



Саратовский государственный университет имени Н.Г.Чернышевского

Кафедра радиофизики и нелинейной динамики

Д.Э. ПОСТНОВ

Рабочая тетрадь

по курсу

ОСНОВЫ СХЕМОТЕХНИКИ

Учебно-методическое пособие

для студентов 4 курса физического факультета

Студента _____, группа _____, 7 семестр _____ г.

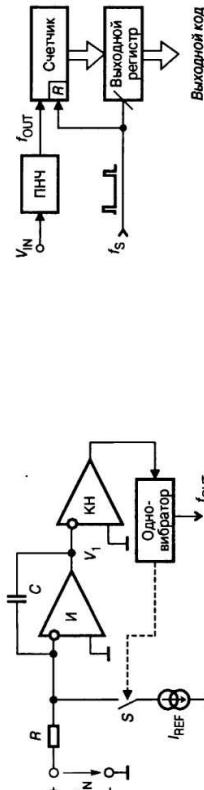
СОДЕРЖАНИЕ

Вводные замечания	3
Раздел 1. Схемы включения биполярных и полевых транзисторов	14
Раздел 2. Применение операционных усилителей	20
Раздел 3. Схемы источников тока и напряжения	28
Раздел 4. Усилители	36
Раздел 5. Фильтры	47
Раздел 6. Генераторы	52
Раздел 7. Схемы математических операций и аналогового моделирования	64
Раздел 8. Цифро-аналоговые преобразователи	73
Раздел 9. Аналого-цифровые преобразователи	81

ВВОДНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

О пособии

Данное учебно-методическое пособие создано в рамках работ по мероприятию 1.2.9 Инициативно-Образовательной программы СГУ, этап 2008г. Оно предназначено в помощь студентам при освоении ими дисциплины "Основы схемотехники" (специальная дисциплина по специальностям 013800- радиофизика и 014200 - биохимическая физика). Пособие предназначено для распространения в электронном виде (PDF-файл) и самостоятельный распечатки его студентами в начале семестра.



Как работать с тетрадью

Пособие доступно по адресу: <http://chaos.ssu.ru/moodle/> в разделах "Студентам-радиофизикам" и "Студентам-биофизикам". При скачивании и распечатке пособия следует выбрать между двумя доступными форматами: файл **shemo_a4.pdf**, содержащий прямую последовательность страниц в формате A4. При двухсторонней печати вам потребуется 46 листов бумаги. Файл **shemo_booklet.pdf** содержит набор страниц, отсортированных и расположенных на листах А4 таким образом, чтобы при правильной распечатке их можно было перегнуть пополам и скрепить в виде книжечки. Этот формат компактней, требует вдвое меньше бумаги, но распечатать и собрать его немного сложнее. При выборе формата учтывайте особенности своего почерка, а также типичную для вас детальность составления конспекта (первый вариант оставляет больше места для записей).

Главное назначение пособия - избавить от нудной зарисовки схем во время лекций, тем самым сохранив время и силы для осмыслиения материала.

Пособие само по себе недостаточно для подготовки к зачету по курсу. Это сделано намеренно - только собственно внесенные комментарии по работе схем, расчетные соотношения и другие пометки сделают "Рабочую тетрадь ..." самодостаточным источником информации по данной дисциплине.

Саратовский государственный университет, кафедра радиофизики и нелинейной динамики,
Автор - проф. Постнов Дмитрий Энгелевич.
Компьютерная отрисовка схем - Малова Светлана Юрьевна.
2008г.

Рекомендуемая литература:

- [1] П.Хоровиц, У.Хилл, Искусство схемотехники, в 2 том 1, М:Мир, 1986.
Замечательная книга по схемотехнике, выдержанная много изданний на русском языке. Она содержит много объясняющего текста и не похожа на обычные учебники. Акцент сделан на понимание того, что происходит в электронных схемах и почему хороши или плохи те или иные решения. Несмотря на "ненужную" форму изложения, в книге обсуждаются многое тонких и неочевидных нюансов работы электронных устройств.
- [2] Г.И.Волович, Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств, М: Издательский дом Додж-XXI, 2005.-528с.
Современное и информативное издание, охватывающее широкий спектр вопросов использования операционных усилителей. Рассматриваются самые разные их приложения, от простейших до построения схем АЦП и ЦАП. Много несложных поисковоющих схем. Легко понять принципы работы того или иного класса устройств. В то же время, сами схемы не всегда поясняются детально. Предполагается, что читатель неплохо знаком с основами электроники. Книга скорее справочная и расширяющая кругозор, нежели обучающая.
- [3] М.Мэндл, 200 избранных схем электронники, М: Мир, 1985.
Несколько устаревшая с точки зрения элементной базы (первое издание на английском - 1978 год), но "объясняющая" книга. Удачное сочетание свойств справочника и развернутого комментария по работе классических схемных решений. Рекомендуется для изучения вопросов применения биполярных транзисторов.
- [4] М.Х.Джонс, Электроника – практический курс, М: ПОСТМАРКЕТ, 1999.
Хороший учебник для начала "с нуля". Подробно разбирается принцип работы биполярного и полевого транзисторов. Не забыты такие базовые вещи как действие обратных связей и вопросы согласования сопротивлений. В то же время, разбираются и "продвинутые" схемные решения.
- [5] Граф Р., Шпитц В., Энциклопедия электронных схем том 7 часть 1, М:
ДМК, 2000.
Огромная коллекция разнообразных практических схем, ориентированная на радиолюбителей. К этой книге имеет смысл обращаться в поисках конкретных решений по определенной теме, предварительно освоив принципы их работы с помощью других книг.
- [6] Шелестов И.П. Радиолюбителям: полезные схемы, книга 5, М:СОЛОН-пресс, 2003, 240с.илл.
Подобно предыдущей, книга ориентирована на радиолюбителей. Детально рассматриваются вопросы применения микросхемы таймера 555.
- [7] Григорьев Б.И. Элементная база и устройства аналоговой электроники.
Учебное пособие: СПб: СПбГУ ИТМО, 2008, 94с.

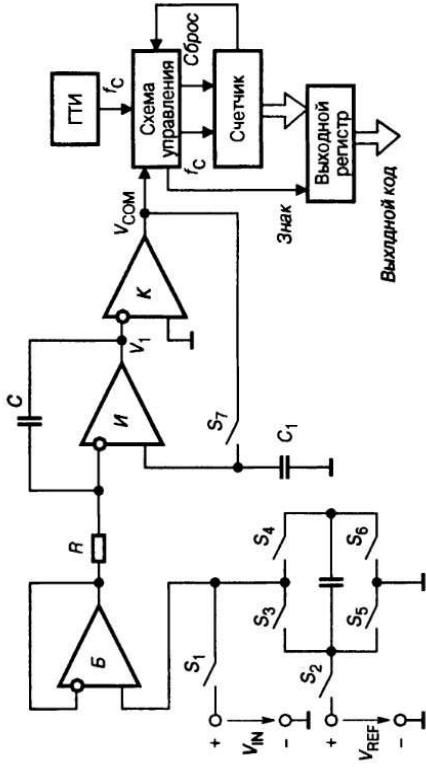


Схема 9.8	AЦП двухтактного интегрирования с автоматической компенсацией смещения нуля.
Контрольные вопросы и задания	
1	Какой дополнительный цикл имеется в работе такого АЦП?
2	Укажите на схеме цепь отрицательной обратной связи, используемой в фазе установки нуля.
3	Составьте самостоятельно таблицу состояний конечной схемы в разных фазах ее работы.
4	Какой потенциал устанавливается на конденсаторе С1 к окончанию фазы коррекции нуля?

Для заметок

Аналого-цифровые преобразователи

Таблица основных условных обозначений элементов электрических схем.

Обозначение	Значение	Обозначение	Значение
	Пересечение проводов, электрически соединенных, несоединеных		Трансформатор с ферритовым магнитопроводом
	Промежуточная точка подключения внешних цепей		Операционный усилитель (общее обозначение)
	Электрическое соединение с корпусом (массой)		Биполярный транзистор проводимости п-п-п
	Резистор		Биполярный транзистор проводимости п-п-п
	Переменный резистор		Транзистор полевой с изолированным затвором, Р-типа
	Подстроочный резистор		Транзистор полевой с изолированным затвором, Н-типа
	Конденсатор		Транзистор полевой с каналом Н-типа
	Электролитический конденсатор (поларизованный)		Транзистор полевой с каналом Р-типа
	Полупроводниковый диод (общее обозначение)		Кварцевый резонатор
	Стабилитрон односторонний		Источник тока

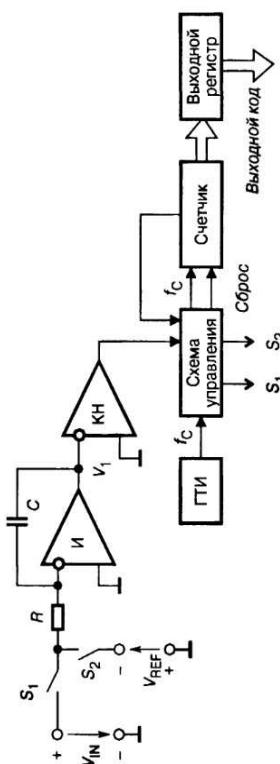


Схема 9.7 АЦП двухтактного интегрирования (упрощено).

Контрольные вопросы и задания

- Каковы особенности и область применения интегрирующих АЦП?
- Опишите последовательность событий в стадии интегрирования и в стадии счета.
- Как выбирается полярность опорного напряжения?
- Каковы особенности амплитудно-частотной характеристики такого типа АЦП?

Для заметок														
-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Обозначение	Значение	Обозначение	Значение
	Диод туннельный		Источник напряжения
	Катушка индуктивности		Измеритель напряжения (вольтметр)
	Катушка индуктивности с отводом		Измеритель тока (амперметр)

Использование возможностей среды **MULTISIM** для компьютерного моделирования работы схем

Практически все изучаемые в рамках курса схемы могут быть успешно смоделированы с помощью современных средств компьютерного моделирования. Одно из самых известных средств для этой цели - это программные продукты компании **Electronic Workbench**. На 2008 год продается 10-я версия программы **Multisim**. Ниже мы рассмотрим основы использования 9-й версии, как более распространенной.

Вид основного интерактивного окна программы показан на рисунке 1.

Основную площадь окна занимает поле, на котором пользователь конструирует схему, используя набор виртуальных электронных элементов и средства, которые предоставляют различные меню программы. Создание и тестирование электронной схемы в среде Multisim включает несколько последовательных шагов.

Шаг 1. Запуск программы и создание пустой схемы (или выбор существующей в качестве шаблона с помощью меню "File").

Шаг 2. Выбор и размещение необходимых электронных элементов.

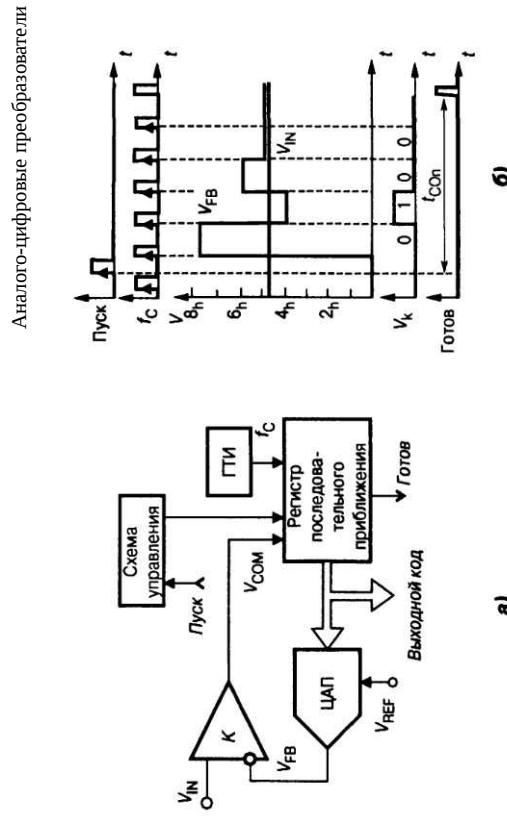


Схема 9.6	Структура АЦП последовательного приближения (а) и временная диаграмма его работы (б).
Контрольные вопросы и задания	
1	Дайте объяснение термину "АЦП с поразрядным уравновешиванием".
2	Какой выигрыш в числе шагов сравнения дает данная схема по отношению к схеме АЦП последовательного счета?
3	Опишите алгоритм формирования очередного уровня напряжения на выходе ЦАП.
4	Как нейтрализуется неопределенность апertureного времени?

Для заметок

Аналого-цифровые преобразователи

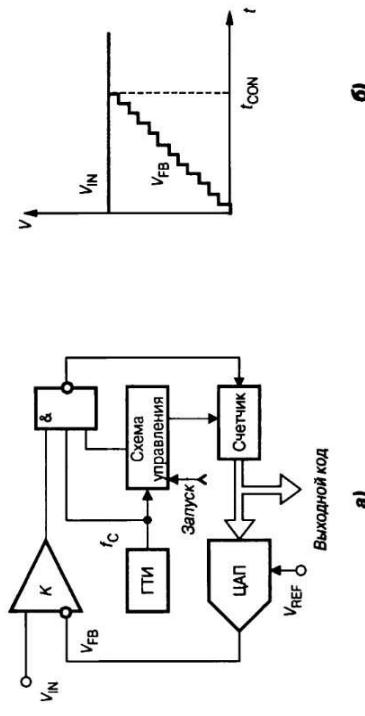


Схема 9.5 Структура АЦП последовательного счета (а) и временная диаграмма (б).
Контрольные вопросы и задания

- 1 Каково исходное состояние выхода компаратора?
- 2 Каковы функции блока счетчика?
- 3 Каково назначение сигнала, поступающего и элемента "И-НЕ" на счетчик?
- 4 В чём особенность скорости работы АЦП такой схемы?

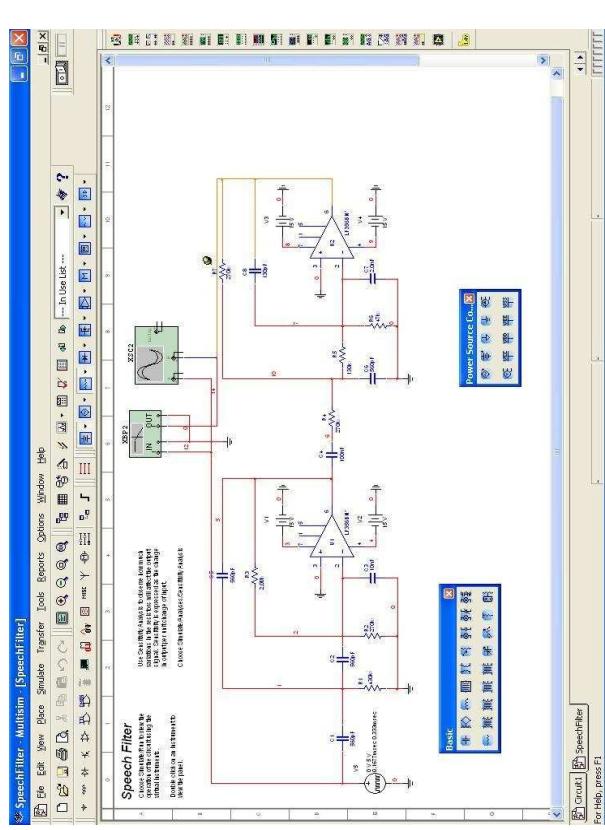


Рисунок 1. Интерфейс программы Multisim.

В Multisim различают реальные и виртуальные электронные компоненты. Первые – это по возможности точные аналоги настоящих элементов. Вторые – это идеализированный компьютерный образ. Например, виртуальному резистору или конденсатору можно присвоить любое значение сопротивления или емкости, тогда как "в физическом мире" и резисторы и конденсаторы выпускаются в рамках определенной шкалы номиналов. Виртуальные компоненты удобнее при изучении, разработке и тестиировании схем, тогда как реальные – полезны при макетировании, когда по результатам программных проверок должно быть слажено физическое устройство. Кроме того, часть схемных элементов Multisim интерактивна, то есть способна реагировать на действия пользователя.

Выбрать и разместить в окне разработки нужный элемент просто: для

этого нужно найти его в одном из меню *Components Browser* вверху окна разработки. После двойного щелчка мышью курсор принимает форму схемного элемента. После выбора нужного места в окне разработки, компонент размещается кликом мыши. При установке компоненты можно поворачивать.

Шаг 3. Соединение компонентов схемы виртуальными проводами и кабелями. В Multisim используется так называемый безрежимный принцип работы: назначение кнопок мыши зависит от положения курсора. Когда курсор расположен над разъемом или выводом компонента, левым щелчком мыши можно присоединиться к нему и начать прокладку провода. Доведя курсор до нужного места – можно присоединиться к нему опять-таки щелчком мыши. Присоединяться можно и к проводу.

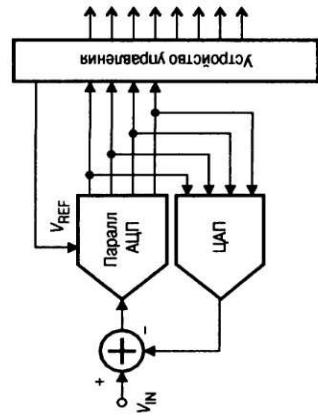
Другой способ соединения заключается в размещении элемента так, чтобы его разъемы касались существующих соединений, или наложить элемент (например, резистор) на существующий провод – он автоматически включится в него.

Шаг 4. Выбрать и разместить виртуальные измерительные приборы. Как правило, для тестирования и демонстрации работы реальных схем требуются источники питания, генераторы сигналов различной формы и измерительная аппаратура, которая в зависимости от сложности задачи может включать как просто мультиметр или осциллограф, так и специализированные измерители (например, анализатор спектра). В Multisim есть как абстрактные измерительные приборы, так и имитация конкретной аппаратуры известных фирм. Для разработки и тестирования схем достаточно и первых. Приборы второго типа удобны при имитации лабораторной работы с аппаратурой, или если вы к ним привыкли в реальном мире.

Часто используемый набор приборов включает:

1. Мультиметр. Он предназначен для измерения переменного или постоянного тока или напряжения, сопротивления или затухания между двумя узлами схемы.

Аналогово-цифровые преобразователи



Контрольные вопросы и задания	
1	Как используется цепь формирования опорного напряжения блоком управления?
2	Опишите последовательность событий при работе последовательно-параллельного АЦП.
3	В чем состоят преимущества и недостатки многоканальных АЦП?

Для заметок:

Аналого-цифровые преобразователи

Диапазон измерений мультиметра подбирается автоматически. Его внутреннее

2. Генератор сигналов (function generator). Это источник напряжения, который может генерировать синусоидальные, пилообразные и прямоугольные импульсы. Можно изменить форму сигнала, его частоту, амплитуду, коэффициент заполнения и постоянный сдвиг. Диапазон генератора достаточен, чтобы воспроизвести сигналы с частотами от нескольких герц до аудио- и радиочастотных. У генератора сигналов есть три терминала источника импульсов. Общий центральный терминал определяет положение нуля.

3. Осциллографы. В Multisim имеются различные модификации осциллографов с различной степенью сходства с настоящими. Они позволяют устанавливать параметры развертки и входного напряжения, выбирать тип и уловение синхронизацию запуска.

4. Анализатор спектра. Этот прибор полезен при анализе спектрального состава сигнала или при оценке степени нелинейных искажений, вносимых устройством.

Шаг 5. Эмуляция работы схемы. Собрав схему и подсоединив необходимые измерительные приборы, можно включить виртуальный выключатель питания и анализировать результаты.

Описанные выше 5 шагов дают лишь самое общее представление о работе с Multisim. Для использования всего разнообразия предоставляемых возможностей необходимо изучать руководство к программе и активно экспериментировать: в отличие от реальной жизни, замена стоявшего виртуального операционного усилителя или светодиода здесь ничего не стоит!

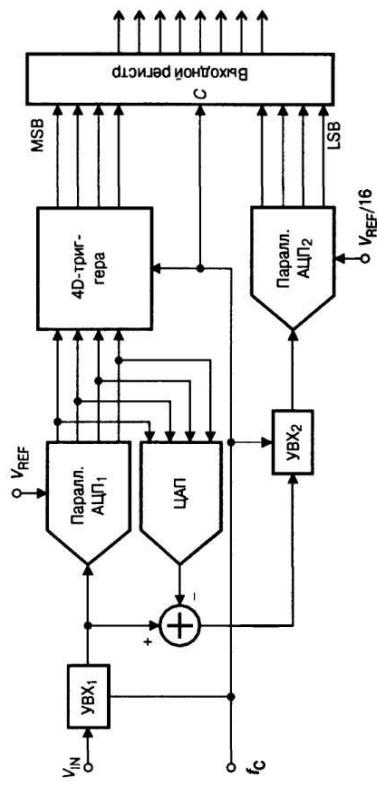
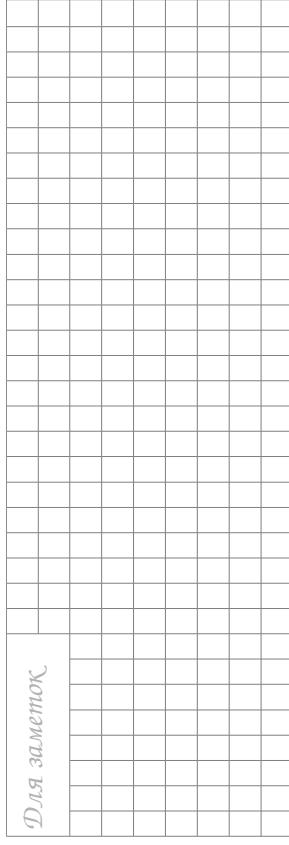


Схема 9.3 Структура конвейерного АЦП.
Контрольные вопросы и задания

- | | |
|---|---|
| 1 | Какую роль в схеме играет дополнительное устройство выборки-хранения УВХ ₂ ? |
| 2 | Чем вызвано применение блока из 4 D-триггеров для старших разрядов? Почему они не нужны для младших разрядов? |
| 3 | Опишите последовательность событий при работе конвейерного АЦП. |
| 4 | Чем вызвано ограничение по минимальной частоте считывания для промышленных образцов конвейерных АЦП? |

Діаграми



НЕКОТОРЫЕ РАСЧЕТНЫЕ СООТНОШЕНИЯ

Закон Ома для участка цепи

$$\begin{aligned} U_1 & \xrightarrow[R]{I} U_2 \\ \Delta U &= U_1 - U_2 \\ I &= \Delta U / R = \sigma \Delta U \\ \sigma &= 1/R \end{aligned}$$

Последовательное соединение сопротивлений



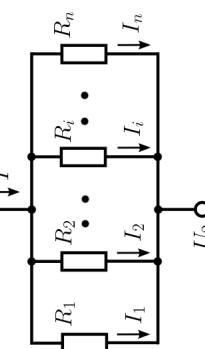
$$\begin{aligned} U_i - U_{i+1} &= R_i I \\ \sum_{i=1}^n (U_i - U_{i+1}) &= U_1 - U_n = I \sum_{i=1}^n R_i \end{aligned}$$

$$R_\Sigma = \sum_{i=1}^n R_i$$

Параллельное соединение сопротивлений

$$\sigma_i = \frac{1}{R_i}$$

$$I_i = \sigma_i (U_1 - U_2)$$



$$\begin{aligned} I &= \sum_{i=1}^n I_i = (U_1 - U_2) \sum_{i=1}^n \sigma_i \\ \sigma_\Sigma &= \frac{1}{R_\Sigma} = \sum_{i=1}^n \sigma_i = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i} \end{aligned}$$

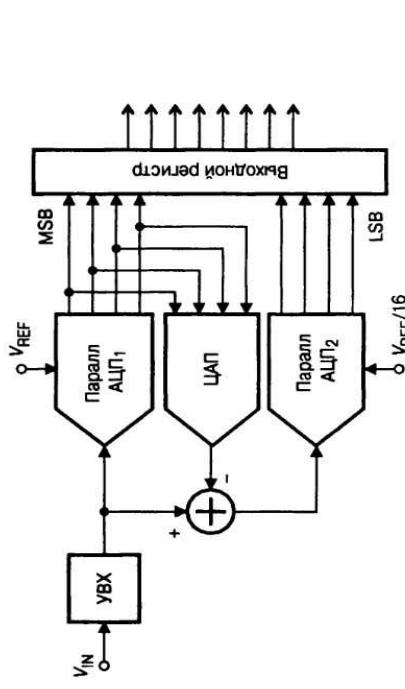


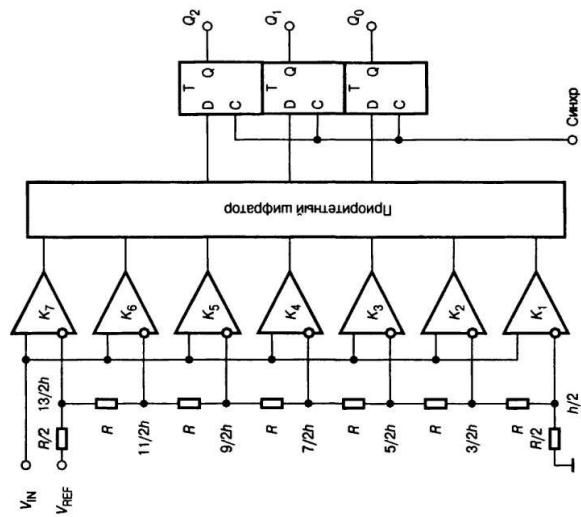
Схема 9.2 Структура двухступенчатого АЦП.

Контрольные вопросы и задания

- 1 Капа роль верхнего по схеме 4-разрядного АЦП?
- 2 Как используется сигнал на выходе вспомогательного ЦАП?
- 3 Каковы требования к точности нижнего по схеме АЦП?
- 4 Чем вызвана необходимость использования устройства выборки-хранения на входе устройства?

Для заметок

Аналого-цифровые преобразователи

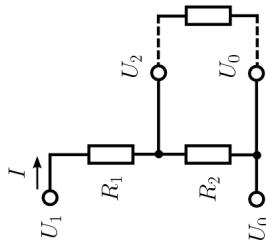


ПЕДИТЕЛЬ НАПУСКАЖЕНИЯ

$$\begin{aligned} R_H &= \infty, & \Delta U_1 &= U_1 - U_0 & \Delta U_2 &= U_2 - U_0 \\ I &= \Delta U_1 / (R_1 + R_2) & (a) \\ \Delta U_2 = R_2 I &= \frac{R_2}{R_1 + R_2} \Delta U_1 = \frac{1}{1 + R_1/R_2} \Delta U_1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_H \neq \infty, \quad R_{2\parallel H} &= \frac{R_2 R_H}{R_2 + R_H} & (b) \\ I &= \Delta U_1 / (R_1 + R_{2\parallel H}) \\ \Delta U_2 = R_{2\parallel H} \quad I &= \frac{1}{1 + R_1 / R_{2\parallel H} + R_1 / R_H} \Delta U_1 \end{aligned}$$

$$\Delta U_2 = R_{2||H} \quad I = \frac{1}{1 + R_1/R_2 + R_1/R_H} \Delta U_1$$



The diagram shows a bridge circuit with resistors R_6 , R_5 , R_3 , R_1 , R_2 , and R_4 . The circuit is powered by a current source E and has four voltage sources: U_1 , U_2 , U_3 , and U_0 . The circuit is enclosed in a dashed box.

$$(U_1 - U_0) + (U_0 - U_2) + (U_2 - U_3) + (U_3 - U_1) = 0$$

Законы Кирхгофа

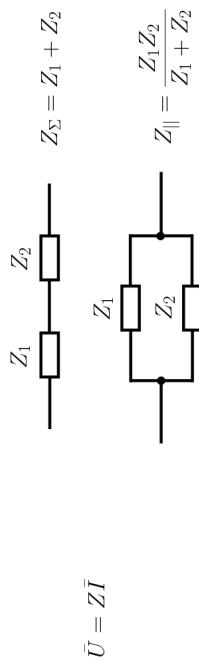
Схема 9.1	Параллельный 3 разрядный АЦП.
Контрольные вопросы и задания	
1	Как связаны разрядность АЦП и необходимое количество компараторов для данной схемы?
2	Объясните принцип работы (таблицу состояний) приоритетного шифратора.
3	Каковы преимущества и недостатки такой схемы АЦП?
4	В чем состоит опасность считывания результата преобразования непосредственно с выхода приоритетного шифратора?

Для заметок

Реактивные элементы и закон Ома в комплексной форме

$$\begin{array}{c}
 \text{+---} \\
 |X_C| = \frac{1}{j\omega C} = \frac{-j}{\omega C} \\
 X_C = \frac{1}{j\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{c}
 \text{---+} \\
 |X_L| = \omega L = 2\pi f L \\
 X_L = j\omega L
 \end{array}$$

$$\bar{U} \quad \bar{I} \quad Z = \{X_C, X_L, R\}$$



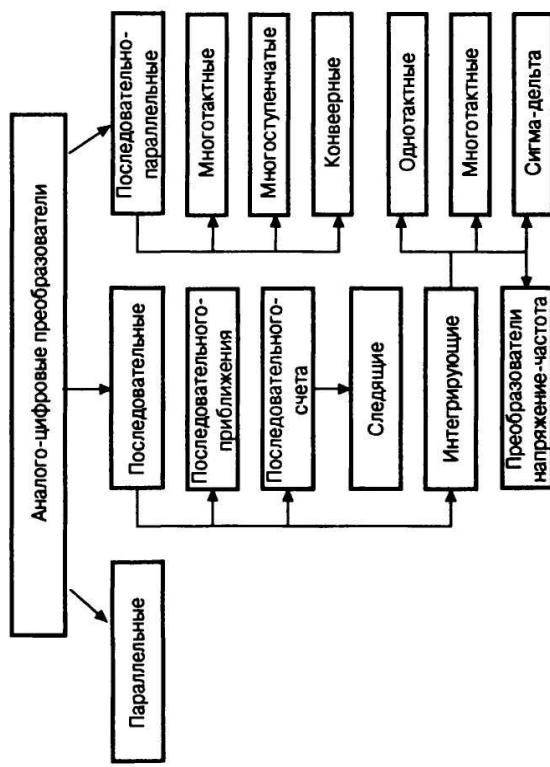
Модуль сопротивления реактивных элементов на разных частотах

$$\begin{array}{c}
 R \\
 \text{---} \\
 C
 \end{array}
 \quad |Z| = \sqrt{R^2 + |X_C|^2}$$

$$\begin{array}{c}
 R \\
 \text{---} \\
 L
 \end{array}
 \quad |Z| = \sqrt{R^2 + |X_L|^2}$$

$$\begin{array}{c}
 R \\
 \text{---} \\
 \text{---} \\
 C
 \end{array}
 \quad |Z| = \frac{R|X_C|}{\sqrt{R^2 + |X_C|^2}}$$

РАЗДЕЛ 9 АНАЛОГО-ЦИФРОВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ



Для заметок:

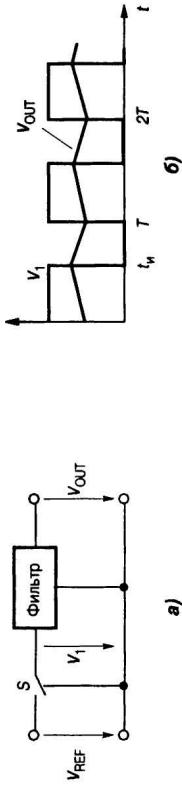
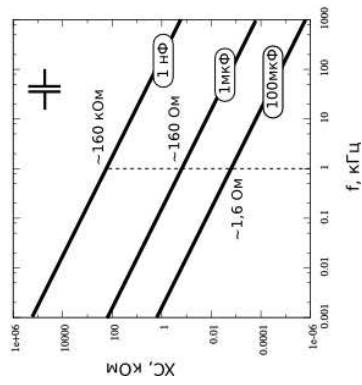
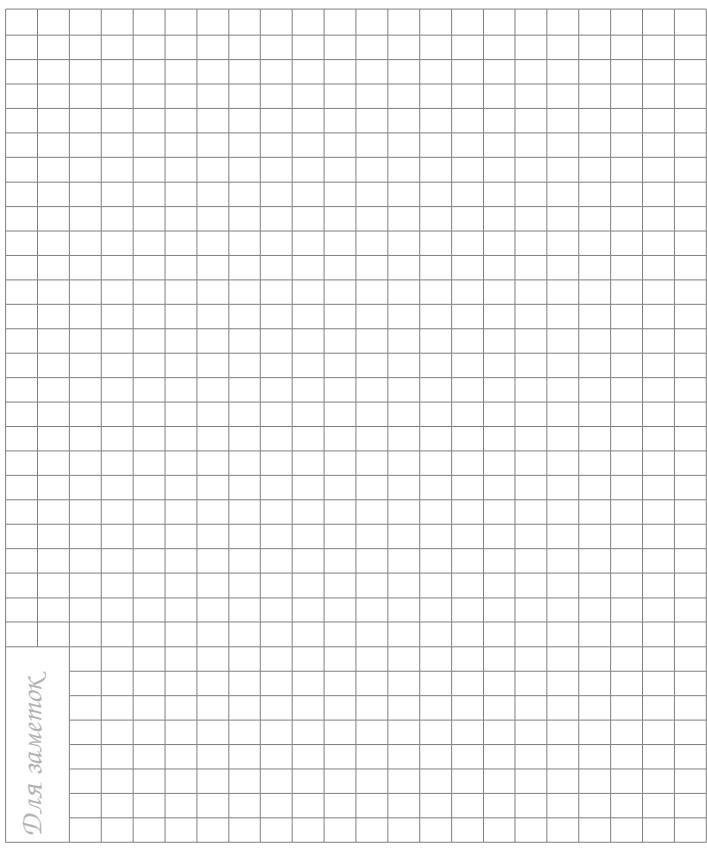
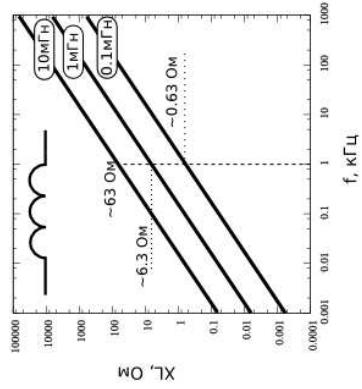
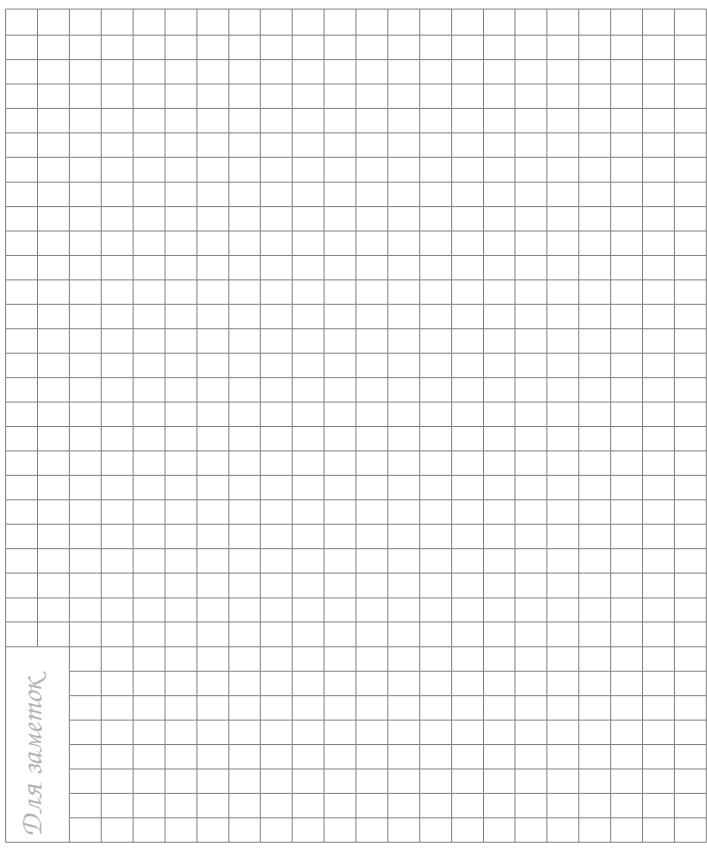


Схема 8.6 | Принцип широтно-импульсной модуляции (ШИМ).

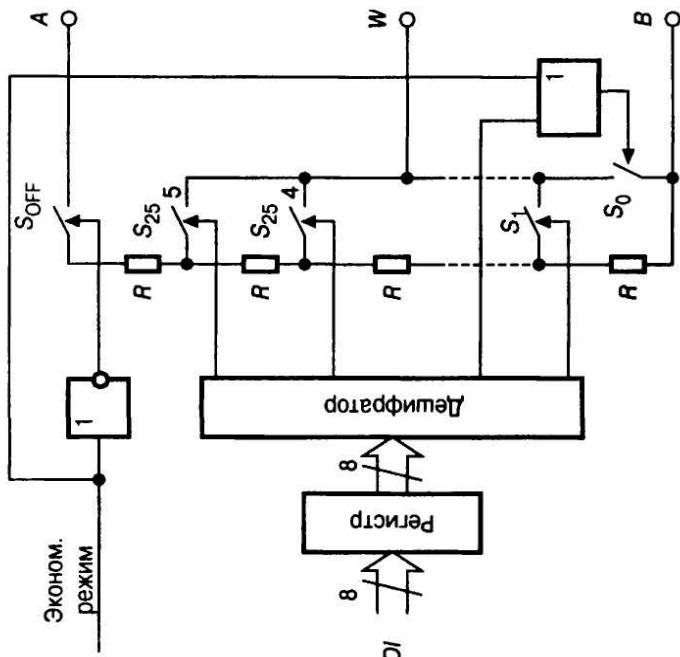
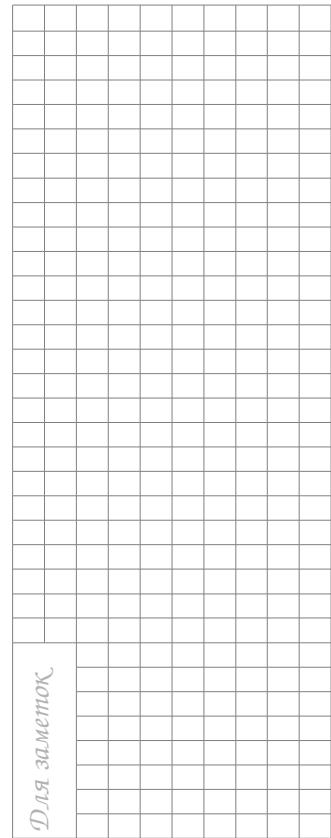


Для заметок



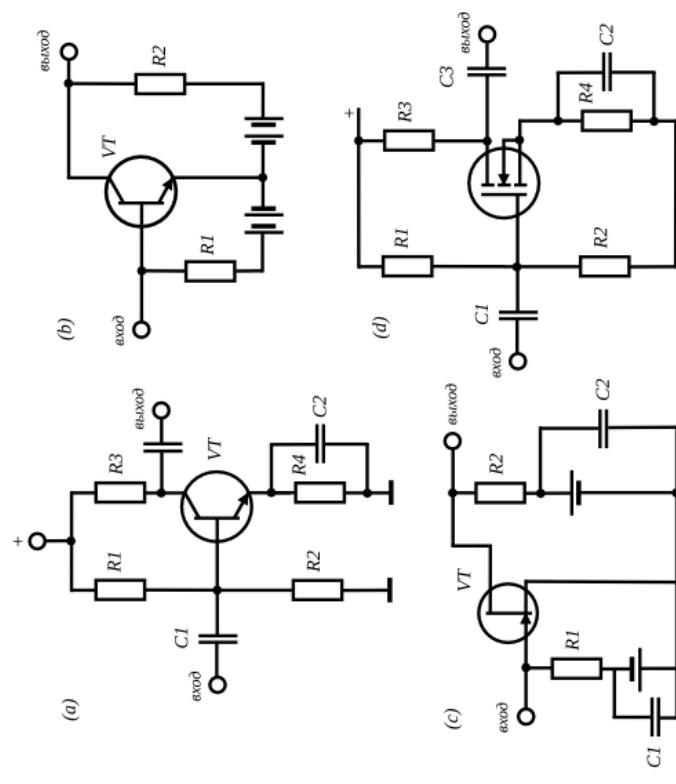
РАЗДЕЛ 1
**СХЕМЫ ВКЛЮЧЕНИЯ БИПОЛЯРНЫХ И ПОЛЕВЫХ
 ТРАНЗИСТОРОВ**

Для заметок



Цифро-аналоговые преобразователи

Схема 8.5 ЦАП с суммированием напряжений. Контрольные вопросы и задания
1 Сколько резисторов должно быть в матрице такого 8-разрядного ЦАП?
2 Какое представление сигнала на выходе должно обеспечивать дешифратор?
3 Объясните принцип действия цепей схемы при подаче сигнала на вход "Экономичный режим".



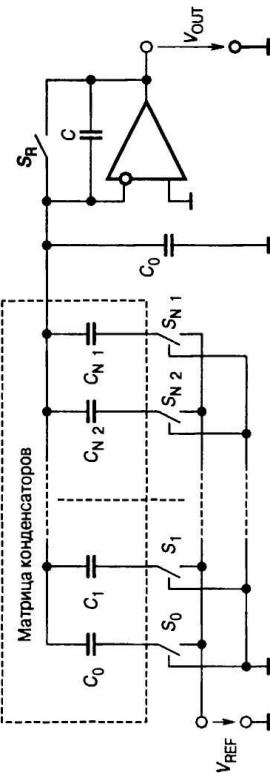
Для заметок

Схема 8.4 | Параллельный ЦАП на переключаемых конденсаторах.

Для заметок

- 1 Как выбираются емкости конденсаторов матрицы?
- 2 Каковы фазы работы такого цифро-аналогового преобразователя?
- 3 Какова природа ограничения при преобразовании редко меняющихся во времени величин? Предложите модификацию схемы для преодоления этого недостатка.
- 4 Каково назначение ключа S_R ?

Для заметок

Схема 1.1 (слева)	Типовые схемы включения биполярных и полевых транзисторов			
	(а) – биполярный транзистор, схема с общим эмиттером			
	(б) - биполярный транзистор, упрощенная схема ОЭ с отдельным источником смещения			
	(в) – полевой транзистор с р-п-переходом, схема с общим истоком			
Контрольные вопросы				
1	Что понимают под терминами "инжекция" и "экстракция" применительно к $p-n$ -переходу? Где это имеет место в биполярном транзисторе?			
2	Каков типичный коэффициент передачи тока при включении биполярного транзистора по схеме с общим эмиттером?			
3	Чем определяется рабочая полярность напряжения затвора у полевого транзистора?			
4	Каково назначение резисторов R1 и R2 в схеме (а)?			

Биполярные и полевые транзисторы

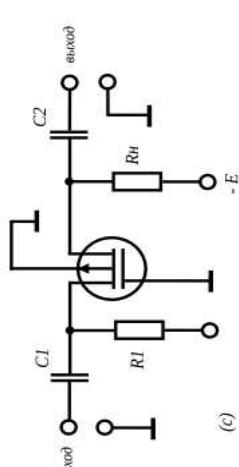
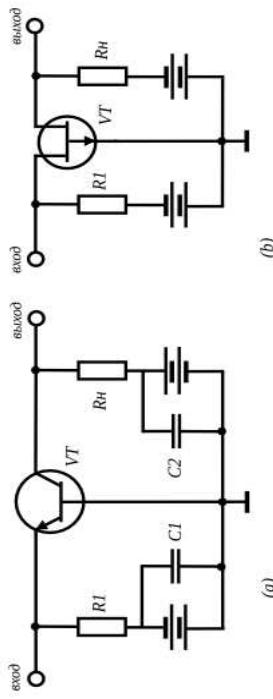


Схема 1.2 Типовые схемы включения биполярных и полевых транзисторов

- (а) – биполярный транзистор, схема с общей базой
 (б) – полевой транзистор с p-n-переходом, схема с общим затвором
 (в) – полевой транзистор с изолированным затвором, усилитель переменного тока по схеме с общим истоком

Контрольные вопросы

- 1 Чем определяется коэффициент усиления схем (а), (б) и (с) по току и по напряжению?

2 Для чего служит резистор R_I во всех трех схемах? Какова должна быть его величина?

3 Какова роль конденсаторов C₁ и C₂ в схеме (а)?

4 Какова роль конденсаторов C₁ и C₂ в схеме (с)?

Схема 8.3 ЦАП с выходом по напряжению.

Контрольные вопросы и задания

- 1 Какова роль выходной емкости ЦАП в формировании напряжения на выходе?
 2 Каковы требования к резистору R_{F_B} в схеме (а)?
 3 Каково назначение конденсатора в цепи обратной связи ОУ?
 4 В каких случаях целесообразно использовать схему (б)? Каковы ее недостатки?

Для заметок

Цифро-аналоговые преобразователи

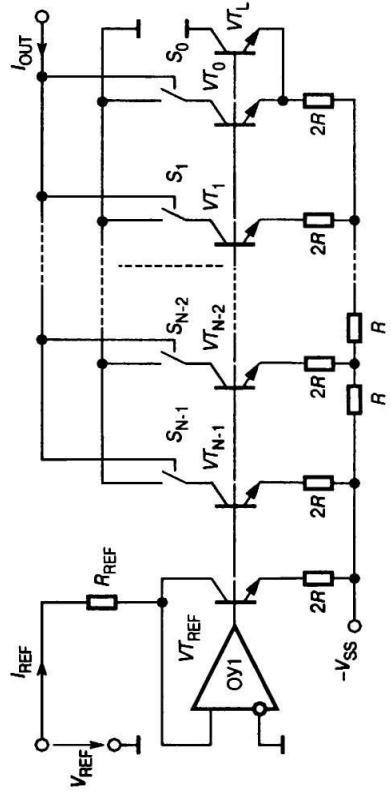


Схема 8.2 ЦАП на источниках тока.

Контрольные вопросы и задания

- 1 Какова в этой схеме роль операционного усилителя?
- 2 Каковы требования к использованным в схеме транзисторам?
- 3 Какова цель параллельного включения транзисторов VT0 и VT1?
- 4 Объясните схему включения транзистора VT_ref.

Для заметок

Биполярные и полевые транзисторы

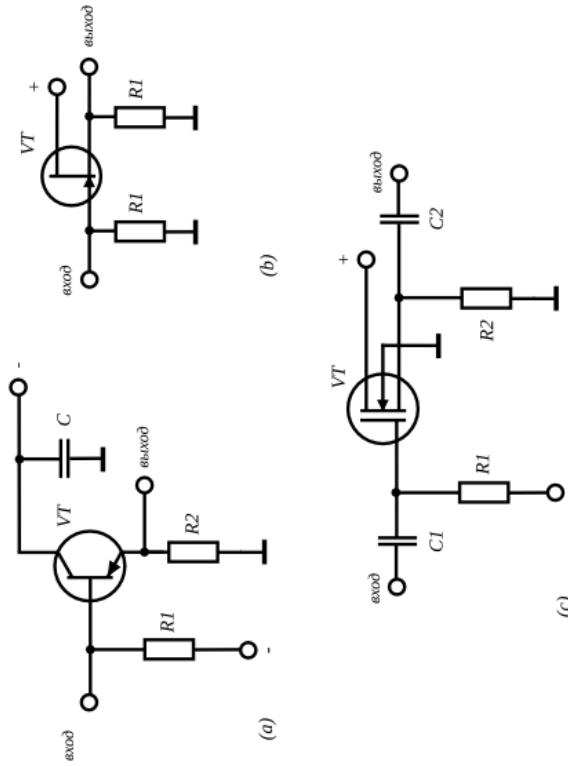


Схема 1.3

Типовые схемы включения биполярных и полевых транзисторов
(а) – биполярный транзистор, схема с общим коллектором (эмиттерный повторитель)

(б) – полевой транзистор с р-п-переходом, схема с общим стоком

(в) – полевой транзистор с изолированным затвором, схема с общим стоком

Контрольные вопросы

- | | |
|---|--|
| 1 | Как связаны ток через R2 и ток базы транзистора в схеме (а) ? |
| 2 | Чем определяется величина коэффициента усиления по напряжению в схемах рисунка ? |
| 3 | Каково выходное сопротивление представленных схем ? Дайте объяснение. |
| 4 | Каково назначение конденсаторов C1 и C2, а также резисторов R1, R2 в схеме ? |

Биполярные и полевые транзисторы

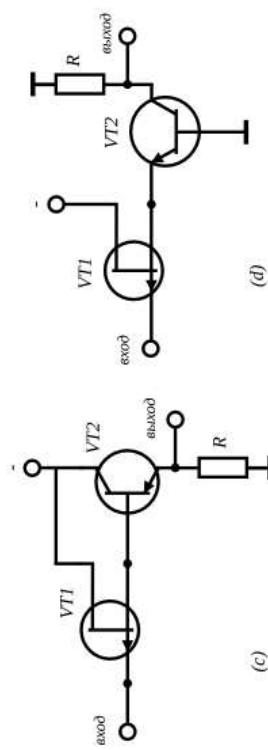
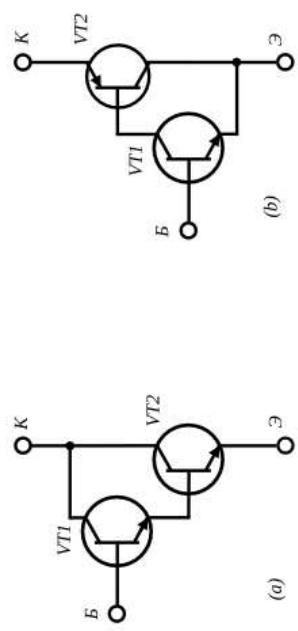


Схема 1.4 Схемы включения составных транзисторов

- (a) - схема Дарлингтона;
- (b) - схема Шиклана;
- (c) - двойной повторитель: каскад с общим истоком, нагруженный на эмиттерный повторитель;
- (d) - истоковый повторитель со схемой ОВ в качестве нагрузки

Контрольные вопросы и задания

- 1 Каков коэффициент передачи тока составного транзистора (a) при включении по схеме ОЭ?
- 2 Объясните различие схем (a) и (b) с точки зрения их характеристики.
- 3 Имеется ли обратная связь в усилительном каскаде (c)? Каков коэффициент усиления такого каскада по току и по напряжению?
- 4 Рассчитайте коэффициент усиления по напряжению схемы (d).

Схема 8.1 Варианты построения матрицы токов цифро-аналоговых преобразователей.

- (a) - простейшая схема ЦАП с суммированием весовых токов;
- (b) - схема построения ЦАП на матрице постоянного импеданса;
- (c) - ЦАП с инверсным включением резистивной матрицы.

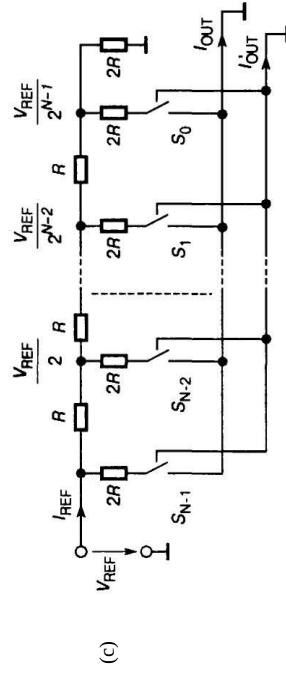
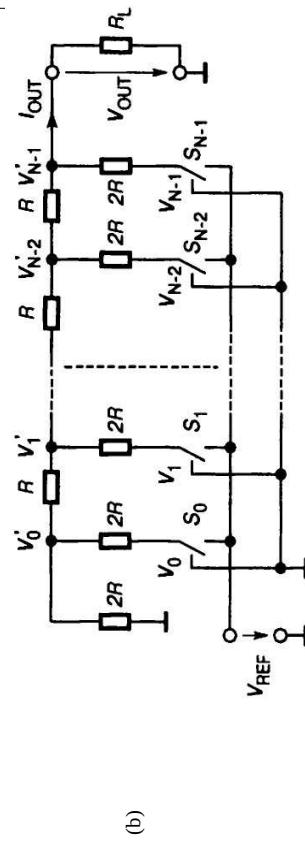
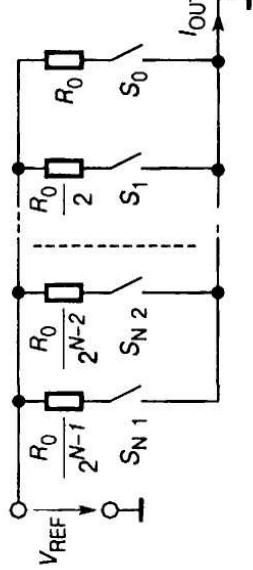
Контрольные вопросы и задания

- 1 Объясните принцип формирования матрицы сопротивлений схемы (a).
- 2 Как зависит потребляемый схемой ток от цифрового представления преобразуемой величины?
- 3 В чем преимущество схемы (b) с точки зрения выбора резисторов?
- 4 При практической реализации этих схем, что используют в качестве набора ключей?

Для заметок

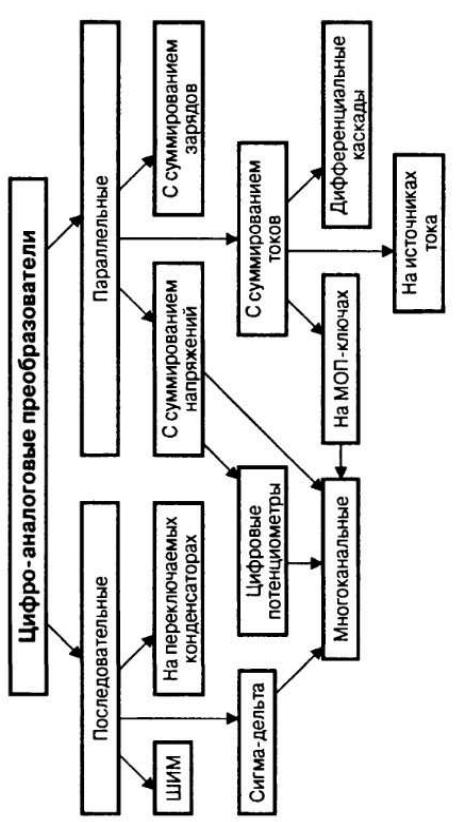
--

Для заметок

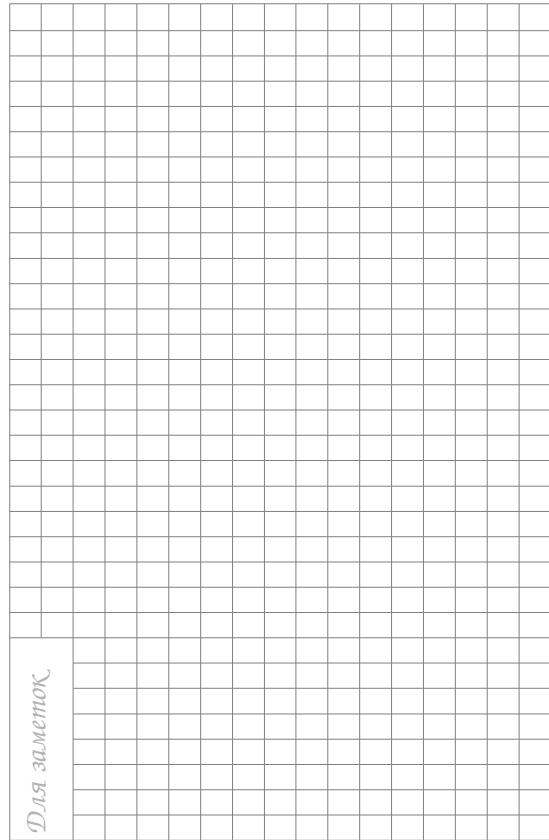
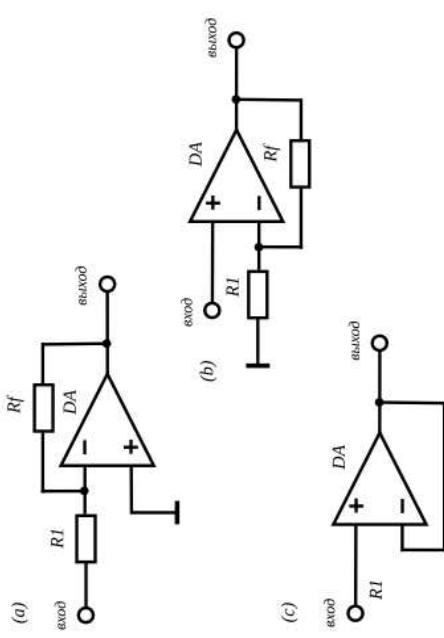


РАЗДЕЛ 2
ПРИМЕНЕНИЕ ОПЕРАЦИОННЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ

РАЗДЕЛ 8
ЦИФРО-АНАЛОГОВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ



Для заметок



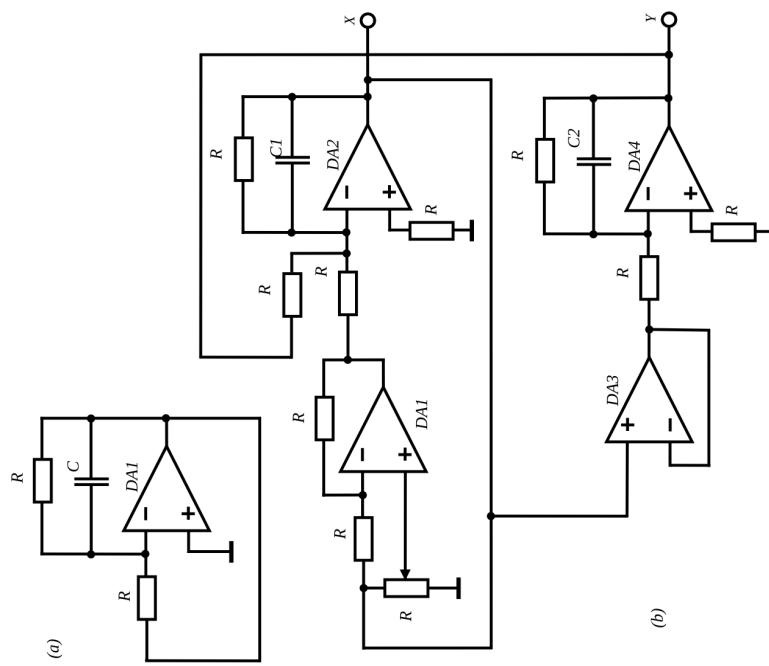


Схема 7.9 Схемы аналогового моделирования

Контрольные вопросы и задания

- 1 Каким частям системы уравнений соответствуют узлы схемы (b) на ОУ DA1, DA2, DA3, DA4?
- 2 Каково назначение резисторов, включенных между неинвертирующими входами ОУ DA2, DA4 и землей?
- 3 Предложите модификацию схемы (b), которая позволяла бы задать начальные условия интегрирования.

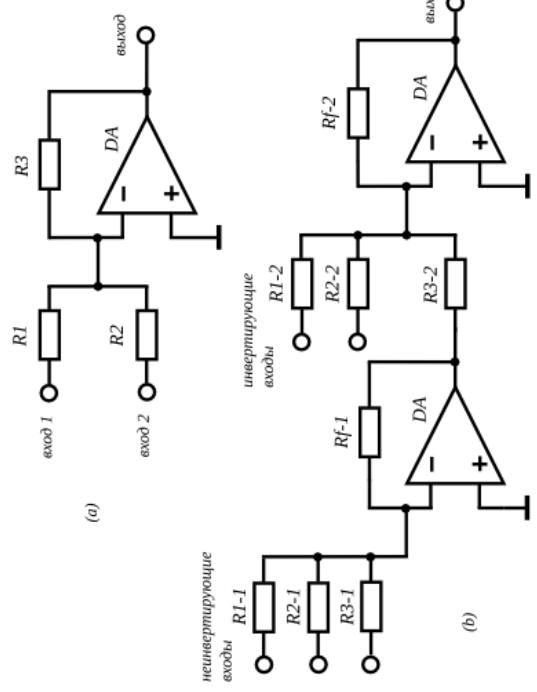
Для заметок

Схема 2.1 Типовые схемы включения операционного усилителя (ОУ)

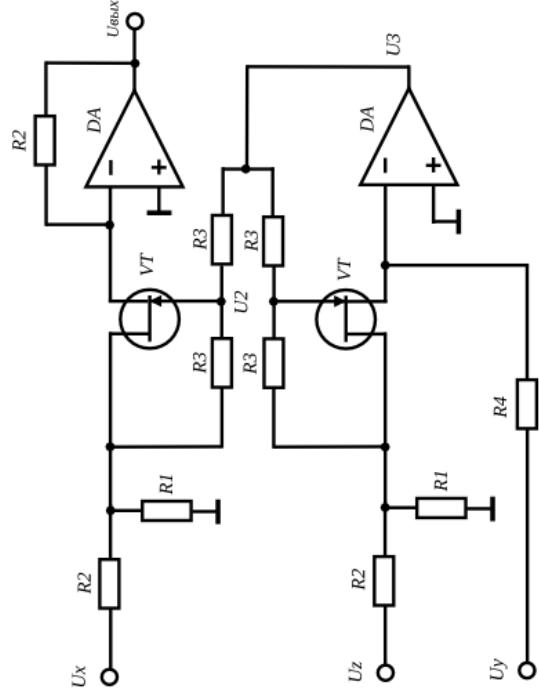
- (a) – инвертирующее включение;
- (b) – неинвертирующее включение;
- (c) – повторитель на ОУ

Контрольные вопросы и задания

- 1 Что такое дифференциальное напряжение операционного усилителя?
- 2 Какие соотношения включают модель идеального ОУ в линейном режиме?
- 3 Выведите формулу для коэффициента усиления по напряжению схемы (a). Каков физический смысл знака “-” в полученным результате?
- 4 Выведите формулу для коэффициента усиления по напряжению схемы (b). В каком соотношении находятся характеристики схем (b) и (c)?

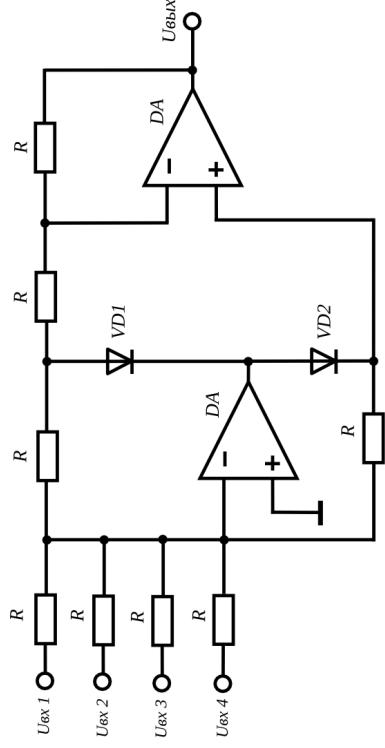
Схемы на ОУ

Контрольные вопросы и задания	
1	Каковы 1) потенциал и 2) баланс токов в точке соединения R_1 , R_2 и R_3 схемы (a)?
2	Каков эффект от последовательного включения суммирующих каскадов по схеме (b)?
3	Рассчитайте коэффициент усиления схемы (b) относительно среднего из неинвертирующих входов.
4	Что произойдет, если выбрать $R_{1-1} = R_{1-2}$ и подать на соответствующие входы схемы (b) одинаковое напряжение?

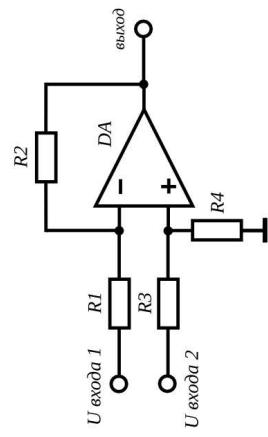
Аналоговое моделирование

Контрольные вопросы и задания	
1	Какую роль выполняют полевые транзисторы VT1 и VT2?
2	Для какой цели используются делители напряжения на резисторах одинаковой величины R_3 ?

Для заметок	
-------------	--



Для заметок



Для заметок

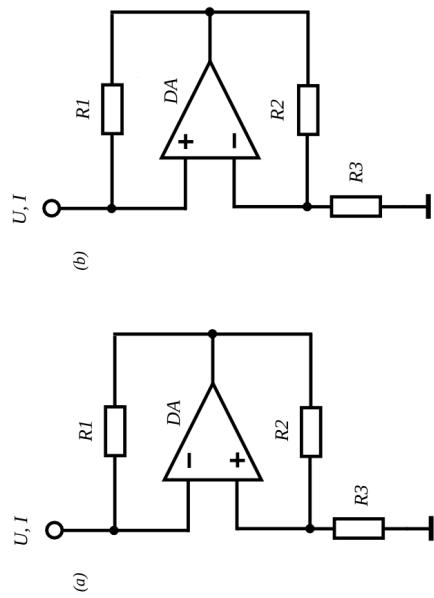


Схема 2.4

Схемы конвертеров сопротивления на ОУ.

- (a) – с кусочно-линейной характеристикой S-типа;
- (b) – с кусочно-линейной характеристикой N-типа;

Контрольные вопросы и задания

- 1 Каков общий алгоритм анализа работы схемы на ОУ в нелинейном режиме?
- 2 Получите самостоительно выражения для всех сегментов вольтамперных характеристик схем (a) и (b). В чем их различие?
- 3 Чем различаются свойства центрального сегмента вольтамперной характеристики при физической реализации схем (a) и (b)? Какие факты не учитывает модель идеального ОУ?
- 4 Рассчитайте характеристику для параллельно включенных конвертеров (a) и (b).

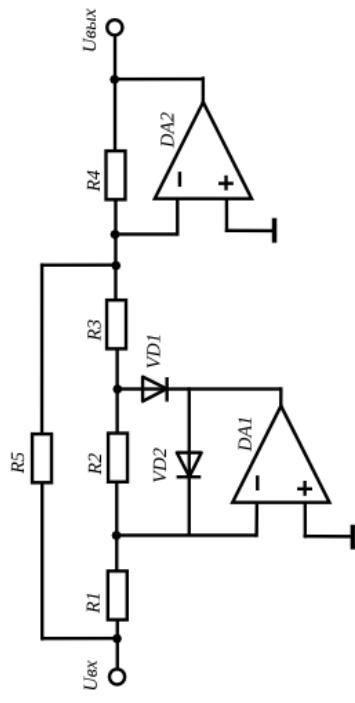
Для заметок

Схема 7.6 Схема выделения модуля входного сигнала.

Контрольные вопросы и задания

- | | |
|---|--|
| 1 | Какие цепи схемы задействованы при положительном текущем значении входного сигнала? |
| 2 | Какие цепи схемы задействованы при отрицательном текущем значении входного сигнала? |
| 3 | При каком соотношении сопротивлений резисторов схемы она действительна выдает напряжение, пропорциональное отклонению сигнала от нуля? |
| 4 | Какова роль резистора R5? |

Для заметок

<i>Для заметок</i>	
--------------------	--

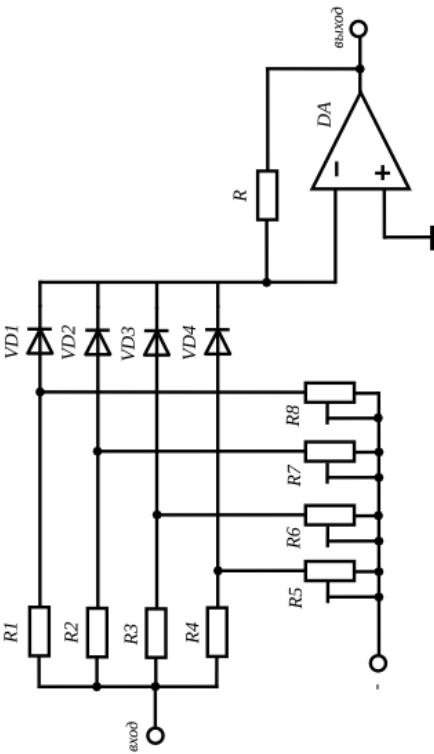


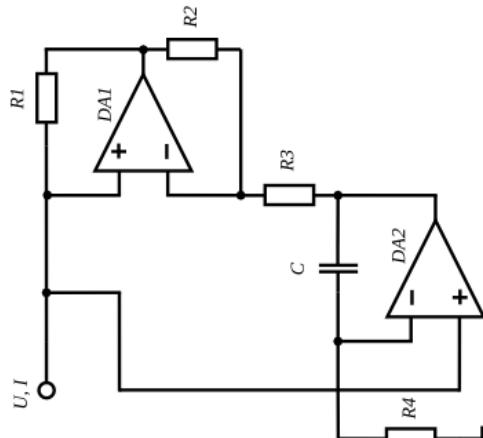
Схема 7.5 Четырехсегментный аппаратоксиматор.

Kannan et al.

- | | |
|---|--|
| 1 | В каком режиме работает операционный усилитель в этой схеме? |
| 2 | При увеличении напряжения на входе, в какую сторону меняется потенциал выхода? |
| 3 | Предложите модификацию схемы, позволяющую аппроксимировать функцию С немонотонно изменяющимся наклоном |
| 4 | От чего зависит плавность изменения вольтамперной характеристики в области стыка сегментов? |

NEW DE BÜ

Diseñando



10 of 10

Cahiers M.I.

- Контрольные вопросы

 - Что означает термин "преобразователь отрицательных полных сопротивлений"?
 - Каково назначение DA1 и резисторов R1, R2, R3 на схеме?
 - Каков потенциал в точке соединения конденсатора С и резистора R4?
 - Свойства какого радиотехнического элемента имитирует данная схема и в каком диапазоне входных напряжений?

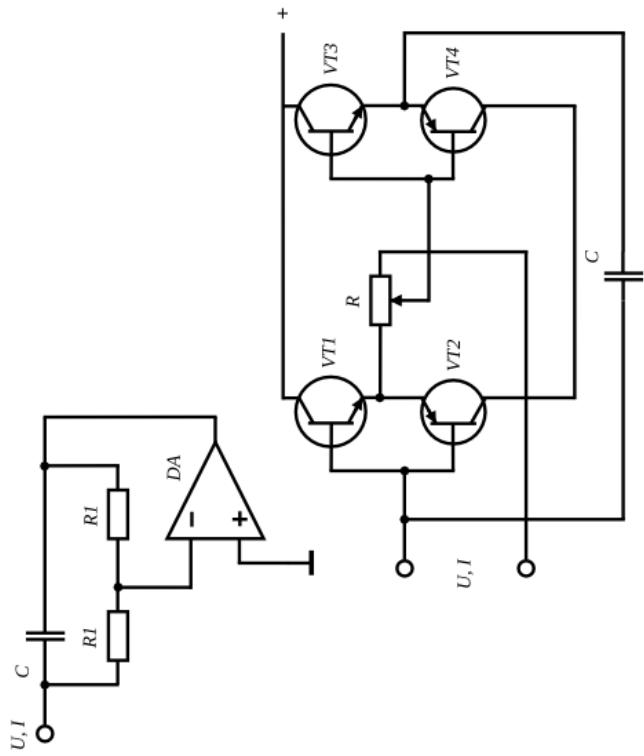


Схема 2.6 Схемы - эквиваленты емкости

- (а) - на операционном усилителе
- (б) - на симметричных повторителях с применением биполярных транзисторов

Контрольные вопросы

- 1 Каков потенциал в точке соединения конденсатора С и резистора R1 схемы (а)?
- 2 Как изменить схему (а), чтобы получить уменьшение эквивалентной емкости?
- 3 Для чего транзисторы на схеме (б) включены комплементарными парами?
- 4 В какую сторону (по схеме) нужно сдвинуть движок резистора R схемы (б), чтобы эквивалентная емкость уменьшилась?

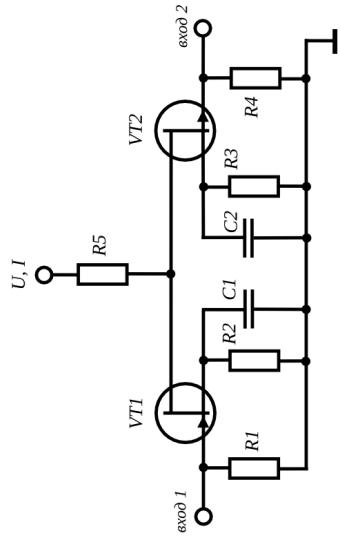


Схема 7.4 Схема квадратора на комплементарных полевых транзисторах.

Контрольные вопросы и задания

- 1 Сопоставьте вольтамперные характеристики устройства при постоянным напряжении стока и изменяемых напряжениях на первом и втором входе.
- 2 За счет чего достигается близкая к квадратичной зависимость при подаче на входы одного и того же напряжения?
- 3 Предложите модификацию схемы с компенсацией нуля (нулевой ток при нулевом входном напряжении).
- 4 Предложите модификацию схемы со сдвигом характеристик относительно входного напряжения (минимум тока при выбранном входном напряжении).

Для заметок

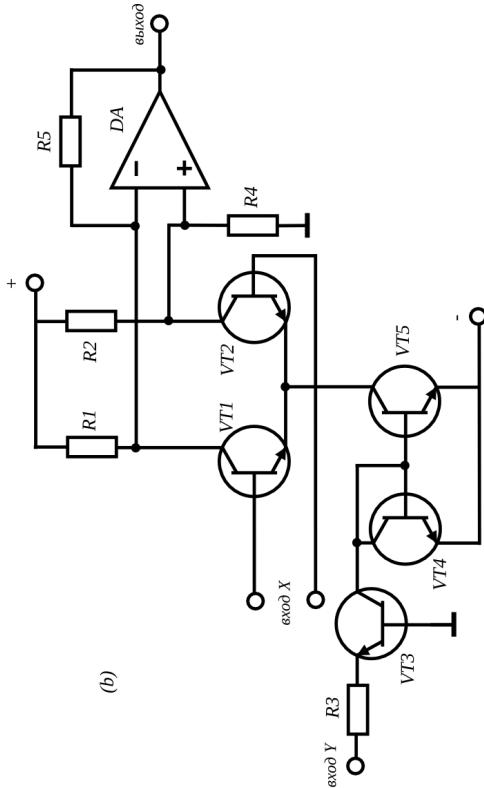
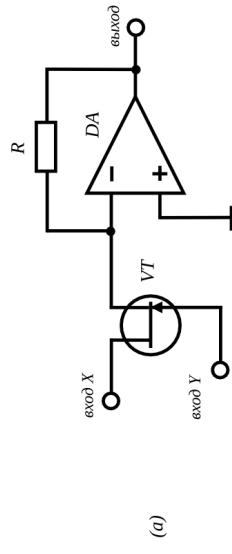
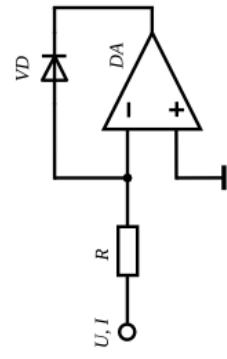


Схема 7.3 Схемы перемножителей.

Контрольные вопросы и задания

- Каков принцип работы схемы (a)? Оцените рабочий диапазон по входу Y.
- За счет чего осуществляется перемножение сигналов в схеме (b)?
- Какую функцию выполняют транзисторы VT4 и VT5 схемы (b)?
- Для чего в схему включен R4? Из каких соображений выбрать его величину?



Схемы на ОУ

Схема 2.7 Линейный выпрямитель на ОУ

Контрольные вопросы и задания

- Получите расчетное соотношение, характеризующее работу схемы.
- Как ток, протекающий через диод, зависит от напряжения на выходе?
- Постройте вольтамперную характеристику данного устройства как двухполюсника.
- В каких пределах изменения входного напряжения справедливы полученные соотношения?

Для заметок

Схема 7.3 Схемы перемножителей.

Контрольные вопросы и задания

- Каков рабочий диапазон по входу Y.
- За счет чего осуществляется перемножение сигналов в схеме (b)?
- Какую функцию выполняют транзисторы VT4 и VT5 схемы (b)?
- Для чего в схему включен R4? Из каких соображений выбрать его величину?

РАЗДЕЛ 3 СХЕМЫ ИСТОЧНИКОВ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ

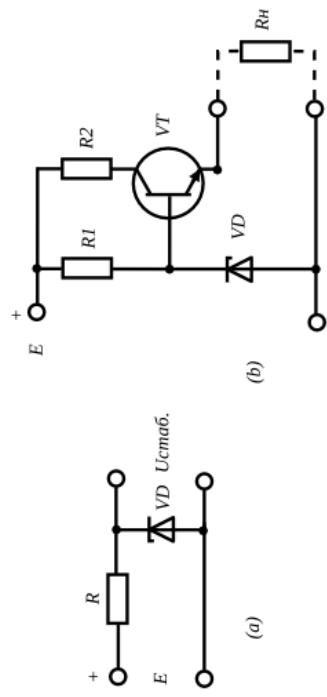


Схема 3.1 Схемы источников напряжения с использованием диодов-стабилитронов
 (a)—простейшая схема, состоящая из резистора и стабилитрона;
 (b)—усовершенствованная схема с выходным эмиттерным повторителем

Контрольные вопросы

- Чем определяется напряжение на выходе схемы (a)?
- Чем определяется допустимый диапазон изменения сопротивления нагрузки схемы (a) при условии сохранения стабильности напряжения на выходе?
- Из каких соображений выбираются значения резисторов R_1 и R_2 на схеме (b)?
- По какой схеме включен транзистор на схеме (b)? Что этим достигается?

Для заметок

Аналоговое моделирование

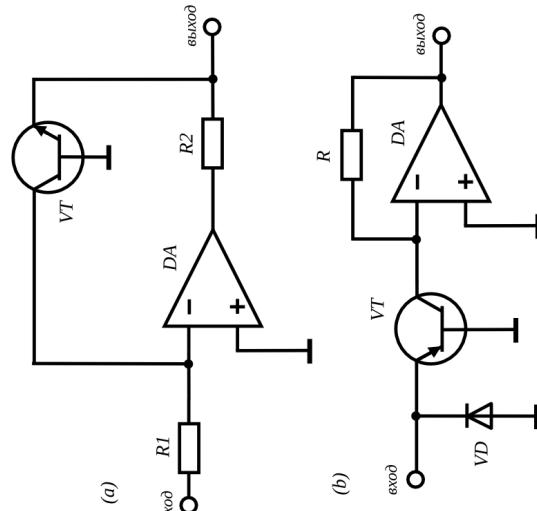


Схема 7.2 Логарифмический и экспоненциальный усилители на ОУ.

Контрольные вопросы и задания

- Какие свойства транзистора используются для построения логарифмирующих и потенцирующих усилителей?
- Каково назначение резистора R_2 в схеме (a)?
- При какой полярности входного напряжения работает способна схема (a)? Как видоизменить схему для другой полярности? Предложите цепь защиты транзистора от входного напряжения неправильной полярности.
- Каково назначение диода VD в схеме (b)?

Для заметок

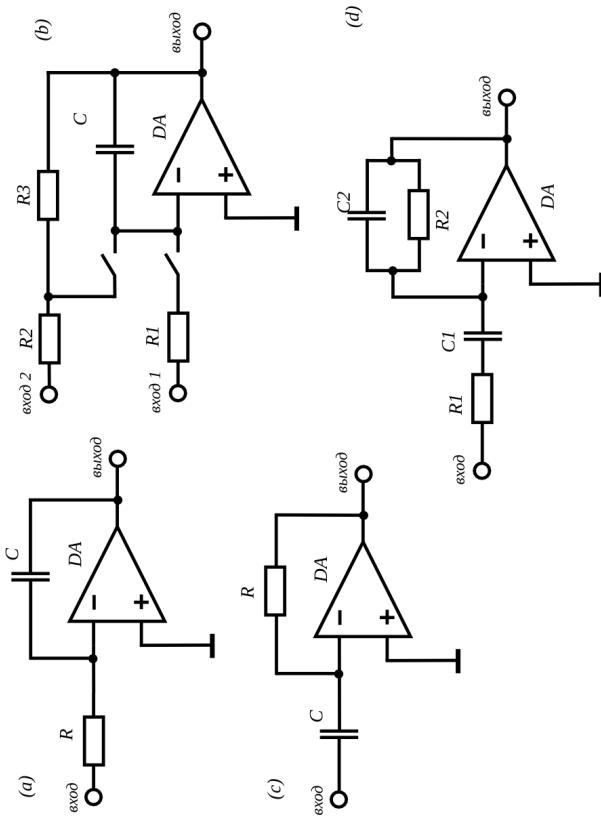


Схема 7.1 Схемы интегрирования (а), (б) и дифференцирования (с), (д) входного сигнала.

卷之三

- | | |
|---|---|
| 1 | В каком режиме должен работать ОУ для правильного функционирования схем интегрирования и дифференцирования? В каких условиях возникает опасность выхода из этого режима для схемы (а)? Для схемы (с)? |
| 2 | Из каких соображений выбирается соотношение величин R3 и C2 в схеме (б)? |
| 3 | Из каких соображений выбирается соотношение величин R2 и C2 в схеме (д)? |
| 4 | Предложите улучшение схем (а)-(д), компенсирующее наличие напряжения сдвигу ОУ. |

Для самок

Схема 3.2	Практическая схема стабилизированного источника напряжения с контролем выходного напряжения и усилением тока.		
	Контрольные вопросы		
1	Каково назначение каскада на транзисторе VT1? Чем определяется его ток коллектора?		
2	По какой схеме включен транзистор VT2? Его назначение?		
3	По какой схеме включен транзистор VT3? Чем определяется его ток при отсутствии внешней нагрузки?		
4	Как предусмотреть в данной схеме защиту от короткого замыкания на выходе?		
			<i>Для заметок</i>

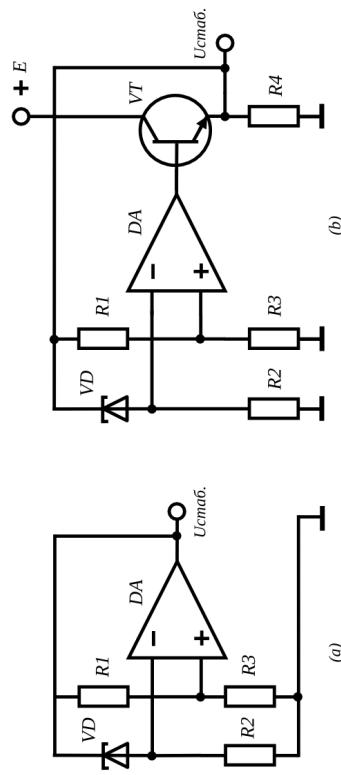


Схема 3.3 Схемы стабилизированных источников напряжения на ОУ
 (а)—базовая схема, сравнивающая опорное и выходное напряжения;
 (б)—улучшенная схема с увеличенным выходным током

Контрольные вопросы и задания

- 1 Каков потенциал в точке соединения стабилитрона и R2 схемы (а)?
 Рассчитайте самостоятельно зависимость выходного напряжения схемы (а) от величины R1.
- 2 Почему сигнал обратной связи в схеме (б) берется с эмиттера транзистора VT, а не с выхода операционного усилителя DA?
- 3 Оцените величину выходного сопротивления схемы (б).

Для заметок

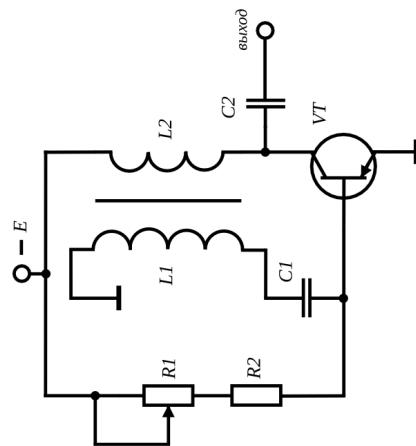


Схема 6.12 Блокинг-генератор.

Контрольные вопросы и задания

- 1 В чем принципиальные отличия схемы блокинг-генератора от LC-генераторов квазигармонических колебаний?
- 2 Чем определяется период генерируемой последовательности импульсов?
- 3 Чем определяется амплитуда генерируемых импульсов?

Для заметок

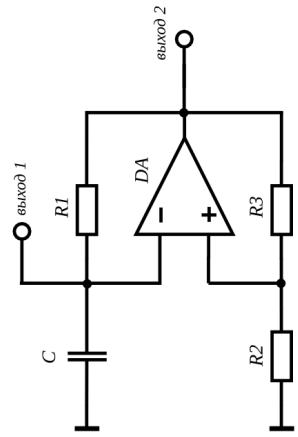


Схема 6.11 Релаксатор на ОУ.

Контрольные вопросы и задания

1 Каков режим работы операционного усилителя в данной схеме?

2 Какими элементами схемы определяется амплитуда генерируемых колебаний на выходе 1?

3 Как рассчитать частоту генерации?

4 Чем определяются практические нижний и верхний пределы частоты генерации?

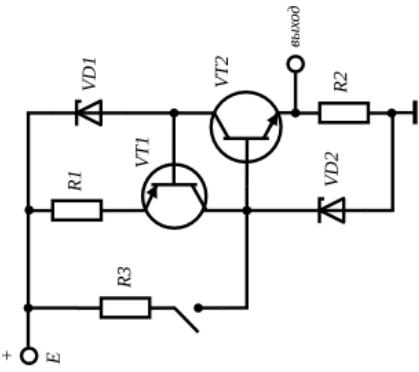
Для заметок

Схема 3.4

Колыцевая схема стабилизатора напряжения на паре комплементарных биполярных транзисторов

Контрольные вопросы и задания

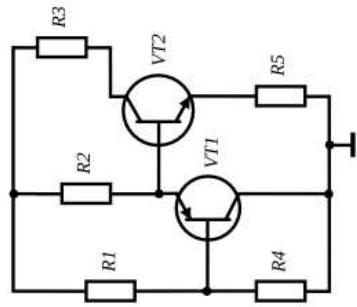
1 Чем определяется коллекторный ток транзисторов VT1 и VT2?

2 Каково назначение цепи, состоящей из резистора R3 и ключа?

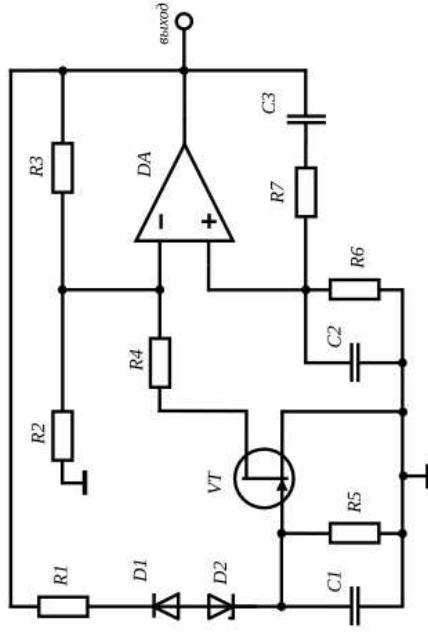
3 Как характеристики работы схемы зависят от степени идентичности параметров транзисторов и резисторов?

4 Предложите способы изменения выходного напряжения данной схемы.

Для заметок



61	Генераторы
----	------------



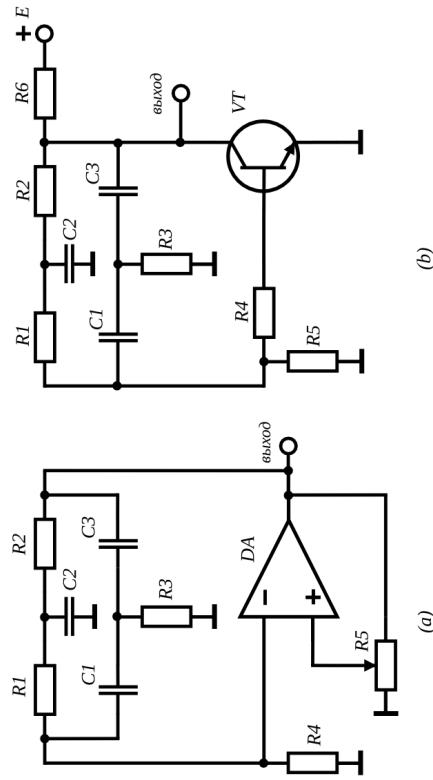
Контрольные вопросы и задания	
1	Как влияет емкость конденсатора С1 на частоту генерации?
2	Объясните роль диода D1 и стабилитрона D2 в данной схеме.
3	На какие параметры работы схемы влияет постоянная времени С1R5?
4	Какую роль выполняет резистор R2?

Для заметок	

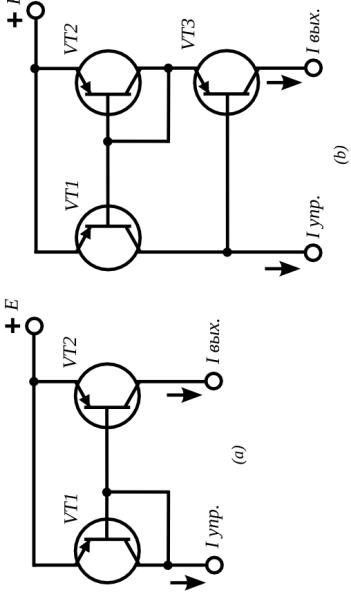
Контрольные вопросы	
1	Что такое эффект Эрли и какое отношение он имеет к работе данной схемы?
2	Чем определяется потенциал на базе транзистора VT2?
3	Как рассчитать ток через резистор R3?
4	Как изменится стабильность данного источника тока, если из схемы исключить R5?

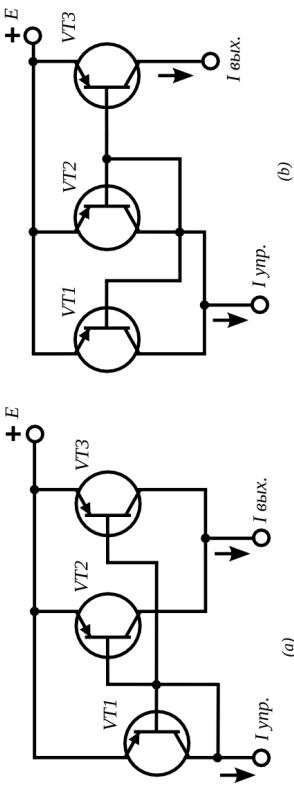
Для заметок	

Генераторы

*Для заметок*

Источники тока и напряжения

*Для заметок*



Контрольные вопросы и задания

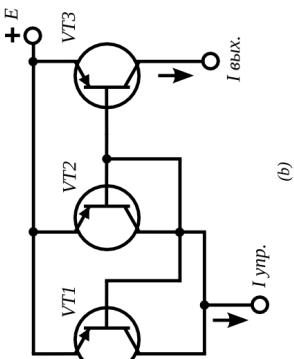
1 Чем определяется число транзисторов, которые можно включить параллельно по схеме (а)?

2 Предложите вариант схемы (а), увеличивающий управляющий ток в 1,5 раза.

3 Как использовать токовое зеркало в качестве нагрузки усилительного каскада?

4 Получите расчетные соотношения для простейшего токового зеркала с использованием закона Эберса-Молла.

Для заметок



Контрольные вопросы и задания

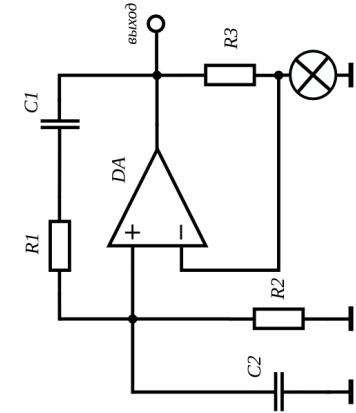
1 Чем определяется число транзисторов, которые можно включить параллельно по схеме (а)?

2 Предложите вариант схемы (а), увеличивающий управляющий ток в 1,5 раза.

3 Как использовать токовое зеркало в качестве нагрузки усилительного каскада?

4 Получите расчетные соотношения для простейшего токового зеркала с использованием закона Эберса-Молла.

Для заметок



Для заметок

Генераторы	59
<i>Для заметок</i>	

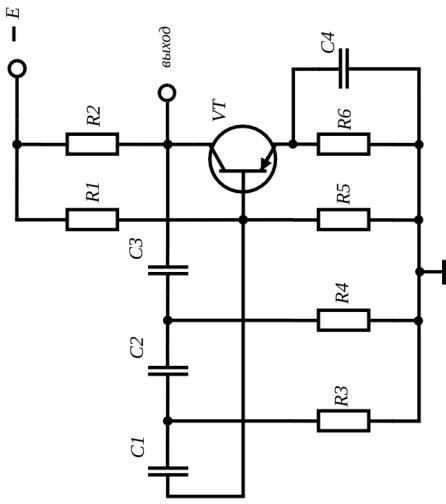


Схема 6.7 | RC-генератор на трехзвенной цепочке.

Контрольные вопросы и задания

- Какие требования к фазовому сдвигу RC-цепочки определяют частоту генерации данной схемы?
- Каков минимальный коэффициент усиления каскада на транзисторе необходим для работы такого генератора? Как он обеспечивается в данной схеме?
- К чему приведет неидентичность R3, R4, R5 и C1, C2, C3?
- Может ли схема работать без конденсатора C4? Если да - при каком условии?

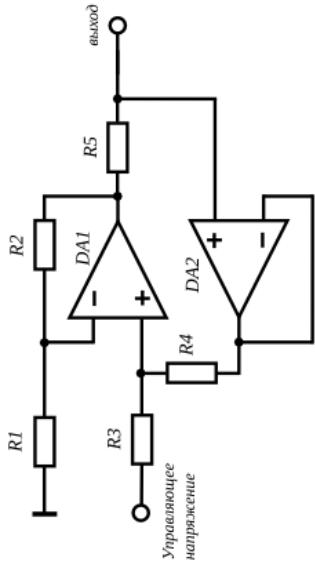
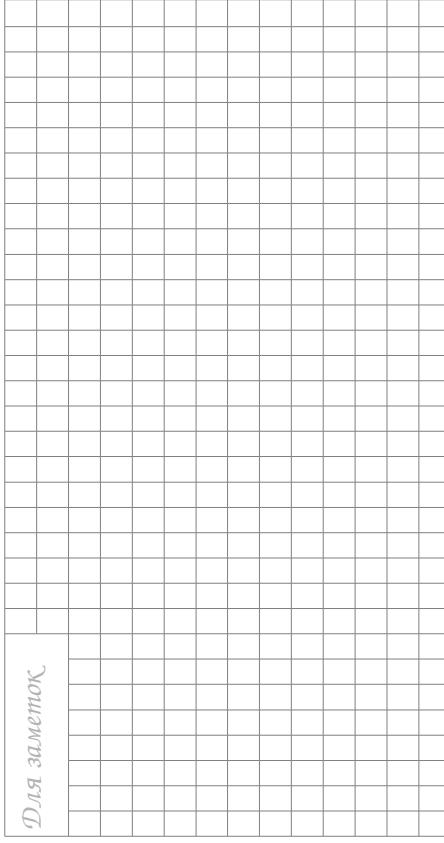
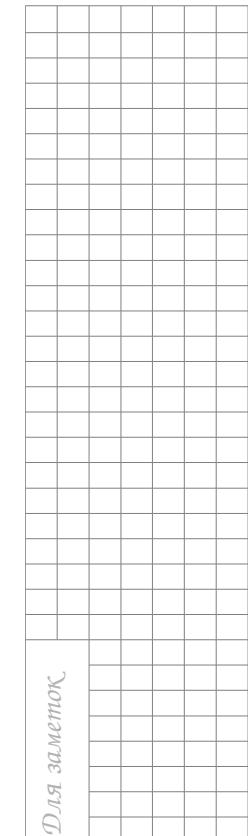
Для заметок

Схема 3.8 | Колыцевая схема источника тока на ОУ

Контрольные вопросы и задания

- По какой схеме включен операционный усилитель DA1?
- Для чего используется сопротивление R5? Какова должна быть его величина?
- Что произойдет, если исключить из схемы сопротивление R4?
- Получите самостоятельно расчетное соотношение для выходного напряжения в зависимости от выходного тока схемы.

Для заметок

РАЗДЕЛ 4
УСИЛИТЕЛИ

Для заметок

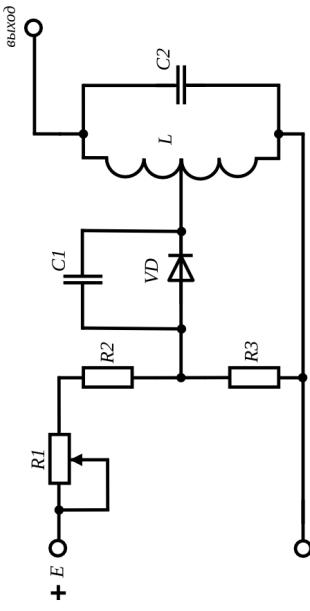
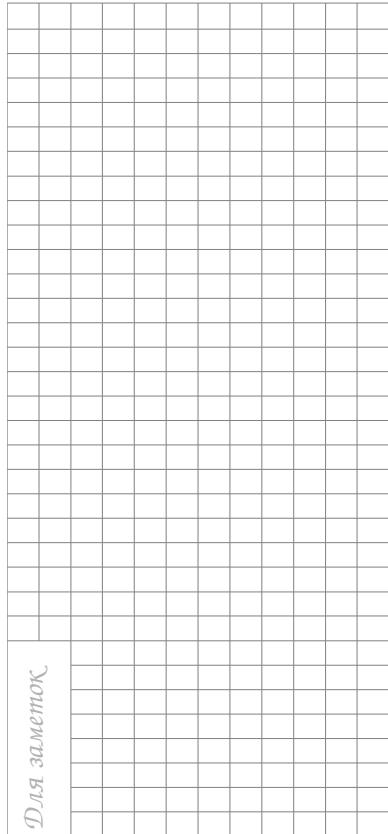
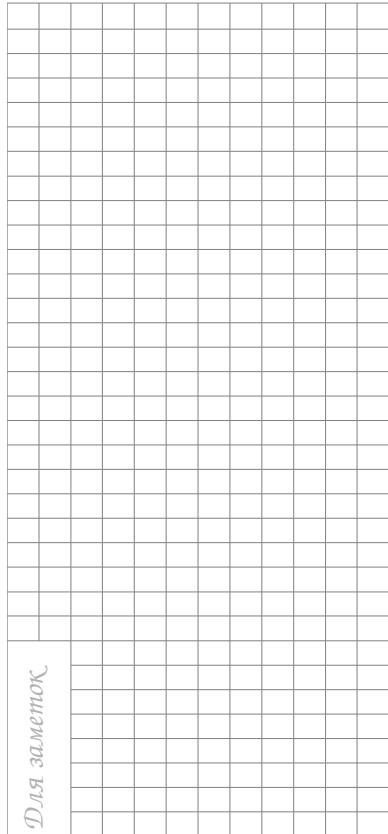
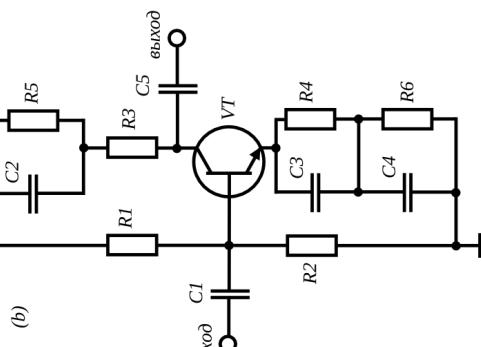
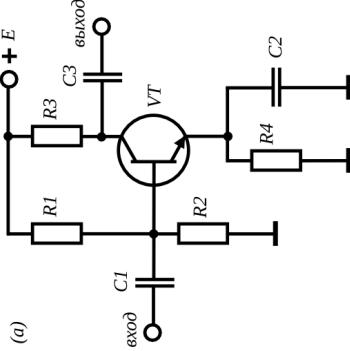
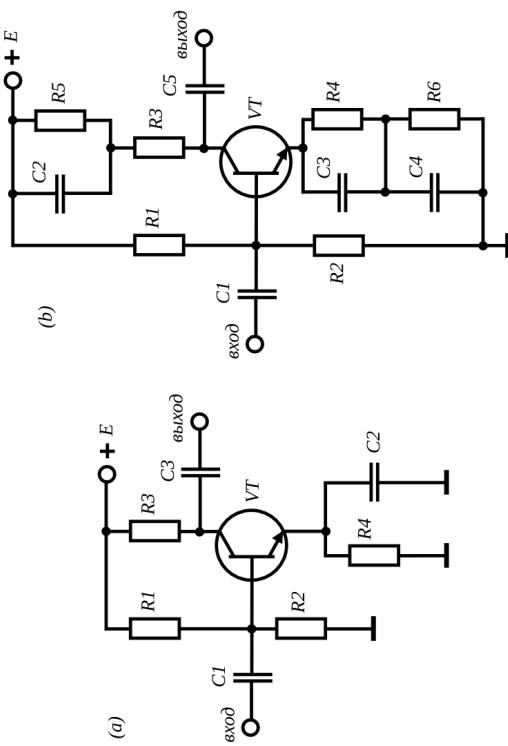
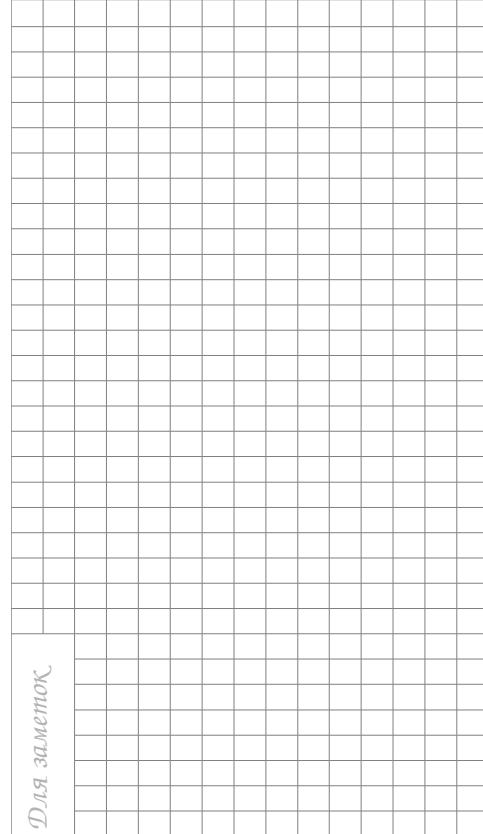


Схема 6.6 | Практическая схема LC-генератора на туннельном диоде.

Контрольные вопросы и задания

- 1 Нарисуйте эквивалентные схемы для постоянного и переменного тока.
- 2 Каковы ограничения на величину сопротивления резистора R3?
- 3 Чем определяется максимальная амплитуда выходного сигнала?
- 4 Что изменяется при перемещении ползунка переменного резистора R1?

Для заметок



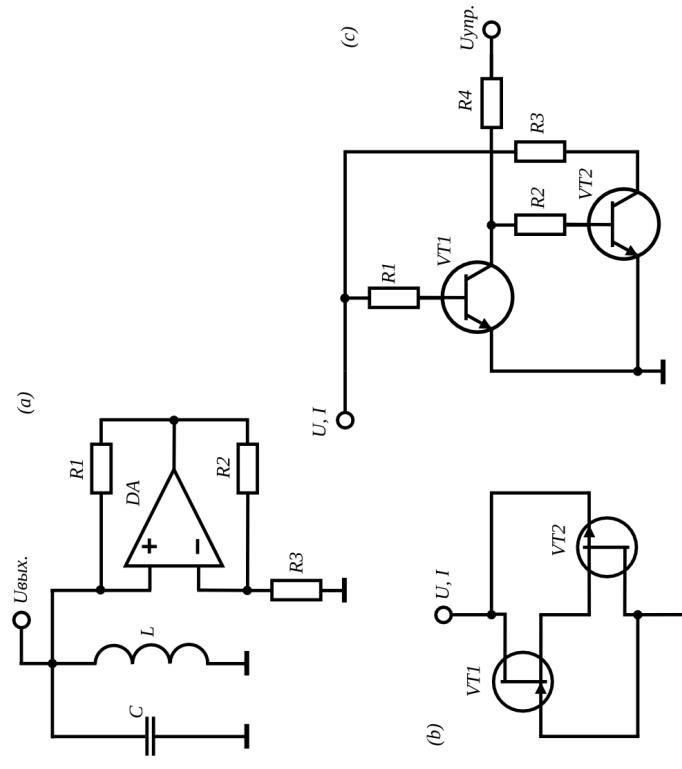
*Для заметок*

Схема 6.5		LC-генератор на коньюнктере отрицательного сопротивления и варианты реализации двухполюсников с N-характеристикой
Контрольные вопросы и задания		
1	Чем определяется максимальная амплитуда генерации схемы (а)?	
2	При каком максимальном омическом сопротивлении обмотки катушки индуктивности возможна автогенерация при условии холостого хода на выходе (сопоставьте с параметрами характеристики конвертера на ОУ)?	
3	Объясните работу ламбда-диода, изображенного на (б).	
4	Нарисуйте и объясните вольтамперную характеристику двухполюсника по схеме (б). Как на нее влияет изменение управляющего напряжения?	

Схема 4.1 (слева)	Усилительные каскады с общим эмиттером
(а)—базовая схема каскада усиления переменного тока по схеме с общим эмиттером;	
(б)—схема каскада с цепями коррекции усиления со стороны эмиттера и коллектора.	
Контрольные вопросы	
1	Какую роль играют конденсаторы С1 и С3 в схеме (а)?
2	Каково назначение цепочки R4, С2?
3	Чем определяется амплитудно-частотная характеристика схемы (б) в области низких частот?
4	Чем определяется амплитудно-частотная характеристика схемы (б) в области высоких частот?

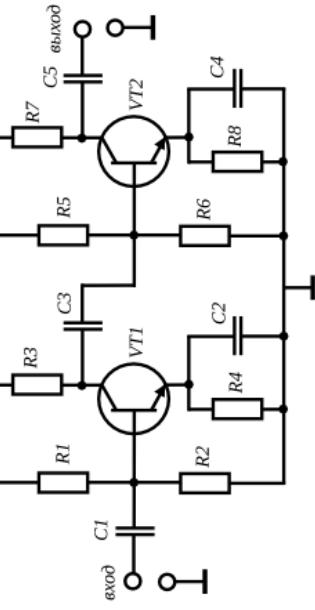


Схема 4.2 Схема двухкаскадного усилителя по схеме с общим эмиттером

Контрольные вопросы

- 1 Каково назначение конденсатора С3 в схеме?
- 2 Каков общий коэффициент усиления схемы на высоких частотах?
- 3 Какой выбрать емкость конденсаторов С2 и С4, если усилитель должен работать на частоте 1МГц? Считать, что R4 и R8 имеют сопротивление 1кОм.
- 4 Определите максимальную амплитуду входного сигнала при напряжении питания 15В, R3=R7=15кОм, R4=0.5кОм, R8=2кОм, С2=С4=10пФ, а частота сигнала равна 1МГц.

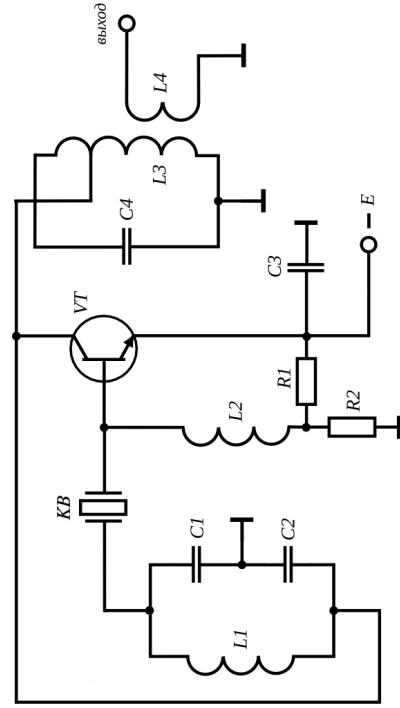
Для заметок

Схема 6.4 LC-генератор с кварцевым резонатором.

Контрольные вопросы и задания

- 1 Нарисуйте и объясните эквивалентную схему кварцевого резонатора.
- 2 Каким образом в данной схеме создается положительная обратная связь?
- 3 Каково назначение катушки индуктивности L2?
- 4 Как соотносятся резонансные частоты контуров (L1, С1, С2) и (L3, С4)?

Для заметок

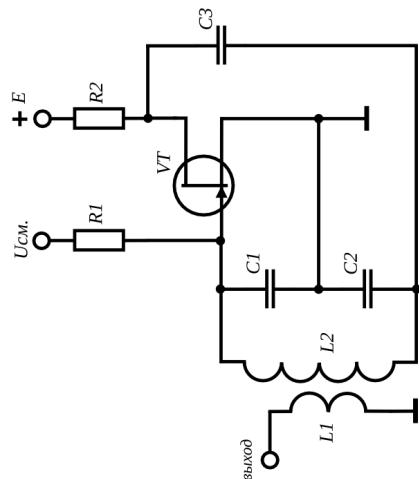


Схема 6.3 LC-генератор по схеме Колпитца

Контрольные вопросы и задания

- 1 Как в данной схеме организована цепь положительной обратной связи? Какие элементы в нее входят? Как классифицируют такие схемы генераторов?
- 2 Возможно ли в данной схеме заменить полевой транзистор на биполярный? Что при этом изменится?
- 3 Каким образом изменение $U_{C.m.}$ влияет на форму генерируемого сигнала?

Для заметок

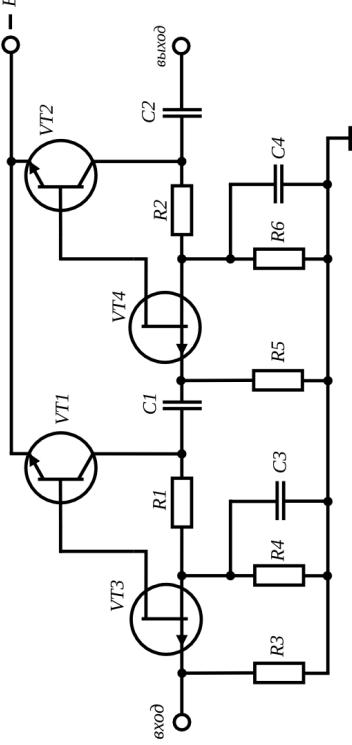


Схема 4.3 Схема двухкаскадного усилителя на составных парах транзисторов

Контрольные вопросы и задания

- 1 Каково включение биполярных транзисторов в схеме (ОБ, ОЭ, ОК)? А полевых?
- 2 Каково назначение резисторов R_1 и R_2 ?
- 3 Какую функцию выполняют конденсаторы C_3 и C_4 ?
- 4 Охарактеризуйте преимущество такой схемы усилителя перед традиционной.

Для заметок

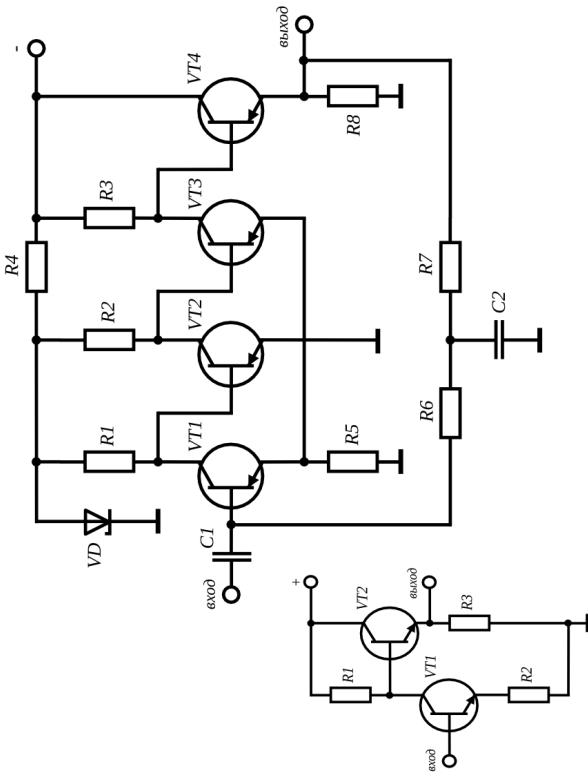


Схема 4.4 Четырехкаскадный усилитель с гальванической связью транзисторов и дополнительными цепями обратной связи. Слева внизу: к вопросу о гальванической межкаскадной связи.

Контрольные вопросы и задания

- Чем определяется рабочая точка транзистора при гальванической связи каскадов?
- Каков смысл соединения эмиттеров VT3 и VT1?
- Какую функцию выполняют резистор R4 и стабилизатор VD?
- Каково влияние на характеристики усилителя цепи R6, R7, C2?

Для заметок

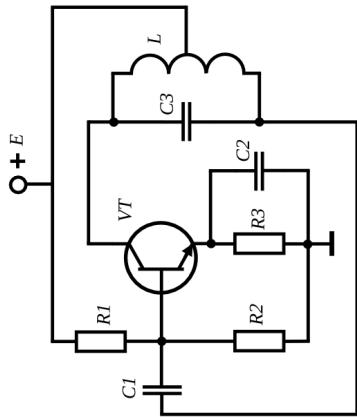


Схема 6.2 LC-генератор квазигармонических колебаний.

Контрольные вопросы и задания

- К какой разновидности трехточечных схем относится данный генератор? В чем отличие данной схемы от предыдущей? Чем гарантируется наличие положительной обратной связи?
- Каково назначение конденсатора C1? Из каких соображений выбрать его емкость?
- Оцените величину постоянной составляющей тока транзистора при разрыве в цепи C1.
- Возможно ли удалить из схемы конденсатор C2? К чему это приведет?

Для заметок

РАЗДЕЛ 6 ГЕНЕРАТОРЫ

Для заметок

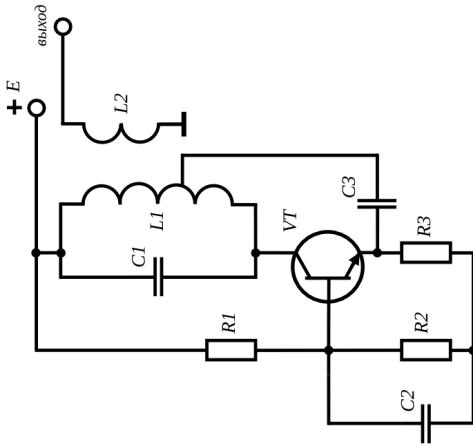


Схема 6.1 Генератор по схеме Харли.

Контрольные вопросы и задания

- 1 К какой разновидности трехточечных схем относится данный генератор?
- 2 Какой из трех конденсаторов удобней использовать для управления частотой генератора?
- 3 Каково назначение C2?
- 4 Каково типичное соотношение числа витков L1 и L2? Почему?

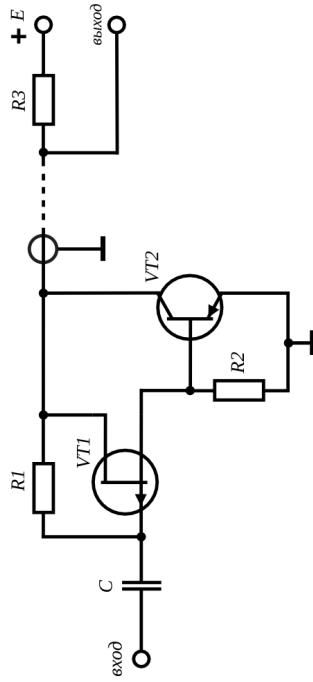


Схема 4.5 Микрофонный усилитель с передачей сигнала и напряжения питания по одному экранированному проводу.

Контрольные вопросы и задания

- 1 Каковы типичные характеристики электретных и пьезоэлектрических микрофонов?
- 2 Рассчитайте коэффициент усиления схемы, пренебрегая влиянием С на входе.
- 3 Оцените выходное сопротивление такого усилителя.
- 4 Из каких сображений выбираются R1 и R2?

Для заметок

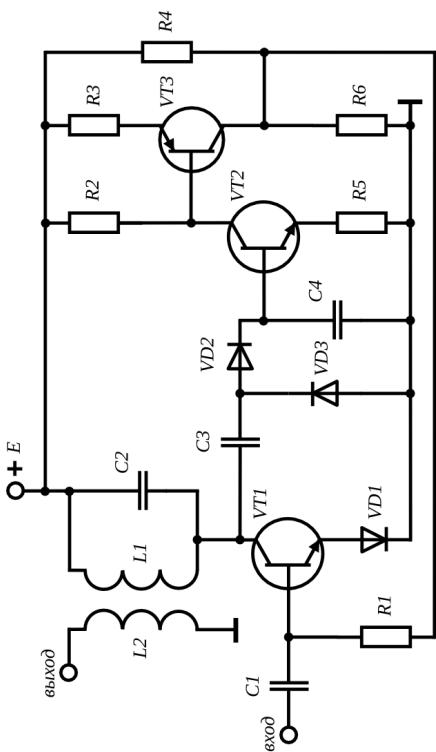


Схема 4.6 Усилитель радиочастотного диапазона с автоматической регулировкой усиления

Контрольные вопросы и задания

- По какой схеме включен VT1? Каково назначение диода VD1 в цепи эмиттера?
- Какова форма и чем определяется величина сигнала на базе VT2?
- Каков характер обратной связи, задаваемой цепью R4, R6, R1?
- Охарактеризуйте работу такого усилителя в условиях перепадов амплитуды входного сигнала.

Для заметок

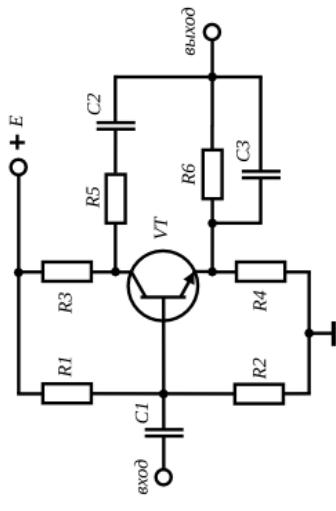


Схема 5.5 Фильтрующий каскад на биполярном транзисторе.

Контрольные вопросы и задания

- Как различаются фазы сигнала на эмиттере и коллекторе транзистора?
- Получите расчетное соотношение, приближенно поисключающее работу данной схемы.

Для заметок

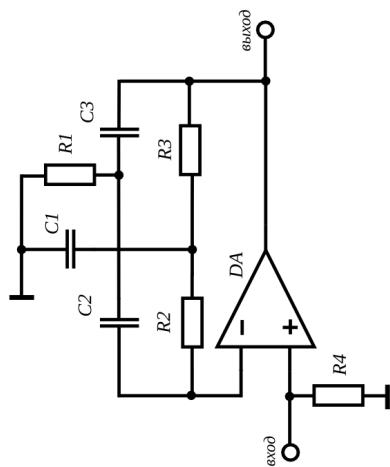


Схема 5.4 Активный фильтрна ОУ и двойном Г-мосте.

Контрольные вопросы и задания

- Объясните принцип работы фильтра "двойной Г-мост".
- Получите расчетное соотношения для частоты, соответствующей минимуму пропускания Г-моста.
- Как гарантировать активный режим работы ОУ на частоте, соответствующей максимальному коэффициенту усиления? Предложите меры, улучшающие данную схему.

Для заметок

Схема 4.7 Двухкаскадный усилитель с управляемым коэффициентом усиления
Контрольные вопросы и задания
1 Какую роль играют колебательные контура L1, C2 и L2, C3?
2 Какова схема включения VT1 и VT4? Какие свойства полевых транзисторов здесь используются?
3 Из каких соображений выбрать величину сопротивления резисторов R2 и R5?
4 Какие дополнительные цепи на выходе могли бы улучшить данную схему?
Для заметок

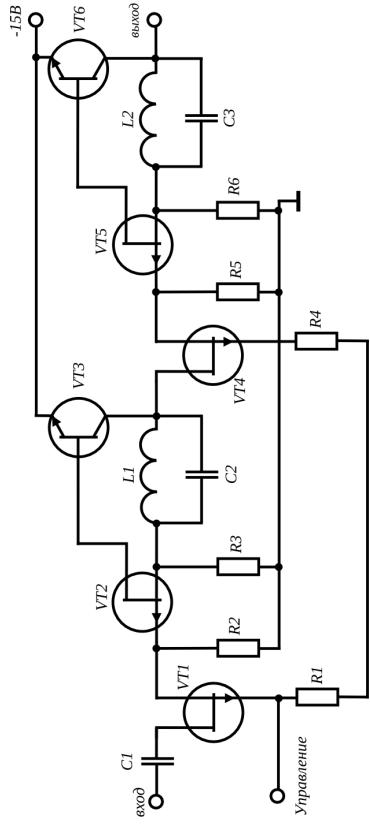


Схема 4.7 Двухкаскадный усилитель с управляемым коэффициентом усиления	
Контрольные вопросы и задания	
1 Какую роль играют колебательные контура L1, C2 и L2, C3?	
2 Какова схема включения VT1 и VT4? Какие свойства полевых транзисторов здесь используются?	
3 Из каких соображений выбрать величину сопротивления резисторов R2 и R5?	
4 Какие дополнительные цепи на выходе могли бы улучшить данную схему?	
Для заметок	

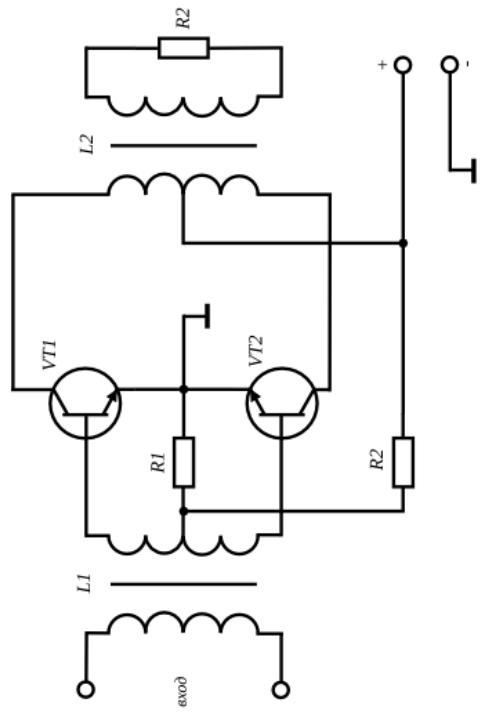


Схема 4.8 | Двухтактный выходной каскад с трансформаторными связями

Контрольные вопросы и задания

- 1 В чём различие режимов А, В, С усилительных каскадов?
- 2 Каковы причины использования двухтактных выходных каскадов в усилителях?
- 3 По какой схеме включены VT1 и VT2?
- 4 Что происходит с четными гармониками сигнала, возникающими при его усилении транзисторами VT1 и VT2?

Для заметок

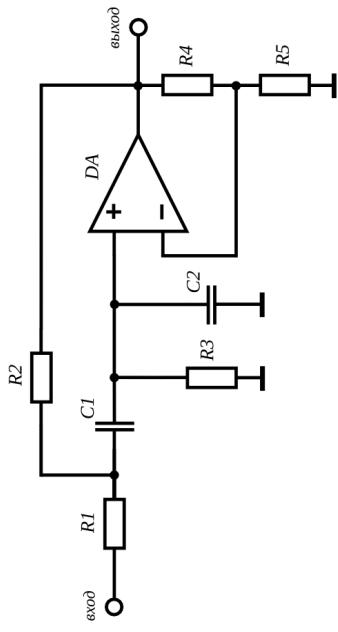
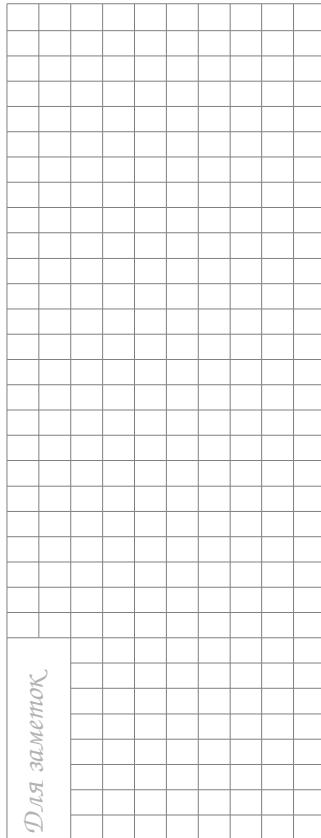
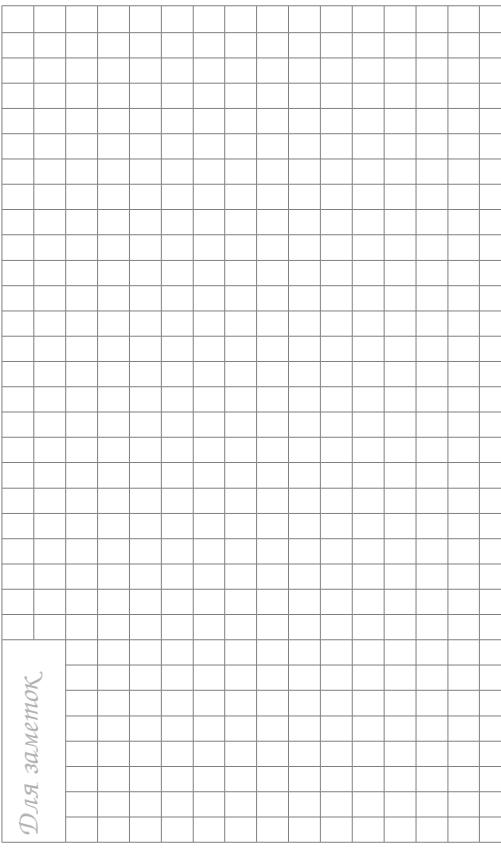


Схема 5.3 | Полосовой УИН-фильтр.

Контрольные вопросы и задания

- 1 Получите расчетное соотношение для модуля коэффициента передачи такого фильтра в предположении $R_4=R_5$.
- 2 Предложите аналог данной схемы с использованием полевых и биполярных транзисторов.

Для заметок



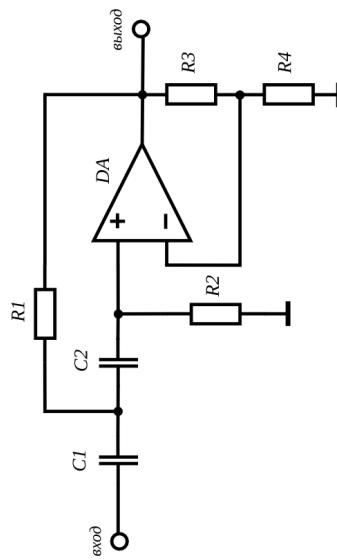


Схема 5.2 УИН-фильтр верхних частот.

Контрольные вопросы и задания

- 1 Рассчитайте частоту среза фильтра для $C_1=C_2=0.1\text{мкФ}$ и $R_1=R_2=100\text{ Ом}$.
- 2 Чем на практике определяется максимальная частота сигнала, пропускаемого данной схемой?

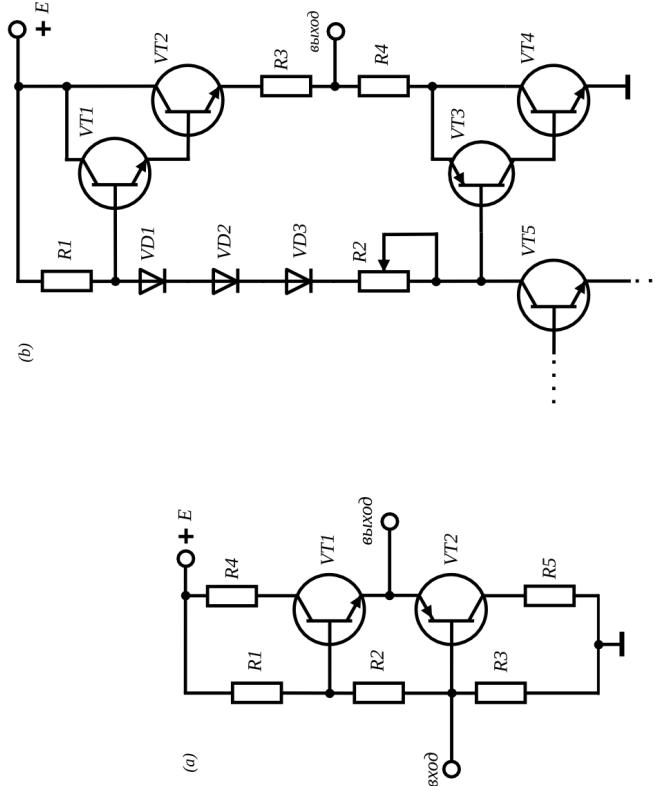


Схема 4.9

Бестрансформаторные выходные каскады.

(a) – упрощенная схема выходного каскада на комплиментарных транзисторах;

(b) – практическая схема на составных транзисторах с коррекцией искажений типа "ступенька".

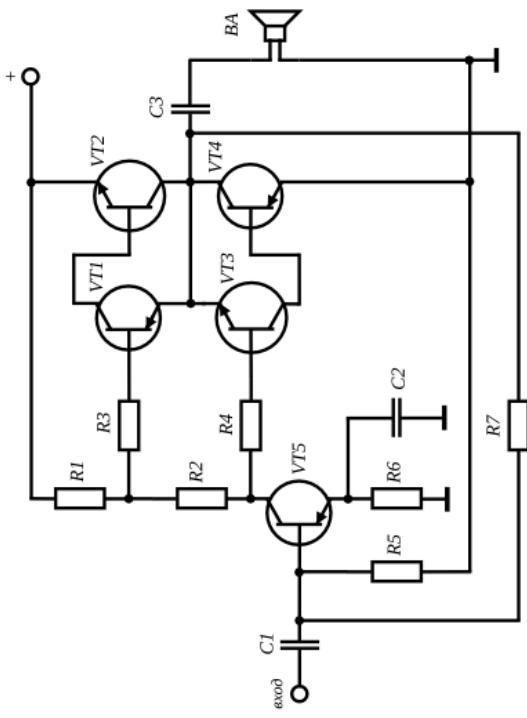
Контрольные вопросы и задания

1 По какой схеме (ОБ, ОЭ, ОК) включен каждый транзистор в схеме (a)?

2 По какой причине возникают искажения типа "ступенька"?

3 Каково назначение цепи VD1-VD3,R2 в схеме (b)? Почему диодов три?

4 Каково назначение резисторов R3 и R4 в схеме (b)?



РАЗДЕЛ 5 ФИЛЬТРЫ

