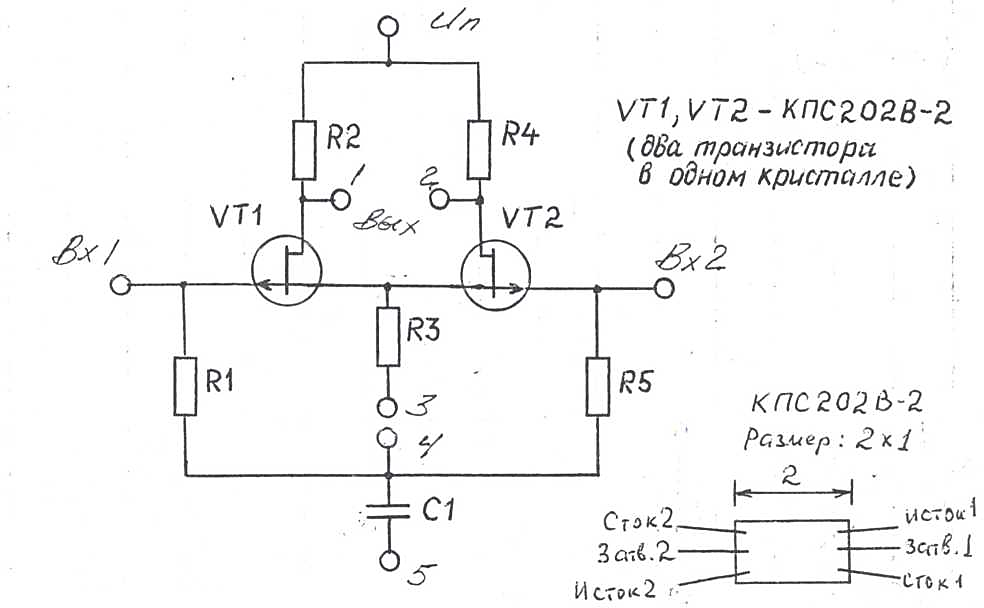
|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | R, кОм; C, пФ | | | ɣR; ɣC,  отн.ед (%) | P, мВт | Uраб, В |
| № студента в бригаде | | |
| 1 | 2 | 3 |
| R1 | 15 | 20 | 25 | 0,12 (12%) | 0,3 |  |
| R2 | 10 | 12 | 15 | 0,15 (15%) | 0,5 |  |
| R3 | 2 | 2,5 | 3 | 0,08 (8%) | 20 |  |
| R4 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,08 (8%) | 1 |  |
| C1 | 1000 | 1200 | 1500 | 0,2 (20%) |  | 15 |

Диапазон температур ΔT=100°C

Шаг координатной сетки = 0,01 мм

Вариант №2

Численные значения сопротивлений и емкостей должны быть умножены на коэффициент К. Для заочного обучения равный последней цифре в номере группы, например в группе БИН1952 К=2. Для очного обучения получить коэффициент у преподавателя.



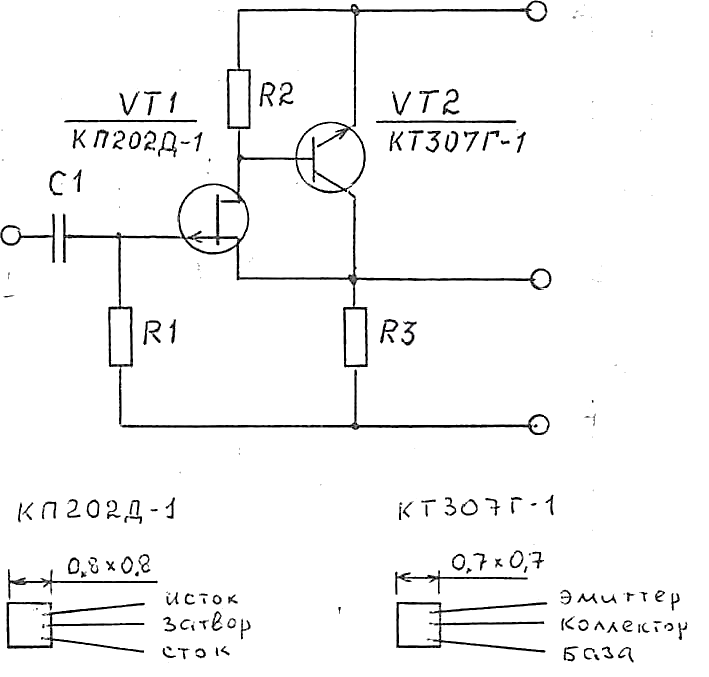
|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | R, кОм; C, пФ | | | ɣR; ɣC,  отн.ед (%) | P, мВт | Uраб, В |
| № студента в бригаде | | |
| 1 | 2 | 3 |
| R1, R5 | 100 | 120 | 150 | 0,2 (20%) | 0,1 |  |
| R2, R4 | 2 | 2,5 | 3 | 0,08 (8%) | 25 |  |
| R3 | 2 | 2,5 | 3 | 0,15 (15%) | 50 |  |
| C1 | 200 | 150 | 100 | 0,25 (25%) |  | 15 |

Диапазон температур ΔT=80°C

Шаг координатной сетки = 0,01 мм

Вариант №3

Численные значения сопротивлений и емкостей должны быть умножены на коэффициент К. Для заочного обучения равный последней цифре в номере группы, например в группе БИН1952 К=2. Для очного обучения получить коэффициент у преподавателя.



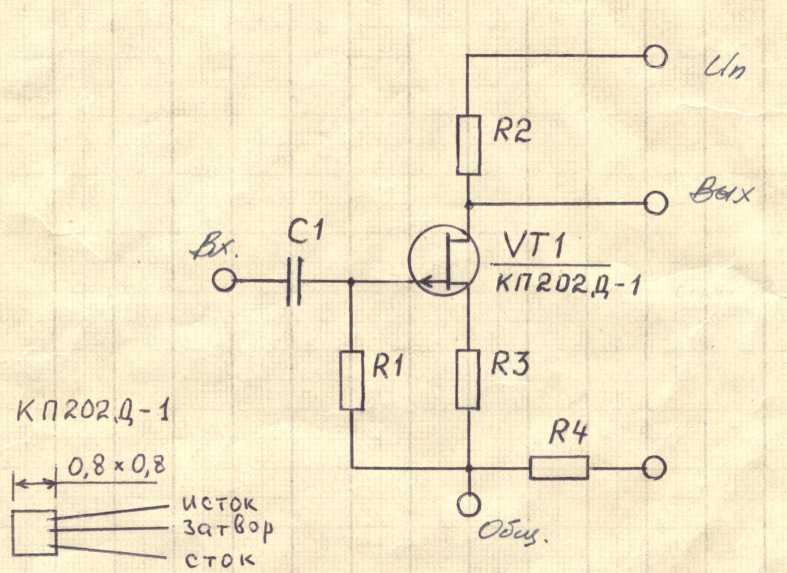
|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | R, кОм; C, пФ | | | ɣR; ɣC,  отн.ед (%) | P, мВт | Uраб, В |
| № студента в бригаде | | |
| 1 | 2 | 3 |
| R1 | 80 | 110 | 120 | 0,2 (20%) | 1,0 |  |
| R2 | 1,1 | 1,5 | 1,8 | 0,1 (10%) | 20 |  |
| R3 | 2,2 | 3,0 | 3,6 | 0,07 (7%) | 60 |  |
| C1 | 1200 | 500 | 800 | 0,11 (11%) |  | 20 |

Диапазон температур ΔT=90°C

Шаг координатной сетки = 0,01 мм

Вариант №4

Численные значения сопротивлений и емкостей должны быть умножены на коэффициент К. Для заочного обучения равный последней цифре в номере группы, например в группе БИН1952 К=2. Для очного обучения получить коэффициент у преподавателя.



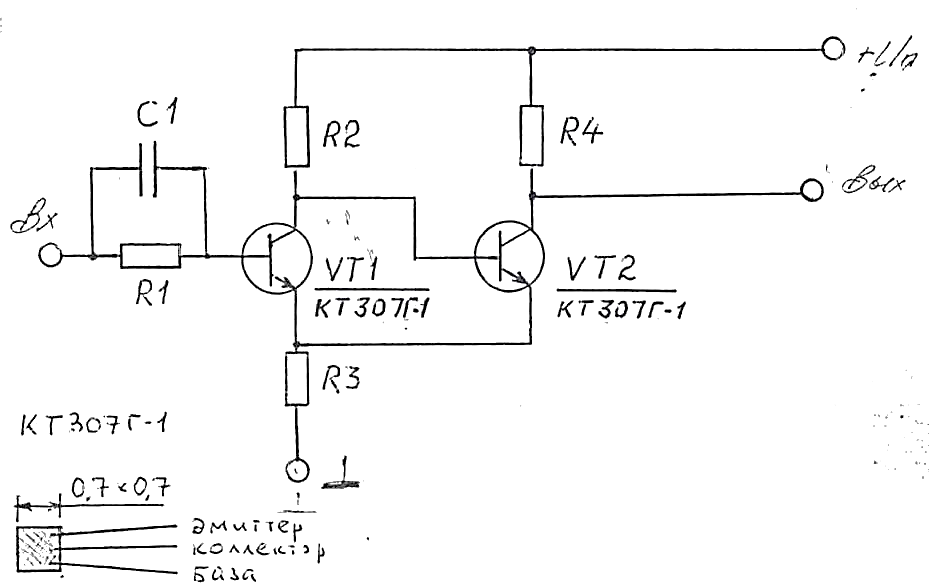
|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | R, кОм; C, пФ | | | ɣR; ɣC,  отн.ед (%) | P, мВт | Uраб, В |
| № студента в бригаде | | |
| 1 | 2 | 3 |
| R1 | 160 | 130 | 100 | 0,25 (25%) | 0,2 |  |
| R2 | 6 | 5 | 4,5 | 0,08 (8%) | 5 |  |
| R3 | 5,5 | 4 | 3,5 | 0,12 (12%) | 4 |  |
| R4 | 10 | 10 | 10 | 0,15 (15%) | 12 |  |
| C1 | 300 | 250 | 200 | 0,15 (15%) |  | 6 |

Диапазон температур ΔT=70°C

Шаг координатной сетки = 0,01 мм

Вариант №5

Численные значения сопротивлений и емкостей должны быть умножены на коэффициент К. Для заочного обучения равный последней цифре в номере группы, например в группе БИН1952 К=2. Для очного обучения получить коэффициент у преподавателя.



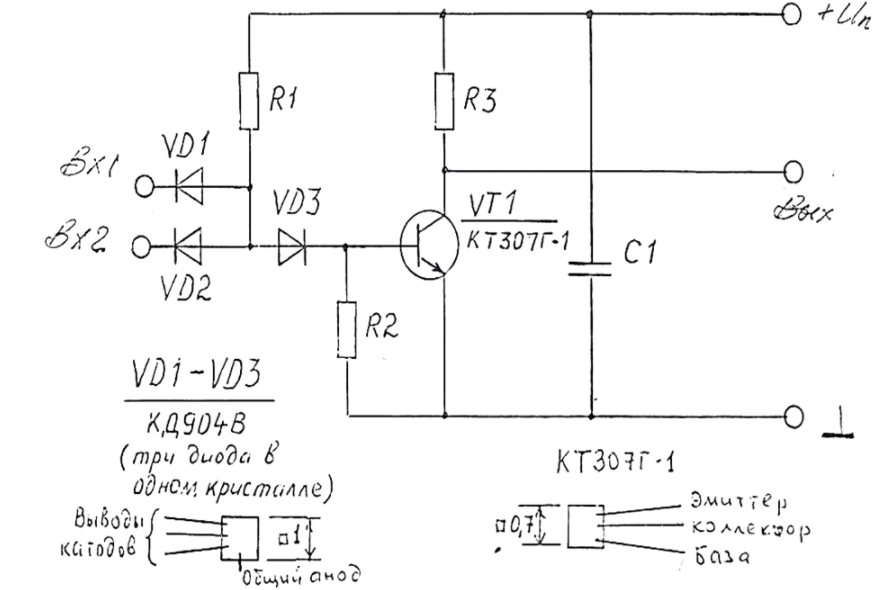
|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | R, кОм; C, пФ | | | ɣR; ɣC,  отн.ед (%) | P, мВт | Uраб, В |
| № студента в бригаде | | |
| 1 | 2 | 3 |
| R1 | 36 | 23 | 30 | 0,18 (18%) | 3,5 |  |
| R2 | 3,2 | 2,6 | 4,2 | 0,13 (13%) | 8 |  |
| R3 | 2,0 | 1,3 | 1,6 | 0,08 (8%) | 15 |  |
| R4 | 0,4 | 0,3 | 0,35 | 0,1 (10%) | 2 |  |
| C1 | 100 | 50 | 80 | 0,3 (30%) |  | 8 |

Диапазон температур ΔT=80°C

Шаг координатной сетки = 0,01 мм

Вариант №6

Численные значения сопротивлений и емкостей должны быть умножены на коэффициент К. Для заочного обучения равный последней цифре в номере группы, например в группе БИН1952 К=2. Для очного обучения получить коэффициент у преподавателя.



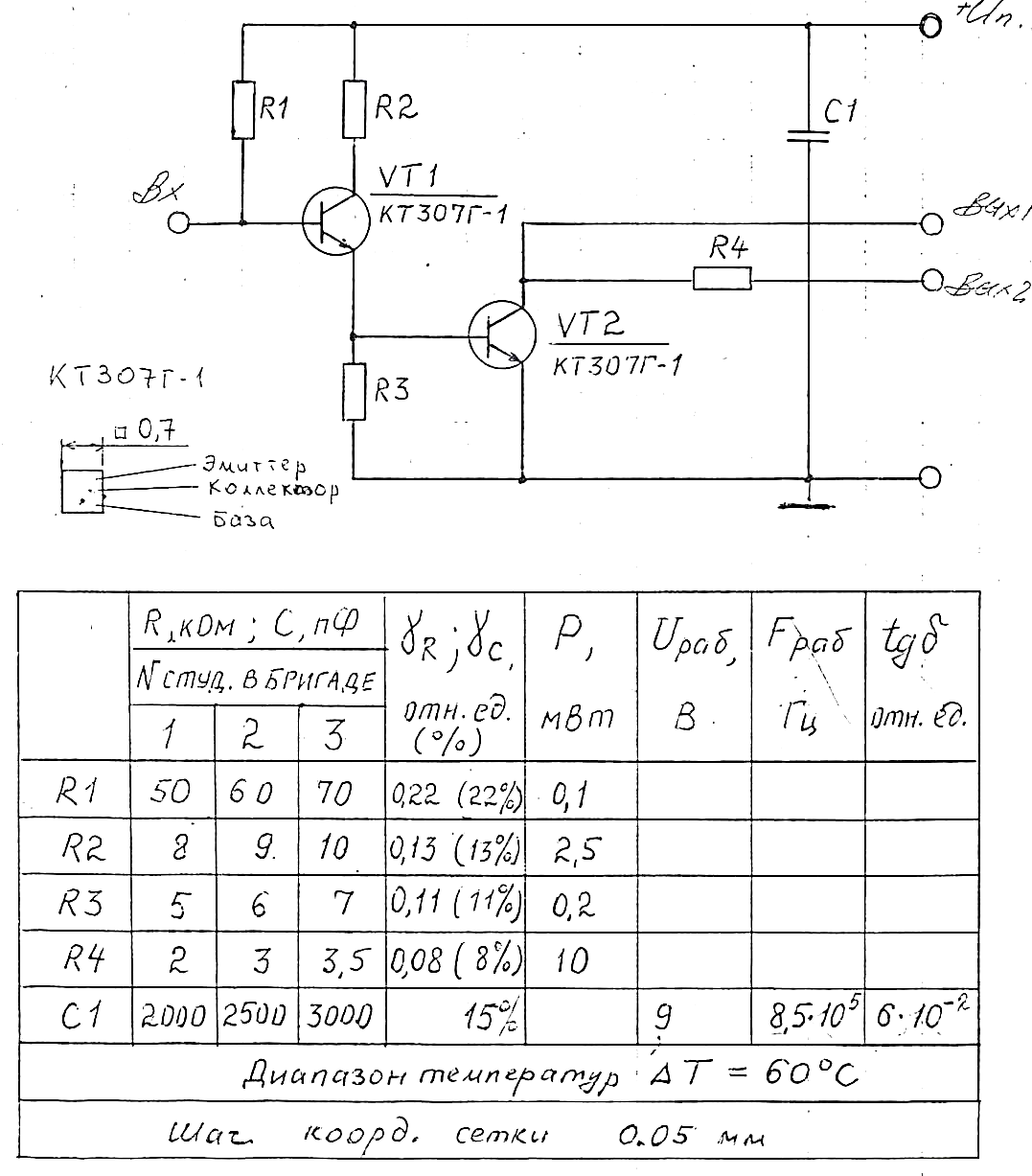
|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | R, кОм; C, пФ | | | ɣR; ɣC,  отн.ед (%) | P, мВт | Uраб, В |
| № студента в бригаде | | |
| 1 | 2 | 3 |
| R1 | 22 | 16 | 10 | 0,25 (25%) | 4 |  |
| R2 | 3,6 | 2,4 | 1,1 | 0,15 (15%) | 1 |  |
| R3 | 3,8 | 2,5 | 1,2 | 0,1 (10%) | 10 |  |
| C1 | 800 | 1000 | 1200 | 0,16 (16%) |  | 10 |

Диапазон температур ΔT=110°C

Шаг координатной сетки = 0,01 мм

Вариант №7

Численные значения сопротивлений и емкостей должны быть умножены на коэффициент К. Для заочного обучения равный последней цифре в номере группы, например в группе БИН1952 К=2. Для очного обучения получить коэффициент у преподавателя.



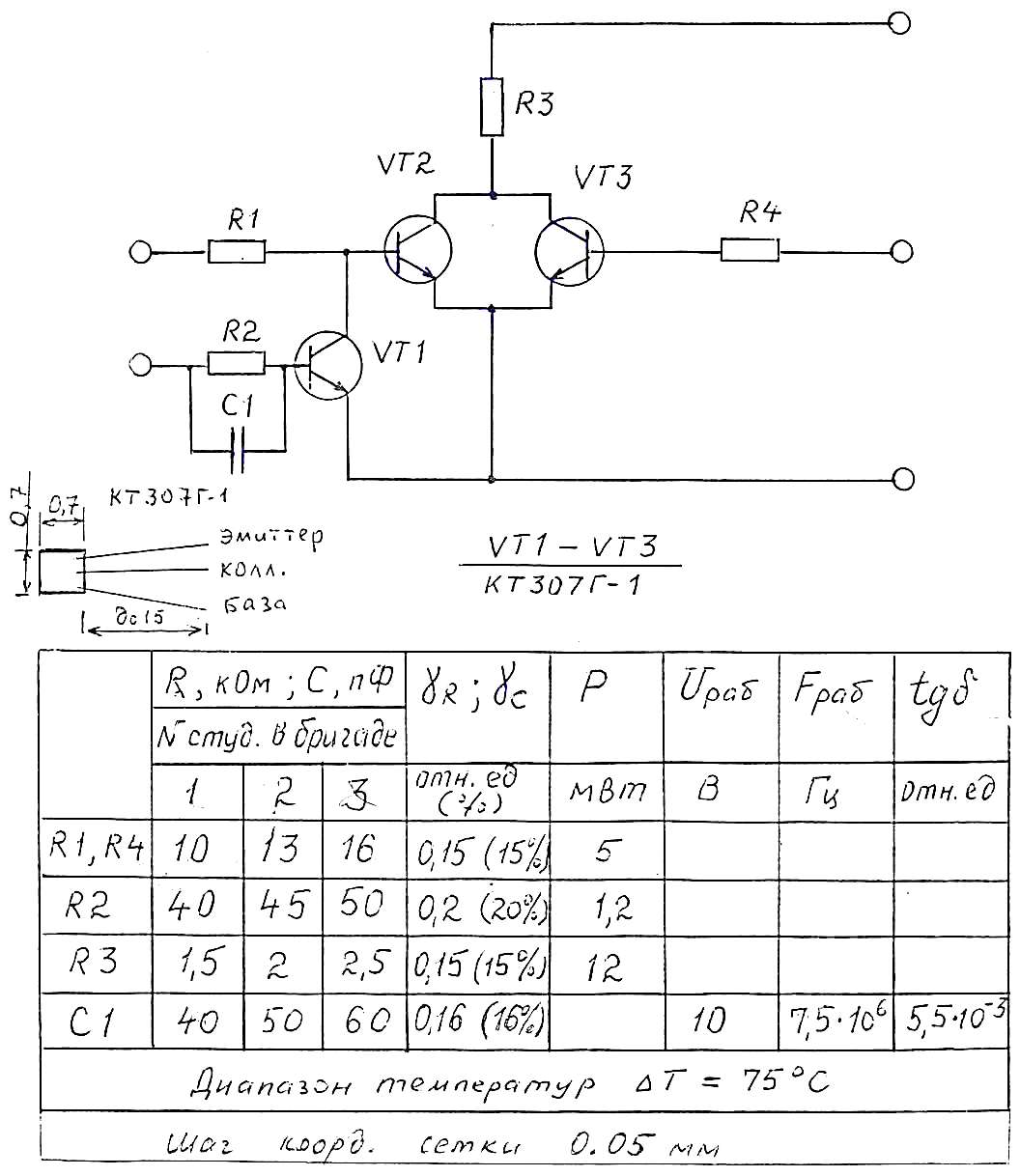
|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | R, кОм; C, пФ | | | ɣR; ɣC,  отн.ед (%) | P, мВт | Uраб, В |
| № студента в бригаде | | |
| 1 | 2 | 3 |
| R1 | 50 | 60 | 70 | 0,22 (22%) | 0,1 |  |
| R2 | 8 | 9 | 10 | 0,13 (13%) | 2,5 |  |
| R3 | 5 | 6 | 7 | 0,11 (11%) | 0,2 |  |
| R4 | 2 | 3 | 3,5 | 0,08 (8%) | 10 |  |
| C1 | 2000 | 2500 | 3000 | 0,15 (15%) |  | 9 |

Диапазон температур ΔT=60°C

Шаг координатной сетки = 0,01 мм

Вариант №8

Численные значения сопротивлений и емкостей должны быть умножены на коэффициент К. Для заочного обучения равный последней цифре в номере группы, например в группе БИН1952 К=2. Для очного обучения получить коэффициент у преподавателя.



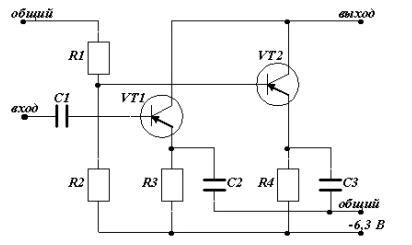
|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | R, кОм; C, пФ | | | ɣR; ɣC,  отн.ед (%) | P, мВт | Uраб, В |
| № студента в бригаде | | |
| 1 | 2 | 3 |
| R1, R4 | 10 | 13 | 16 | 0,15 (15%) | 5 |  |
| R2 | 40 | 45 | 50 | 0,2 (20%) | 1,2 |  |
| R3 | 1,5 | 2 | 2,5 | 0,15 (15%) | 12 |  |
| C1 | 40 | 50 | 60 | 0,16 (16%) |  | 10 |

Диапазон температур ΔT=75°C

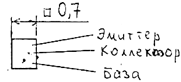
Шаг координатной сетки = 0,01 мм

Вариант №9

Численные значения сопротивлений и емкостей должны быть умножены на коэффициент К. Для заочного обучения равный последней цифре в номере группы, например в группе БИН1952 К=2. Для очного обучения получить коэффициент у преподавателя.



VT1-VT2



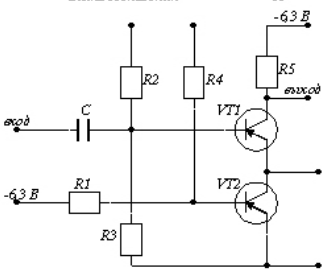
|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | R, кОм; C, пФ | | | ɣR; ɣC,  отн.ед (%) | P, мВт | Uраб, В |
| № студента в бригаде | | |
| 1 | 2 | 3 |
| R1 | 0,71 | 0,69 | 0,5 | 0,15 (15%) | 20 |  |
| R2 | 1,1 | 1,5 | 1,2 | 0,1 (10%) | 10 |  |
| R3 | 2,1 | 1,9 | 1,7 | 0,1 (10%) | 5 |  |
| R4 | 6,3 | 5,9 | 3 | 0,2 (20%) | 1 |  |
| C1 | 1500 | 1200 | 1000 | 0,1 (10%) |  | 10 |
| C2 | 800 | 700 | 550 | 0,1 (10%) |  | 10 |
| C3 | 800 | 700 | 550 | 0,1 (10%) |  | 10 |

Диапазон температур ΔT=125°C

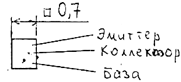
Шаг координатной сетки = 0,01 мм

Вариант №10

Численные значения сопротивлений и емкостей должны быть умножены на коэффициент К. Для заочного обучения равный последней цифре в номере группы, например в группе БИН1952 К=2. Для очного обучения получить коэффициент у преподавателя.



VT1-VT2



|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | R, кОм; C, пФ | | | ɣR; ɣC,  отн.ед (%) | P, мВт | Uраб, В |
| № студента в бригаде | | |
| 1 | 2 | 3 |
| R1 | 0,25 | 0,52 | 0,45 | 0,7 (7%) | 1 |  |
| R2 | 0,65 | 0,8 | 0,75 | 0,1 (10%) | 2 |  |
| R3 | 3,5 | 7,0 | 7,5 | 0,15 (15%) | 3 |  |
| R4 | 6,5 | 4,3 | 6,1 | 0,1 (10%) | 10 |  |
| R5 | 3,1 | 4,3 | 6,1 | 0,2 (20%) | 10 |  |
| C1 | 6600 | 6300 | 6500 | 0,1 (10%) |  | 8 |

Диапазон температур ΔT=100°C

Шаг координатной сетки = 0,01 мм