

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 11.03.02 (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.

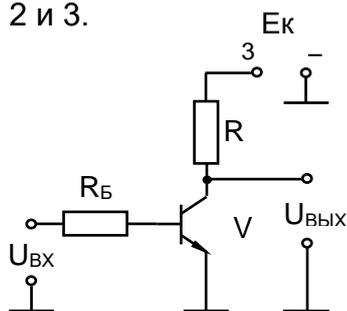
Контрольное задание должно быть аккуратно оформлено в отдельном Вордовском файле. Выполнение каждой задачи следует начинать с новой страницы. Для каждой задачи следует записать условия и исходные данные. В тексте необходимо оставлять поля для замечаний рецензента. За правильное и своевременное выполнение задания начисляется 30 баллов (по 15 баллов за каждую задачу).

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.

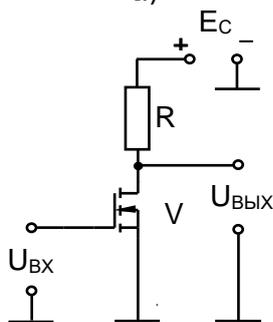
ЗАДАНИЕ 1

Задача 1.1

Дано: Схема электронного ключа на биполярном транзисторе приведена на рис. 1,а. Значения элементов схемы и масштабные коэффициенты N и M представлены в таблице исходных данных. Семейства входных и выходных статических характеристик транзистора приведены на рис. 2 и 3.



а)



б)

Рис.1. Схемы транзисторных ключей

- Требуется:**
1. Построить статическую передаточную характеристику ключа.
 2. Определить основные параметры ключа: уровни логических нуля U^0 и единицы U^1 , логического перепада $U_{л}$, минимальные уровни отпирающей и запирающей помех $U_{п}^0$ и $U_{п}^1$, коэффициент помехоустойчивости $K_{п}$.
 3. Описать принцип работы ключа и указать, в каких базовых логических элементах он используется.

Исходные данные к заданию 1

№ вар.	Элементы схемы				Масштабные коэффициенты		Номера решаемых задач
	E_K / E_C В	R_B кОм	R_K кОм	R_C 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

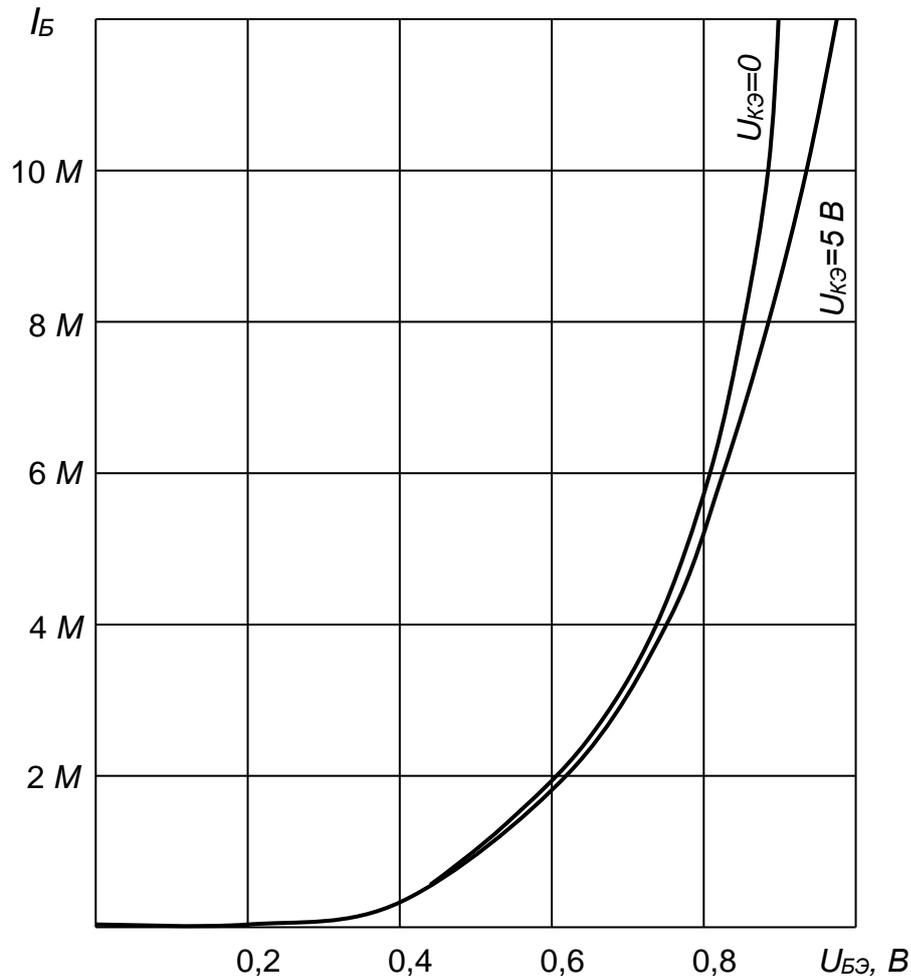


Рис. 2. Входные характеристики биполярного транзистора

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 $U_{Вых} = U_{кэ}$, 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 $U_{БЭ}$. При этом для точек, соответствующих активному режиму работы транзистора,

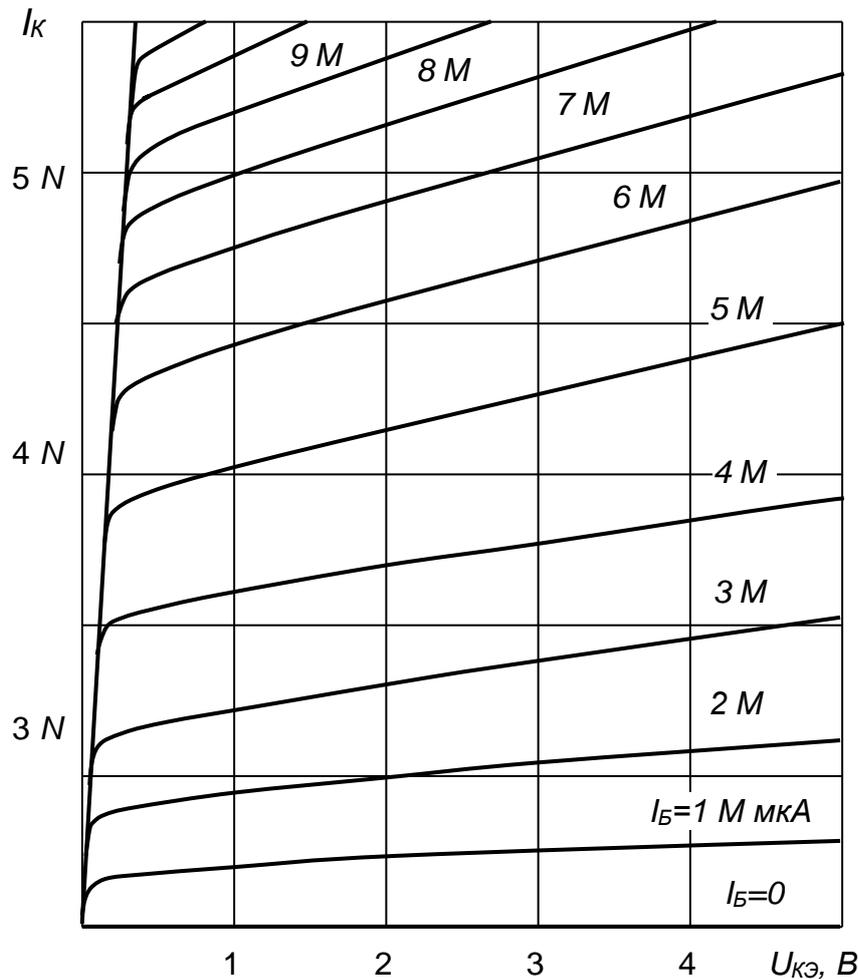


Рис. 3. Выходные характеристики биполярного транзистора

использовать входную характеристику, полученную для активного режима ($U_{КЭ} = 5 \text{ В}$), а для точек, соответствующих режиму насыщения, – характеристику, полученную для режима насыщения ($U_{КЭ} = 0$). Учитывая падение напряжения на резисторе R_B , определить значения входного напряжения $U_{ВХ}$. 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 $U_{ВЫХ}$ по оси $U_{ВХ}$, а значения $U_{ВХ}$ по оси $U_{ВЫХ}$ [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 $U_{ВХ}^0$, $U_{ВХ}^1$, $U_{ВЫХ}^0$, $U_{ВЫХ}^1$, и величину логического перепада U_L . Определить и указать на графике пороговые значения входного напряжения $U_{ПОР}^0$ и $U_{ПОР}^1$, соответствующие точкам, в которых $|dU_{ВЫХ} / dU_{ВХ}| = 1$, т.е. угол наклона касательной к характеристике составляет 45 градусов, и минимальные величины

отпирающей и запирающей помех $U^0_{п}$ и $U^1_{п}$. Рассчитать коэффициент помехоустойчивости ключа $K_{п}$.

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 приведена 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 U^0 и единицы U^1 , логического перепада $U_{л}$, минимальные уровни отпирающей и запирающей помех $U^0_{п}$ и $U^1_{п}$, коэффициент помехоустойчивости $K_{п}$.
3. Описать принцип работы ключа.

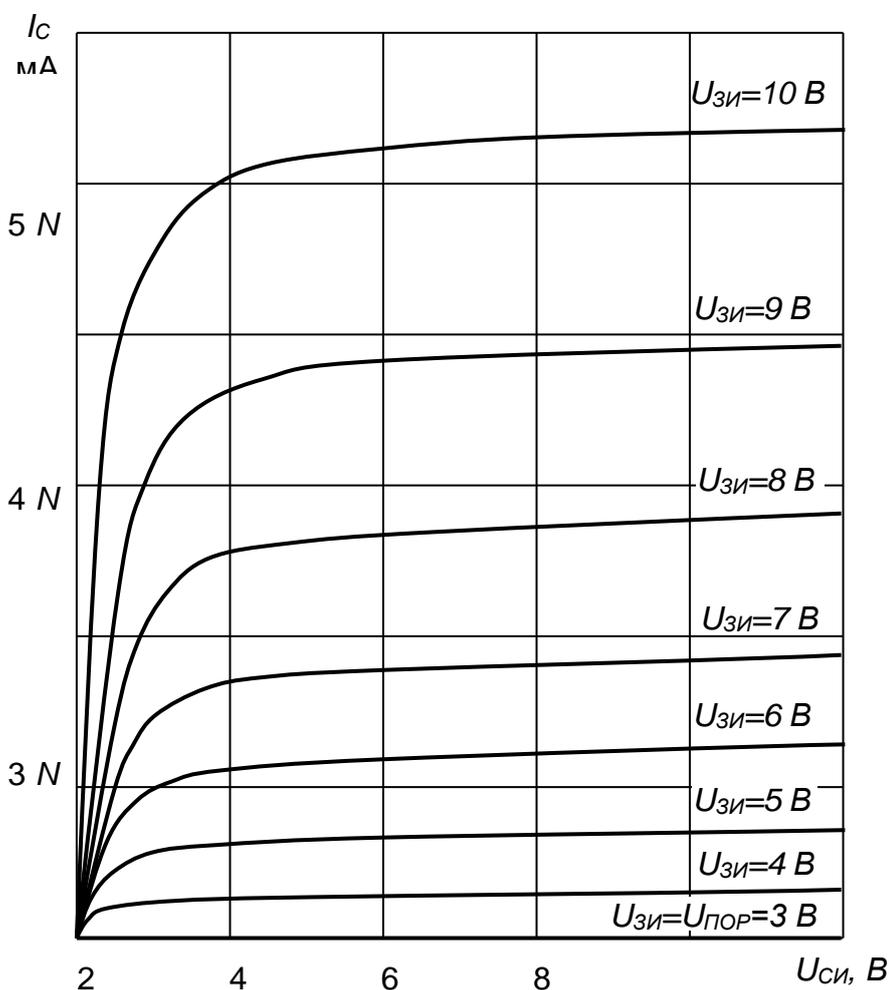


Рис. 4. Выходные характеристики n-канального МДП-транзистора

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 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 $U_{ВЫХ} = U_{СИ}$, соответствующие точкам пересечения нагрузочной линии с выходными характеристиками, полученными при различных значениях входного напряжения $U_{ВХ} = U_{ЗИ}$. 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 $U_{ВЫХ}$ по оси $U_{ВХ}$, а значения $U_{ВХ}$ по оси $U_{ВЫХ}$ [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 $U^0_{ВХ}$, $U^1_{ВХ}$, $U^0_{ВЫХ}$, $U^1_{ВЫХ}$, и величину логического перепада $U_{Л}$. Определить и указать на графике пороговые значения входного напряжения $U^0_{ПОР}$ и $U^1_{ПОР}$, соответствующие точкам, в которых $|dU_{ВЫХ} / dU_{ВХ}| = 1$, т.е. угол наклона касательной к характеристике составляет 45 градусов, и минимальные величины отпирающей и запирающей помех $U^0_{П}$ и $U^1_{П}$. Рассчитать коэффициент помехоустойчивости ключа $K_{П}$.

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:

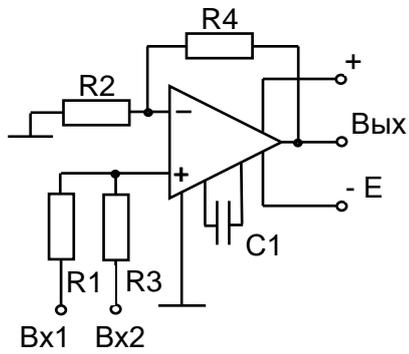
На рис. 5 представлены схемы различных аналоговых устройств на основе операционного усилителя. Номер схемы и значения ее элементов, а также способ напыления тонких пленок приведены для каждого варианта в таблице исходных данных. Обозначение выводов и размеры бескорпусного операционного усилителя приведены на рис. 6.

Требуется:

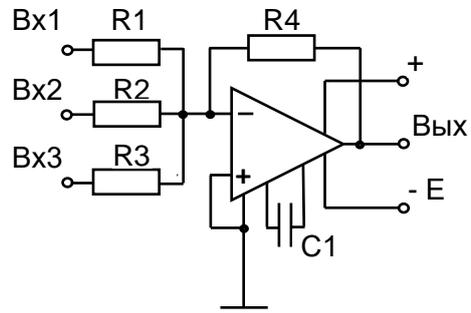
Разработать топологию тонкопленочной гибридной интегральной схемы, реализующей данное устройство на основе бескорпусного операционного усилителя, и нарисовать чертеж топологии в масштабе 10:1.

Исходные данные к заданию 2

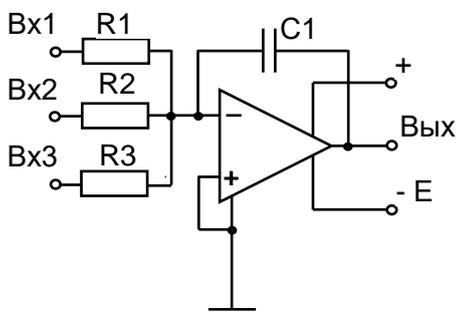
№ вар.	№ схемы	Элементы схемы						Способ напыления
		R1 кОм	R2 кОм	R3 кОм	R4 кОм	C1 пФ	C2 пФ	
1	1	5	10	10	100	100	-	Термическое
2	2	10	20	30	200	100	-	Катодное
3	3	10	10	10	-	30 000	-	Термическое
4	4	10	20	20	100	20 000	-	Катодное
5	5	20	20	20	40	5 000	2 500	Термическое
6	6	20	40	20	40	5 000	5 000	Катодное
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



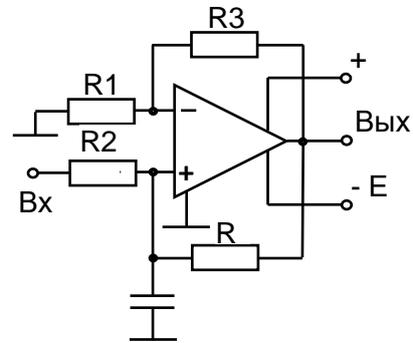
1. Неинвертирующий сумматор



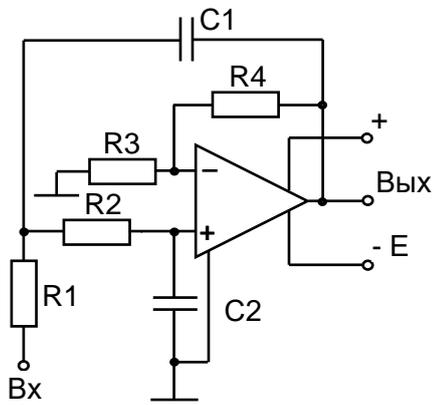
2. Инвертирующий сумматор



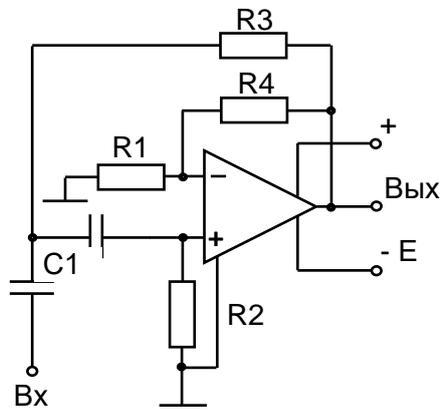
3. Суммирующий интегратор



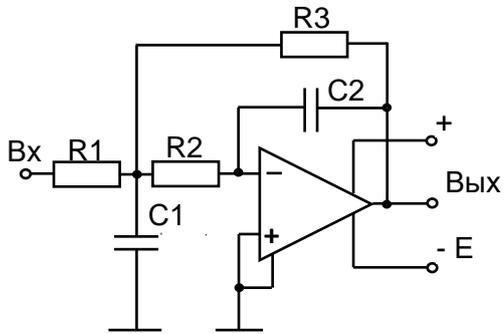
4. Неинвертирующий интегратор



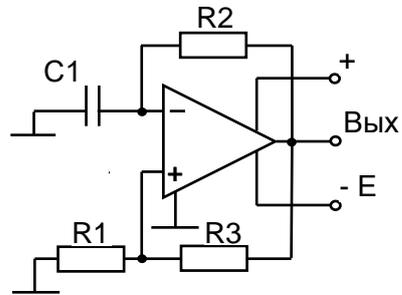
5. Неинвертирующий ФНЧ



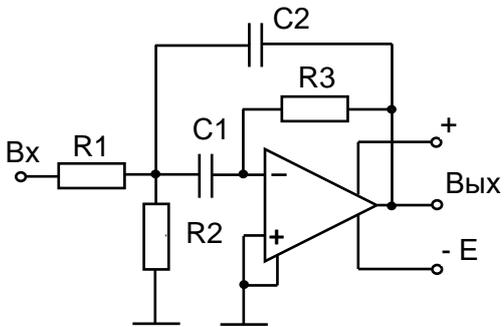
6. Неинвертирующий ФВЧ



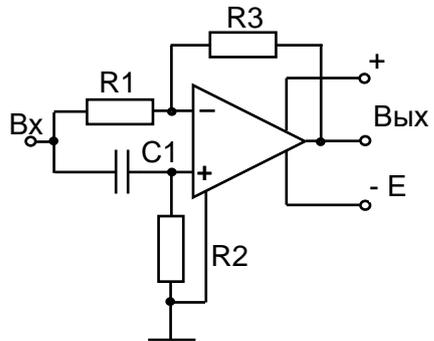
7. Инвертирующий ФНЧ



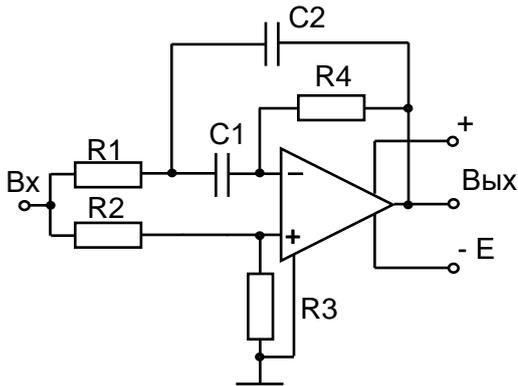
8. Генератор
прямоугольных импульсов



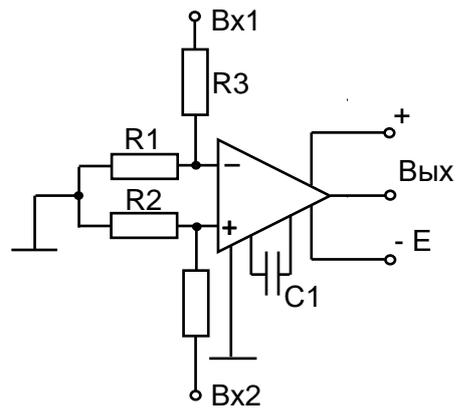
9. Инвертирующий
полосовой фильтр



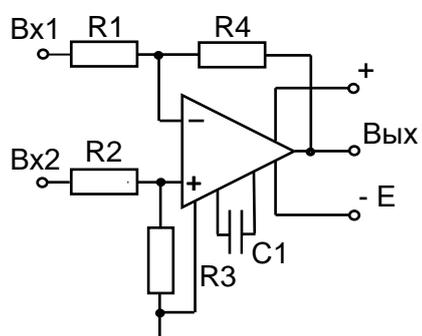
10. Фазовращатель



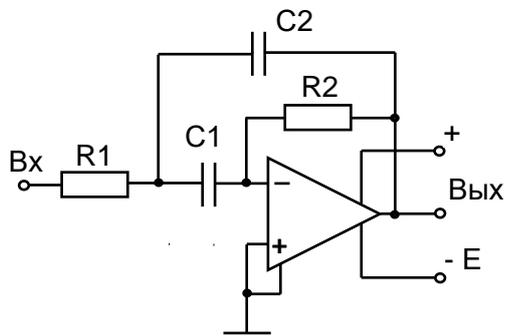
11. Режекторный фильтр



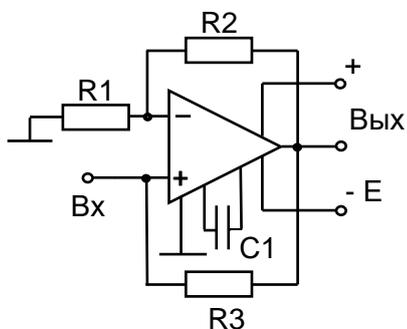
12. Компаратор напряжения



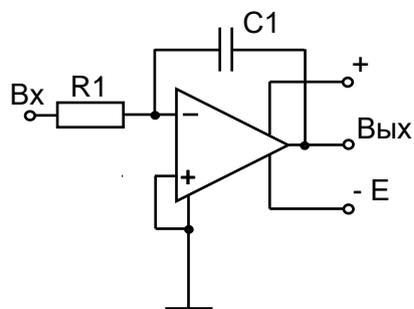
13. Дифференциальный усилитель



14. Избирательный RC-усилитель



15. Конвертор отрицательного сопротивления



16. Инвертирующий интегратор

Рис. 5. Схемы аналоговых устройств

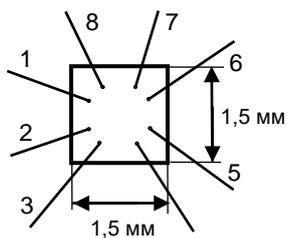
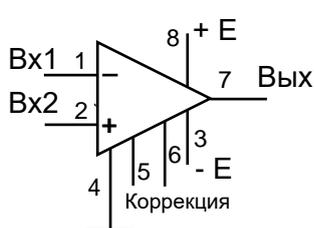


Рис. 6. Обозначения выводов и размеры бескорпусного операционного

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 операционного 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 ρ_s 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 K_ϕ . При выборе материала следует также иметь в виду, что резисторы с $K_\phi < 0,1$ и $K_\phi > 50$ не используются.

Аналогичным образом следует выбрать материал диэлектрической пленки для изоляции обкладок конденсаторов и с помощью таблицы 2 определить его удельную емкость $C_0 = 0,0885 \varepsilon / d$ *). По формуле [1, (6.3)] необходимо определить площади перекрытия обкладок конденсаторов S .

5. Выбор формы резисторов зависит от коэффициента формы: при $K_\phi \leq 10$ резисторы имеют прямоугольную форму, при больших K_ϕ резисторы выполняются в форме меандра [1, рис. 6.1,б]. При определении размеров резисторов следует исходить из минимально допустимой ширины резистивной пленки, равной $b_{\text{МИН}} = 100$ мкм и определить длину резистора. В тех случаях, когда полученная длина резистора оказывается меньше минимально допустимой длины, равной $l_{\text{МИН}} = 500$ мкм, следует задаваться минимальной длиной и определять ширину резистора.

*) В тех случаях, когда заданные в таблицах значения ρ_s и C_0 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.

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) S_{Σ} и определить примерную площадь подложки S_{Π} , полагая $S_{\Pi} = (2...3)S_{\Sigma}$. С помощью таблицы 3 следует выбрать стандартную подложку, размеры которой соответствуют полученной площади S_{Π} .

Материалы пленочных резисторов

Таблица 1

Материал	Удельное сопротивление ρ_s , 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 C_0 , пФ / см ²	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 400x400 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.

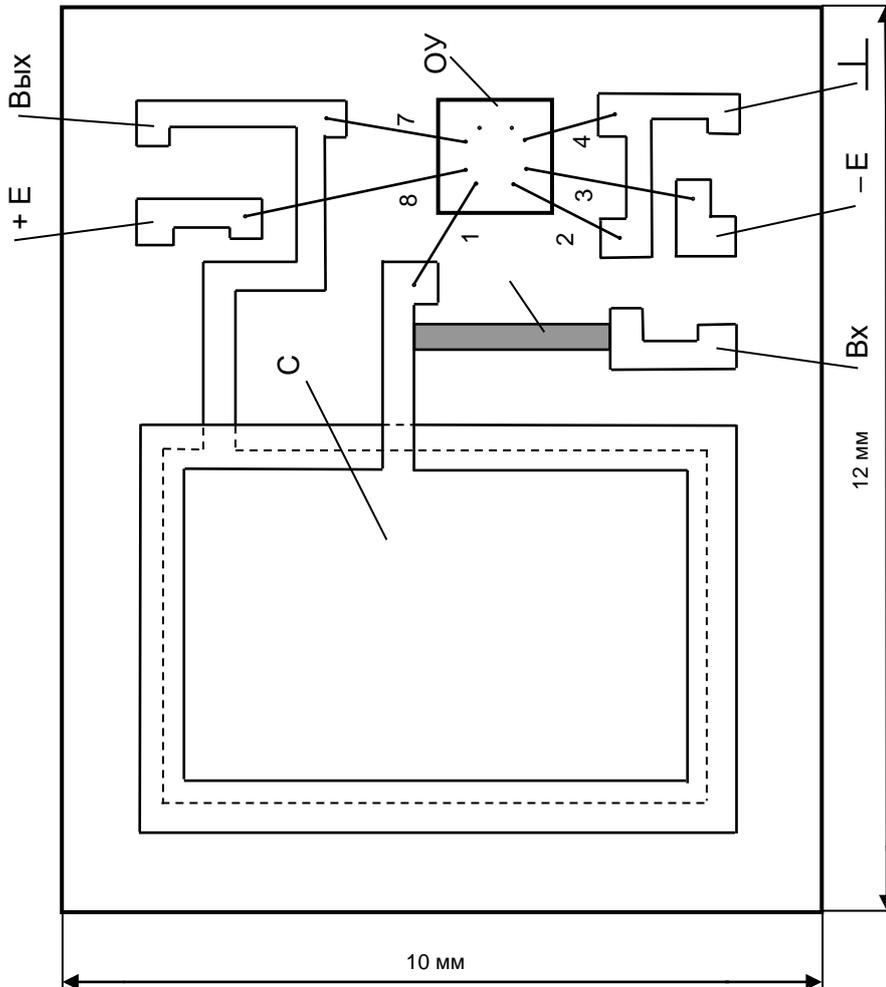


Рис. 7. Топология гибридной интегральной схемы, реализующей инвертирующий интегратор