**Бочаров Е.И., Павлов В.М., Першин Ю.М.**

**ЭЛЕКТРОНИКА**

**Контрольное задание**

**и методические указания к его выполнению**

**для студентов заочной формы обучения**

**Основная профессиональная образовательная программа**

**210700 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»**

**Квалификация бакалавр**

**КОНТРОЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ**

Контрольное задание состоит из двух частей (двух самостоятельных заданий) и имеет 30 вариантов, различающихся исходными данными и условиями решаемых задач. **Номер выполняемого варианта задания определяется суммой всех цифр номера зачетной книжки** (если сумма цифр не превышает 30, номер варианта равен этой сумме, в противном случае для определения номера варианта из указанной суммы следует вычесть 30).

Первое задание посвящено построению статической передаточной характеристики электронных ключей на биполярных и МДП-транзисторах и расчету их основных параметров. Оно содержит две задачи, причем каждому студенту необходимо решить одну из них. Номера задач для каждого варианта указаны в таблицах исходных данных к заданию. В ходе выполнения второго задания все студенты решают одну задачу, посвященную разработке топологии гибридной интегральной схемы на основе бескорпусного операционного усилителя.

Таким образом, в ходе выполнения контрольного задания студенты решают по две задачи. Значения элементов схем и необходимые для расчета масштабные коэффициенты приведены в таблицах исходных данных к заданиям. Условия решаемых задач и методические указания к их решению, а также рекомендуемая литература приведены ниже.

Контрольное задание должно быть аккуратно оформлено в отдельной тонкой тетради. Выполнение каждой задачи следует начинать с новой страницы. *Для каждой задачи следует записать условия и исходные данные.* В тексте необходимо оставлять поля для замечаний рецензента. Проверенное рецензентом контрольное задание представляется к защите, которая проводится в ходе экзамена. Студент допускается к экзамену при наличии выполненных лабораторных работ и допущенного к защите контрольного задания.

**Внимание!** *Контрольные задания, в которых исходные данные и условия задач не соответствуют рассчитанному номеру варианта или номер варианта рассчитан неверно, не рецензируются и возвращаются на переделку.*

**ЗАДАНИЕ 1**

**Задача 1.1**

**Дано:** Схема электронного ключа на биполярном транзисто-

ре приведена на рис. 1,а. Значения элементов схемы и

масштабные коэффициенты *N*  и *M* представлены в

таблице исходных данных. Семейства входных и выход-

ных статических характеристик транзистора приведены

на рис. 2 и 3.

3

**+**

RК

RБ

VT

UВХ

UВЫХ

а)

Ек­­

4

R4

**+**

RС

VT

ЕС

UВЫХ

UВХ

б)

Рис.1. Схемы транзисторных ключей

**Требуется:** 1. Построить статическую передаточную характеристику

ключа.

2. Определить основные параметры ключа: уровни логичес-

ких нуля *U0* и единицы *U1*, логического перепада *UЛ*,

минимальные уровни отпирающей и запирающей помех

*U0П* и *U1П*, коэффициент помехоустойчивости *КП*.

3. Описать принцип работы ключа и указать, в каких базовых

логических элементах он используется.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| №  вар. | Элементы схемы | | | | Масштабные  коэффициенты | | Номера решаемых задач |
| *ЕК* / *ЕС*  В | *RБ*  кОм | *RК*  кОм | *RС*  кОм | *N* | *M* |
| 1 | 5,0 | 3,9 | 1,0 | - | 1 | 50 | 1.1 |
| 2 | 9,0 | - | - | 3,3 | 2 | - | 1.2 |
| 3 | 4,5 | 4,7 | 1,2 | - | 1 | 40 | 1.1 |
| 4 | 10,0 | - | - | 2,7 | 2 | - | 1.2 |
| 5 | 4,0 | 3,9 | 1,0 | - | 1 | 50 | 1.1 |
| 6 | 8,0 | - | - | 2,2 | 2 | - | 1.2 |
| 7 | 5,0 | 3,3 | 1,2 | - | 1 | 40 | 1.1 |
| 8 | 7,0 | - | - | 1,5 | 2 | - | 1.2 |
| 9 | 4,5 | 2,7 | 1,5 | - | 1 | 50 | 1.1 |
| 10 | 9,0 | - | - | 1,8 | 2 | - | 1.2 |
| 11 | 4,0 | 2,2 | 1,0 | - | 1 | 40 | 1.1 |
| 12 | 6,0 | - | - | 0,82 | 2 | - | 1.2 |
| 13 | 5,0 | 4,7 | 0,82 | - | 1 | 50 | 1.1 |
| 14 | 5,0 | - | - | 1,0 | 2 | - | 1.2 |
| 15 | 4,5 | 3,3 | 1,0 | - | 1 | 40 | 1.1 |
| 16 | 10,0 | - | - | 1,2 | 2 | - | 1.2 |
| 17 | 4,0 | 2,7 | 0,82 | - | 1 | 50 | 1.1 |
| 18 | 5,0 | - | - | 0,68 | 2 | - | 1.2 |
| 19 | 5,0 | 4,7 | 1,2 | - | 1 | 40 | 1.1 |
| 20 | 6,0 | - | - | 1,0 | 2 | - | 1.2 |
| 21 | 4,5 | 3,9 | 1,0 | - | 1 | 50 | 1.1 |
| 22 | 7,0 | - | - | 1,2 | 2 | - | 1.2 |
| 23 | 4,0 | 2,7 | 0,82 | - | 1 | 40 | 1.1 |
| 24 | 10,0 | - | - | 1,5 | 2 | - | 1.2 |
| 25 | 5,0 | 3,9 | 0,68 | - | 1 | 50 | 1.1 |
| 26 | 9,0 | - | - | 1,0 | 2 | - | 1.2 |
| 27 | 4,5 | 3,3 | 1,0 | - | 1 | 40 | 1.1 |
| 28 | 8,0 | - | - | 1,0 | 2 | - | 1.2 |
| 29 | 4,0 | 2,7 | 0,68 | - | 1 | 50 | 1.1 |
| 30 | 7,0 | - | - | 0,82 | 2 | - | 1.2 |

**Исходные данные к заданию 1**

*IБ*

*мк*

*UКЭ=0*

10 *М*

*UКЭ=5 В*

8 *М*

6 *М*

4 *М*

2 *М*

0,2 0,4 0,6 0,8 *UБЭ, В*

Рис. 2. Входные характеристики биполярного транзистора

**Методические указания**

1. Изучить различные типы электронных ключей [1**,** п. 8.1, 8.2 и 2, п.11.1, 11.2], их передаточную характеристику [1**,** рис. 8.6 и 2, рис. 11.7] и основные параметры, а также использование ключей в схемах базовых логических элементов [1**,** п.8.3 - 8.5, 8.8 и 2, п. 11.3, 11.4, 11.7].

2. Нарисовать схему ключа и пояснить назначение ее элементов.

3. Перенести на миллиметровку семейства входных и выходных характеристик транзистора, указав масштаб по осям с учетом заданных масштабных коэффициентов.

4. На графике выходных характеристик построить нагрузочную линию. Для построения передаточной характеристики ключа определить значения выходного напряжения *UВЫХ = UКЭ*, соответствующие точкам пересечения нагрузочной линии с выходными характеристиками, полученными при различных значениях тока базы. Отмечая эти значения тока базы на оси тока семейства входных характеристик, определить соответствующие указанным точкам пересечения значения напряжения *UБЭ*. При этом для точек, соответствующих активному режиму работы транзистора,

*IК*

*мА*

*IБ=1 М мкА*

*2 М*

*3 М*

*4 М*

*5 М*

*6 М*

*7 М*

*8 М*

*9 М*

*IБ=0*

1 2 3 4 *UКЭ, В*

Рис. 3. Выходные характеристики биполярного транзистора

5 *N*

4 *N*

3 *N*

2 *N*

1 *N*

использовать входную характеристику, полученную для активного режима (*UКЭ* = 5 В)*,* а для точек, соответствующих режиму насыщения, – характеристику, полученную для режима насыщения (*UКЭ* = 0). Учитывая падение напряжения на резисторе *RБ*, определить значения входного напряжения *UВХ*. При этом значения токов базы и соответствующие им значения входного и выходного напряжений следует записывать в таблицу.

5. Используя данные таблицы построить на миллиметровке передаточную характеристику транзисторного ключа. На этом же графике построить передаточную характеристику в зеркальном отображении, откладывая значения *UВЫХ* по оси *UВХ*, а значения *UВХ* по оси *UВЫХ*  [см. 1, рис. 8.6, 8.7]). Отметить точки пересечения передаточной характеристики и ее зеркального отображения и определить и указать на графике значения входного и выходного напряжений, соответствующие логическим нулю и единице *U0ВХ*, *U1ВХ*, *U0ВЫХ*, *U1ВЫХ*, и величину логического перепада *UЛ*. Определить и указать на графике пороговые значения входного напряжения *U0ПОР* и *U1ПОР*, соответствующие точкам, в которых │*dUВЫХ* /*dUВХ*│=1, т.е. угол наклона касательной к характеристике составляет 45 градусов,и минимальные величины отпирающей и запирающей помех *U0П* и *U1П*. Рассчитать коэффициент помехоустойчивости ключа *КП*.

6. При описании принципа работы ключа следует указать режимы работы транзистора, соответствующие устойчивым состояниям ключа, и рассмотреть физические процессы, протекающие при переключении ключа из одного состояния в другое. Отметить, какую логическую функцию выполняет транзисторный ключ. Указать, в каких базовых логических элементах используется рассмотренный в задаче тип ключа.

**Задача 1.2**

**Дано:** Схема электронного ключа на МДП-транзисторе приве-

дена на рис. 1,б. Значения элементов схемы и масштабный

коэффициент  *N* представлены в таблице исходных данных.

Семейство выходных характеристик транзистора приведено

на рис. 4.

**Требуется:** 1. Построить статическую передаточную характеристику ключа.

2. Определить основные параметры ключа: уровни логических

нуля *U0* и единицы *U1*, логического перепада *UЛ*, минималь-

ные уровни отпирающей и запирающей помех *U0П* и *U1П*,

коэффициент помехоустойчивости *КП*.

3. Описать принцип работы ключа.

2 4 6 8

Рис. 4. Выходные характеристики n-канального МДП-транзистора

Рис. 5. Выходные характеристики n-канального

МДП-транзистора

*UСИ, В*

*IС* мА

*UЗИ=9 В*

*UЗИ=6 В*

*UЗИ=7 В*

*UЗИ=4 В*

*UЗИ=5 В*

*UЗИ=10 В*

*UЗИ=8 В*

*UЗИ=UПОР=3 В*

5 *N*

4 *N*

3 *N*

2 *N*

1 *N*

**Методические указания**

1. Изучить различные типы электронных ключей [1**,** п. 8.1, 8.2 и 2, п.11.1, 11.2], их передаточную характеристику [1**,** рис. 8.6 и 2, рис. 11.7] и основные параметры, а также использование ключей в схемах базовых логических элементов [1**,** п.8.3 - 8.5, 8.8 и 2, п. 11.3, 11.4, 11.7].

2. Нарисовать схему ключа и пояснить назначение ее элементов.

3. Перенести на миллиметровку семейство выходных характеристик транзистора, указав масштаб по оси тока с учетом масштабного коэффициента *N*.

4. На графике выходных характеристик построить нагрузочную линию. Для построения передаточной характеристики ключа определить значения выходного напряжения *UВЫХ = UСИ*, соответствующие точкам пересечения нагрузочной линии с выходными характеристиками, полученными при различных значениях входного напряжения *UВХ = UЗИ*. При этом значения входного и выходного напряжений следует записывать в таблицу.

5. Используя данные таблицы построить на миллиметровке передаточную характеристику транзисторного ключа. На этом же графике построить передаточную характеристику в зеркальном отображении, откладывая значения *UВЫХ* по оси *UВХ*, а значения *UВХ* по оси *UВЫХ* [см. 1, рис. 8.6, 8.7]. Отметить точки пересечения передаточной характеристики и ее зеркального отображения и определить и указать на графике значения входного и выходного напряжений, соответствующие логическим нулю и единице *U0ВХ*, *U1ВХ*, *U0ВЫХ*, *U1ВЫХ*, и величину логического перепада *UЛ*. Определить и указать на графике пороговые значения входного напряжения *U0ПОР*  и *U1ПОР*, соответствующие точкам, в которых │*dUВЫХ* / *dUВХ*│=1, т.е. угол наклона касательной к характеристике составляет 45 градусов,и минимальные величины отпирающей и запирающей помех *U0П* и *U1П*. Рассчитать коэффициент помехоустойчивости ключа *КП*.

6. При описании принципа работы ключа следует указать режимы работы транзистора, соответствующие устойчивым состояниям ключа, и рассмотреть физические процессы, протекающие при переключении ключа из одного состояния в другое. Отметить, какую логическую функцию выполняет транзисторный ключ.

**ЗАДАНИЕ 2**

**Дано:** На рис. 5 представлены схемы различных аналого-

вых устройств на основе операционного усилителя. Но-

мер схемы и значения ее элементов, а также способ на-

пыления тонких пленок приведены для каждого варианта

в таблице исходных данных. Обозначение выводов и раз-

меры бескорпусного операционного усилителя приведе-

ны на рис. 6.

**Требуется:** Разработать топологию тонкопленочной гибридной

интегральной схемы, реализующей данное устройство

на основе бескорпусного операционного усилителя, и на-

рисовать чертеж топологии в масштабе 10:1.

**Исходные данные к заданию 2**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № вар. | № схемы | Элементы схемы | | | | | | Способ напыления |
| *R1* кОм | *R2* кОм | *R3* кОм | *R4* кОм | *C1* пФ | *C2* пФ |
| 1 | 1 | 5 | 10 | 10 | 100 | 100 | - | Термическое |
| 2 | 2 | 10 | 20 | 30 | 200 | 100 | - | Катодное |
| 3 | 3 | 10 | 10 | 10 | - | 30 000 | - | Термическое |
| 4 | 4 | 10 | 20 | 20 | 100 | 20 000 | - | Катодное |
| 5 | 5 | 20 | 20 | 20 | 40 | 5 000 | 2 500 | Термическое |
| 6 | 6 | 20 | 40 | 20 | 40 | 5 000 | 5 000 | Катодное |
| 7 | 7 | 10 | 10 | 10 | - | 500 | 20 000 | Термическое |
| 8 | 8 | 10 | 100 | 20 | - | 10 000 | - | Катодное |
| 9 | 9 | 10 | 1 | 100 | - | 10 000 | 10 000 | Термическое |
| 10 | 10 | 5 | 10 | 50 | - | 30 000 | - | Катодное |
| 11 | 11 | 20 | 4 | 100 | 100 | 10 000 | 10 000 | Термическое |
| 12 | 12 | 10 | 10 | 1 | 1 | 100 | - | Катодное |
| 13 | 13 | 10 | 10 | 100 | 100 | 100 | - | Термическое |
| 14 | 14 | 10 | 100 | - | - | 50 000 | 50 000 | Катодное |
| 15 | 15 | 10 | 100 | 100 | - | 100 | - | Термическое |
| 16 | 1 | 5 | 10 | 10 | 100 | 100 | - | Катодное |
| 17 | 2 | 10 | 20 | 30 | 200 | 100 | - | Термическое |
| 18 | 3 | 10 | 10 | 10 | - | 30 000 | - | Катодное |
| 19 | 4 | 10 | 20 | 20 | 100 | 20 000 | - | Термическое |
| 20 | 5 | 20 | 20 | 20 | 40 | 5 000 | 2 500 | Катодное |
| 21 | 6 | 20 | 40 | 20 | 40 | 5 000 | 5 000 | Термическое |
| 22 | 7 | 10 | 10 | 10 | - | 500 | 20 000 | Катодное |
| 23 | 8 | 10 | 100 | 20 | - | 10 000 | - | Термическое |
| 24 | 9 | 10 | 1 | 100 | - | 10 000 | 10 000 | Катодное |
| 25 | 10 | 5 | 10 | 50 | - | 30 000 | - | Термическое |
| 26 | 11 | 20 | 4 | 100 | 100 | 10 000 | 10 000 | Катодное |
| 27 | 12 | 10 | 10 | 1 | 1 | 100 | - | Термическое |
| 28 | 13 | 10 | 10 | 100 | 100 | 100 | - | Катодное |
| 29 | 14 | 10 | 100 | - | - | 50 000 | 50 000 | Термическое |
| 30 | 15 | 10 | 100 | 100 | - | 100 | - | Катодное |

Вх1

R1

С2

R4

R4

+ Е

+ Е

Вх2

R2

Вых

R2

Вых

Вх3

- Е

R3

**+**

+ Е

- Е

**+**

С1

R1

R3

С1

Вх2

Вх1

2. Инвертирующий сумматор

1. Неинвертирующий сумматор

сумматор

R3

+ Е

С1 СВых

1

Вх1

R1

Вх

R1

+ Е

Вх2

R2

R2

Вых

Вых

- Е

**+**

Вх3

R3

R3

**+**

Вх

- Е

R4

С1

4. Неинвертирующий интегратор

3. Суммирующий интегратор

С1

R3

R4

R4

+ Е

R3

+ Е

Вых

R1

R2

Вых

С2

С1

- Е

**+**

- Е

**+**

R1

С2

R2

Вх

Вх

5. Неинвертирующий ФНЧ 6. Неинвертирующий ФВЧ

R3

R2

+ Е

С1

С2

+ Е

Вых

Вых

Вх

R2

R1

- Е

**+**

С1

R3

R1

- Е

**+**

8. Генератор прямоугольных импульсов

7. Инвертирующий ФНЧ

R3

С2

+ Е

R1

R3

С1

Вых

Вх

+ Е

С1

- Е

**+**

Вых

Вх

R1

R2

- Е

R2

**+**

10. Фазовращатель

9. Инвертирующий

полосовой фильтр

Вх1

R4

С2

R3

R4

+ Е

R1

+ Е

Вых

С1

R1

R2

**+**

Вых

Вх

R2

- Е

- Е

**+**

С1

Ек­­

4

R4

R3

Вх2

12. Компаратор напряжения

11. Режекторный фильтр

Вх1

С2

R1

R4

R2

+ Е

Вых

С1

+ Е

Вх2

Вх

R1

R2

**+**

Вых

- Е

- Е

**+**

С1

R3

14. Избирательный RC-усилитель

13. Дифференциальный

усилитель

С1

R2

+ Е

+ Е

R1

Вых

R1

Вх

Вых

- Е

Вх

**+**

- Е

**+**

С1

R3

15. Конвертор отрицательного сопротивления

16. Инвертирующий интегратор

Рис. 5. Схемы аналоговых устройств

+ Е

1,5 мм

1,5 мм

1

2

5

6

7

8

3

**+**

Ек­­

4

R4

1

Вх1

8

Вых

Вх2

7

2

**+**

6

3

Коррекция

5



- Е

Рис. 6. Обозначения выводов и размеры бескорпусного операционного усилителя

**Методические указания**

1. Изучить особенности конструкции тонкопленочных гибридных интегральных схем и основные способы напыления тонких пленок, используемые при их создании [1**,** п. 6.1, 6.5]; [2**,** п. 9.6 и п. 8.2.7];

2. Нарисовать схему заданного аналогового устройства, привести обозначения выводов и размеры бескорпусного операционного усилителя.

3. Разработка топологии гибридной интегральной схемы, т.е. схемы (плана) расположения всех элементов, соединительных проводников и контактных площадок на подложке включает два основных этапа.

На первом этапе для заданного способа напыления тонких пленок выбираются материалы для создания резистивных пленок и диэлектрической изоляции обкладок конденсаторов и производится расчет основных топологических параметров резисторов и конденсаторов. Определяются форма и размеры резисторов и конденсаторов, а также выбираются размеры подложки.

На втором этапе на подложке выбираются места для расположения пленочных элементов и операционного усилителя, места для контактных площадок под внешние выводы и под выводы операционного усилителя, выбирается конфигурация соединительных пленочных проводников, указываются соединения выводов операци-онного усилителя с контактными площадками.

4. При выборе материалов резистивной и диэлектрической пленок следует исходить из того, что для обеспечения максимальной степени интеграции резисторы и конденсаторы должны занимать на подложке минимальную площадь. Поэтому, чем выше сопротивления используемых в заданной схеме резисторов, тем большее удельное поверхностное сопротивление *ρS* должен иметь выбранный материал. Выбрав материал резистивной пленки и определив с помощью таблицы 1 его удельное сопротивление \*), необходимо в соответствии с выражением [1**,** (6.2)] определить коэффициенты формы резисторов *КФ*. При выборе материала следует также иметь в виду, что резисторы с *КФ* < 0,1 и *КФ* > 50 не используются.

Аналогичным образом следует выбрать материал диэлектрической пленки для изоляции обкладок конденсаторов и с помощью таблицы 2 определить его удельную емкость *С0 = 0,0885 ε / d* \*). По формуле [1**,** (6.3)] необходимо определить площади перекрытия обкладок конденсаторов *S*.

5. Выбор формы резисторов зависит от коэффициента формы: при *КФ* ≤10 резисторы имеют прямоугольную форму, при больших *КФ* резисторы выполняются в форме меандра [1, рис. 6.1,б]. При определении размеров резисторов следует исходить из минимально допустимой ширины резистивной пленки, равной *bМИН* =100 мкм и определить длину резистора. В тех случаях, когда полученная длина резистора оказывается меньше минимально допустимой длины, равной *lМИН* = 500 мкм, следует задаваться минимальной длиной и определять ширину резистора.

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

\*) В тех случаях, когда заданные в таблицах значения *ρS* и *С0* имеют определенный диапазон изменения, можно выбирать любое значение из этого диапазона, полагая, что данное значение обеспечивается необходимым выбором длительности процесса напыления и, соответственно, толщиной напыляемой пленки.

Ек­­

4

R4

Пленочные конденсаторы могут иметь как прямоугольную (квадратную) форму, так и более сложную форму, например Г- или П-образную. Выбор формы диктуется удобством расположения элементов на подложке. При выборе размеров конденсатора следует учитывать, что нижняя обкладка конденсатора должна выступать за край верхней не менее чем на 200 мкм, а диэлектрическая пленка должна выступать за край нижней обкладки не менее чем на 100 мкм.

После того, как определены размеры всех пленочных элементов, необходимо вычислить суммарную площадь элементов схемы (включая площади операционного усилителя и контактных площадок) *SΣ* и определить примерную площадь подложки *SП*, полагая *SП* = (2…3)*SΣ*. С помощью таблицы 3 следует выбрать стандартную подложку, размеры которой соответствуют полученной площади *SП*.

**Материалы пленочных резисторов Таблица 1**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Материал | Удельное сопротивление  *ρS ,* Ом / квадрат | Способ напыления |
| Нихром  Сплав РС3001  Кермет | 300  1 000…2 000  3 000…10 000 | Термическое |
| Тантал  Нитрид тантала  Сплав РС3710 | 20…100  200  300…3 000 | Катодное |

**Диэлектрики пленочных конденсаторов Таблица 2**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Материал | Удельная емкость  С0, пФ / см2 | Способ напыления |
| Моноокись кремния  Моноокись германия | 5 000…10 000  5 000…15 000 | Термическое |
| Двуокись кремния  Окись тантала | 20 000  50 000…100 000 | Катодное |

**Размеры подложек гибридных интегральных схем Таблица 3**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Длина,  мм | 10 | 12 | 16 | 20 | 24 | 30 | 48 | 60 |
| Ширина,  мм | 8 | 10 | 10 | 16 | 20 | 24 | 30 | 48 |

6. При выборе расположения элементов на подложке и реализации соединений между элементами следует иметь в виду, что контактные площадки под внешние выводы схемы должны располагаться вдоль длинных сторон подложки не ближе 1 мм от ее края. Также не ближе 1 мм от края подложки должны располагаться все элементы схемы и пленочные соединительные проводники. Толщина пленочных проводников должна быть не менее 50 мкм, пересечение между ними не допускаются. Расстояние между пленочными элементами (включая проводники) должно быть не менее 200 мкм. Контактные площадки должны иметь размер не менее 400х400 мкм.

Навесные элементы (операционный усилитель) располагаются в специальных местах не ближе 500 мкм от пленочных элементов и 600 мкм от контактных площадок. Проволочные выводы навесных элементов присоединяются к специальным контактным площадкам, длина выводов должна быть не менее 600 мкм и не более 5 мм. При этом допускается прохождение проволочных выводов над пленочными элементами и соединительными проводниками, а изгибы и пересечения проволочных выводов между собой не допускаются. К одной контактной площадке может быть присоединен только один вывод навесного элемента. Все электрические соединения пленочных и навесных элементов должны соответствовать заданной схеме аналогового устройства.

7. Изобразить на миллиметровке топологию разработанной гибридной интегральной схемы в масштабе 10:1 и обозначить элементы схемы, контактные площадки под внешние выводы и выводы операционного усилителя.

8. Для примера на рис. 7 представлена топология гибридной интегральной схемы, реализующей на основе бескорпусного операционного усилителя инвертирующий интегратор (схема 16 на рис. 5).

### ЛИТЕРАТУРА

## Основная

1. Петров К.С. Радиоматериалы, радиокомпоненты и электроника: Учебное пособие. СПб: Питер, 2006.

2. Электронные, квантовые приборы и микроэлектроника: Учебное пособие для вузов / Под ред. Н.Д. Федорова. М.: Радио и связь, 2002.

**Дополнительная**

3. Степаненко И.П. Основы микроэлектроники. М.: Советское радио, 1980.

ОУ

Вых

4

7

+ Е

─ Е

3

8

Ек­­

4

R4

2

1

Вх

С1

12 мм

10 мм

Рис. 7. Топология гибридной интегральной схемы,

реализующей инвертирующий интегратор