



**ВОЕННАЯ АКАДЕМИЯ ВОЗДУШНО-КОСМИЧЕСКОЙ ОБОРОНЫ
имени МАРШАЛА СОВЕТСКОГО СОЮЗА Г.К. ЖУКОВА
Кафедра основ построения радиоэлектронных средств и систем**

ДС-1320

«Схемотехника аналоговых электронных устройств»

Тверь
2018



На предыдущей лекции №11

«Методики измерения и оценки параметров АЭУ образцов радиотехнических систем»

Были рассмотрены:

1. Методики измерения параметров аналоговых электронных устройств.
2. Методики измерения характеристик аналоговых электронных устройств.

Структура дисциплины в 4 семестре обучения

Номера и наименование разделов и тем	Всего часов учебных занятий	В том числе учебных занятий с преподавателем	Из них по видам учебных занятий												Время, отводимое на самостоятельную работу
			лекции	семинары	лабораторные работы	практические занятия	групповые упражнения	групповые занятия	тактические ТСУ	КШУ, военные, игры	контрольные работы	курсовые работы (проекты, зачеты)	самостоятельная работа под руководством преподавателя	экзамен, зачеты	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
4 семестр															
Введение (в рамках темы 1)															
Тема 1. Общие сведения об аналоговых электронных устройствах	16	12	8			4									4
Тема 2. Схемотехника резисторных усилительных каскадов образцов радиотехнических систем	47	34	16		4	14									13
Тема 3. Операционные усилители	9	6	2		2	2									3
Тема 4. Схемотехника линейных и нелинейных аналоговых преобразователей	18	12	6		2	4									6
Заключение (в рамках темы 4)															
Зачет с оценкой	18	6												6	12
Итого за 4 семестр	108	70	32		8	24								6	38
Всего по дисциплине	108	70	32		8	24								6	38

Всего на дисциплину учебным планом отводится 3 зачетные единицы

Содержание темы 2 «Схемотехника резисторных усилительных каскадов образцов радиотехнических систем»

Вид занятия	Время	Тема занятия
Лекция № 5	2	Схемотехника резисторных усилительных каскадов ОЭ, ОБ, ОИ образцов РТС
Пр. занятие №3	2	Расчет и анализ параметров усилительных каскадов ОЭ, ОБ, ОИ образцов РТС
Лекция № 6	2	Схемотехника повторителей напряжения каскадов образцов РТС
Пр. занятие № 4	2	Расчет и анализ параметров повторителей напряжения образцов РТС
Лаб. работа № 1	2	Экспериментальное исследование каскада предварительного усиления на биполярном транзисторе
Лекция № 7	2	Методики расчета и оценки основных параметров АЭУ
Пр. занятие №5	2	Расчет и анализ параметров усилительных каскадов образцов РТС в разных частотных областях
Лекция № 8	2	Частотная коррекция усилителей образцов РТС
Пр. занятие №6	2	Расчет и анализ параметров каскадов усиления с коррекцией образцов РТС
Лекция № 9	2	Каскады усиления постоянного тока и многокаскадные усилители образцов РТС
Пр. занятие №7		Расчет и анализ параметров УПТ и многокаскадных усилителей образцов РТС
Лекция № 10		Базовые схемные конфигурации аналоговых интегральных схем образцов РТС
Пр. занятие №8		Расчет и анализ параметров базовых схемных конфигураций аналоговых интегральных схем образцов РТС
Лаб. работа № 2		Экспериментальное исследование и измерение параметров многокаскадного усилителя
Лекция №11		Методики измерения и оценки параметров АЭУ образцов РТС
Лекция №12		Схемотехника оконечных каскадов образцов РТС
Пр. занятие № 9		Расчет и анализ параметров оконечных каскадов образцов РТС

Тема №2

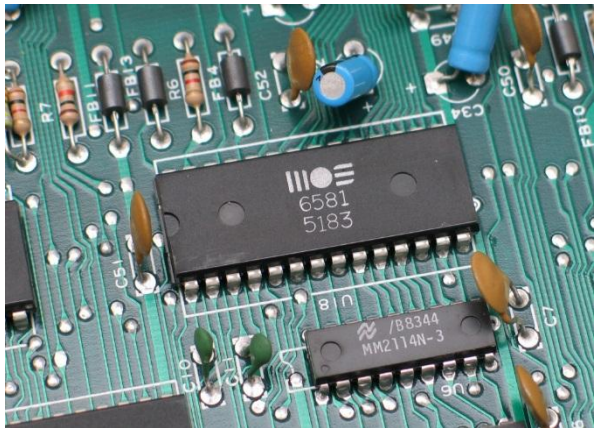
Схемотехника резисторных усилительных каскадов образцов радиотехнических систем

Лекция №12:

«Схемотехника оконечных каскадов образцов радиотехнических систем»



ДС - 1314
«Электроника»



ДС - 1313
«Радиоматериалы и
радиокомпоненты»

ДС - 1320
Тема № 2

ДС - 1315
«Основы теории
цепей»



- ОК и ТП РЭС;
- УГ и ФС;
- УП и ОС;
- УП № 3.



Объекты профессиональной деятельности»



Оконечные каскады РЛС Гамма -ДЕ



Внешний вид АФАР РЛС РЛС 67Н6Е

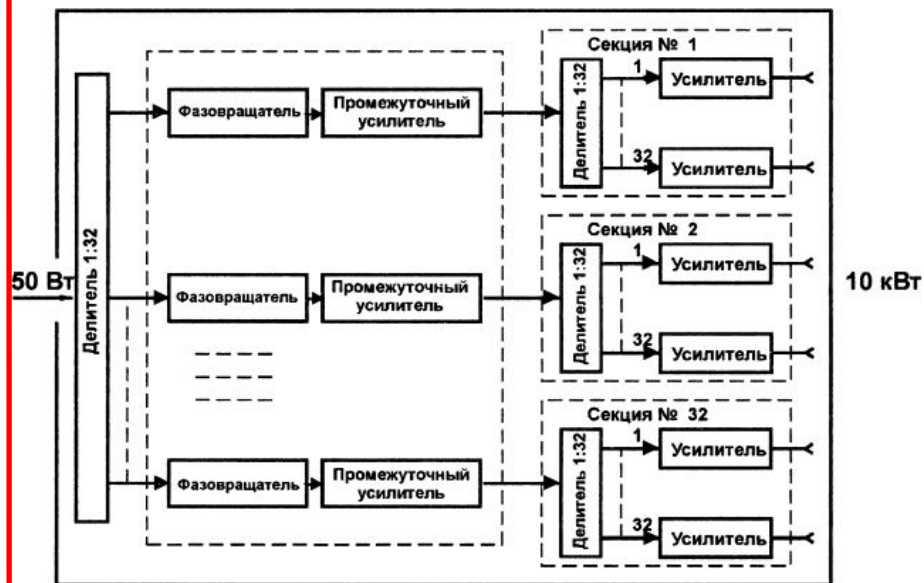
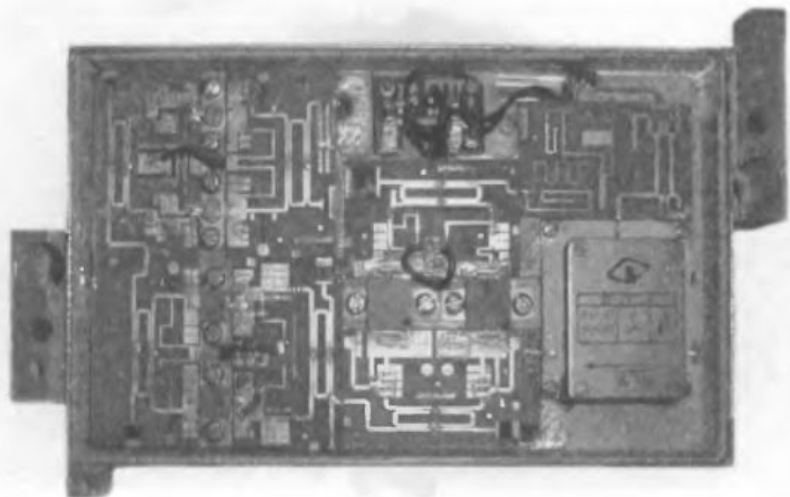


Схема АФАР РЛС 67Н6Е



Общий вид усилителя мощности АФАР РЛС РЛС 67Н6Е

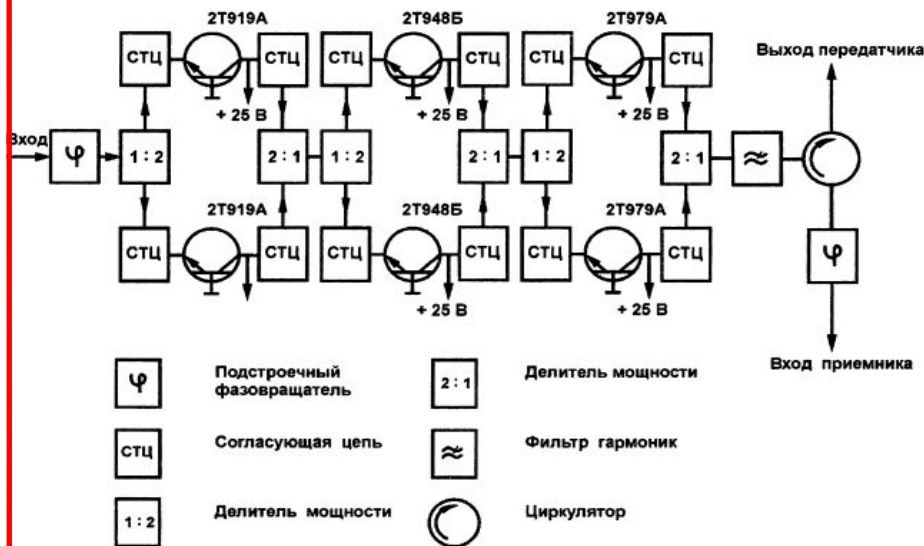


Схема усилителя мощности АФАР РЛС РЛС 67Н6Е

Формируемые компетенции:

- ◆ способностью учитывать в профессиональной деятельности современные тенденции развития электроники (**ОПК-7**);
- ◆ способностью собирать, обрабатывать, анализировать и систематизировать научно-техническую информацию в сфере профессиональной деятельности, использовать достижения отечественной и зарубежной науки, техники и технологии (**ОПК-9**);
- ◆ способностью проводить сбор, обработку, анализ, систематизацию научно-технической информации, анализировать отечественный, зарубежный опыт в сфере профессиональной деятельности (**ПК-11**).

В результате обучения по дисциплине курсант должен:

а) в соответствии с требованиями ПООП

ЗНАТЬ:

- ◆ **основы схемотехники аналоговых электронных устройств;**

Цель лекции:

- ❖ *дать режимы работы и параметры оконечных каскадов;*
- ❖ *раскрыть типовые схемы и принцип функционирования оконечных каскадов.*

Учебные вопросы

1. Режимы работы и основные параметры оконечных каскадов.
2. Типовые схемы и принцип функционирования однотактных и двухтактных оконечных каскадов.

Литература

Основная

Павлов В.Н. Ногин В.Н. Схемотехника аналоговых электронных устройств. Учебник для ВУЗов М: Горячая линия – Телеком, 2001 с. 138-151 (**Л.1/о**)

Хаперский А.В. Схемотехника аналоговых электронных устройств. Учебное пособие. [Электронный ресурс]. Учебное пособие. Тверь: ВА ВКО, 2016. URL:<http://ibook.academy.org/#> **Эл.2/о.**
м.1.4.1, м.1.4.2.

Дополнительная

Опадчий Ю.Ф., Глудкин О.П., Гуров А.И. Аналоговая и цифровая электроника. (Полный курс). Учебник для ВУЗов. М: Горячая линия -Телеком 2000, 262-275,297-299. (**Л.1/д**)



Вы здесь: Главная

Академия ▾ Форум Фотоальбом Наука ▾ Документы ▾ Видео Новости Подразделения ▾ ВП ТГ **i-Book** ЭИОС

Новости кафедр

- ▶ Международная военно-научная конференция 2-3 марта 2017
- ▶ 8 марта 2017 (торжественное собрание)
- ▶ Видео репортаж программа "Часовой" в честь юбилея академии 60 лет
- ▶ 60 лет ВА ВКО (торжественные мероприятия)
- ▶ День защитника отечества - прохождение торжественным маршем 23.02.2017
- ▶ День защитника отечества - поздравление губернатора 22.02.2017
- ▶ День защитника отечества (торжественное собрание 20.02.2017)
- ▶ День открытых дверей 18 февраля 2017
- ▶ Вестник изобретателя и рационализатора №15

Академия

1 марта 2017 года Военная академия воздушно-космической обороны имени Маршала Советского Союза Г.К. Жукова отмечает свое шестидесятилетие.

Комплекс зданий, в которых размещена академия, неразрывно связан с историей не только города Твери, но и с историей подготовки защитников нашего Отечества.



В 1865 году именно на этом месте было развернуто Тверское кавалерийское училище, готовившее офицеров, главным образом для частей армейской кавалерии, действовавших в составе в первую очередь Кавказской армии и в частности Тверского драгунского полка. Около трети выпускников учебных заведений, поступавших в то время в кавалерийские полки, получали военное образование именно в Твери. Кроме армейской кавалерии выпускники направлялись также в иррегулярные (конные и казачьи) полки, Отдельный корпус пограничной стражи, подпоручиками в пехоту и артиллерию.

После революции в здании училища и на его средства 9 февраля 1918 года открываются 1-е Тверские советские кавалерийские командные инструкторские курсы РККА, курсанты которых неоднократно принимали участие в самых ответственных сражениях Гражданской войны. В 1921 году Курсы преобразованы в 4-ю кавалерийскую бригаду. А Тверское училище



Задать вопрос

Е.Н., Ясенков Т.В.

21

Просмотров **51**

Автор: Жидков Е.Н., Колпин Р.В.

Дисциплина: ДС-1310

Просмотров **29**

Автор: Червакова У.А., Жаров С.Ю.

Дисциплина: ДС-135

Просмотров **329**

практика "Радиомонтажная"

в Л.А.

Просмотров **38**

Устройства СВЧ и антенны

Автор: Бакулин М.С., Филонов А.А.

Дисциплина: ДС-1322

Просмотров **123**

Устройства приема и обработки сигналов

Автор: Макаревский П.А.

Дисциплина: ДС-1325

Просмотров **133**

ирования и формирования сигналов

ский П.А.

26

Просмотров **260**

Теория получения и обработки радиолокационной информации

Автор: Бакулин М.С.

Дисциплина: ДС-1311

Просмотров **68**

Схемотехника аналоговых электронных устройств

Автор: Хапёрский А.В.

Дисциплина: ДС-1320

Просмотров **35**

Спецглавы физики

С.Г.

6

Просмотров **260**

Спецглавы математики

Автор: Пластинина Е.В.

Дисциплина: ДС-1312

Система вооружения и военной техники

Автор: Мелихов Ю.Н.

Дисциплина: ДМ-130

Схемотехника аналоговых электронных устройств

Автор: Хапёрский А.В.

Количество просмотров: 35

1. ОСНОВЫ СХЕМОТЕХНИКИ АНАЛОГОВЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

• 1.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ АНАЛОГОВЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВАХ

- 1.1.1. Введение. Общие сведения об электронных усилителях
- 1.1.2. Основные параметры и характеристики аналоговых электронных устройств
- 1.1.3. Использование обратных связей в аналоговых электронных устройствах

• 1.2. КАСКАДЫ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО УСИЛЕНИЯ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

- 1.2.1. Каскады предварительного усиления, включенные по схеме с общим эмиттером
- 1.2.2. Каскады предварительного усиления на полевых транзисторах
- 1.2.3. Каскады предварительного усиления, включенные по схемам с общей базой
- 1.2.4. Повторители напряжения
- 1.2.5. Характеристики и параметры каскадов предварительного усиления в разных частотных областях
- 1.2.6. Частотная коррекция усилителей

• 1.3. КАСКАДЫ УСИЛЕНИЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА

- 1.3.1. Каскады усиления постоянного тока на дискретных элементах
- 1.3.2. Базовые схемные конфигурации аналоговых интегральных схем

• 1.4. ОКОНЕЧНЫЕ КАСКАДЫ

- 1.4.1. Однотактные оконечные каскады
- 1.4.2. Двухтактные оконечные каскады

2. АНАЛОГОВЫЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА НА ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМАХ

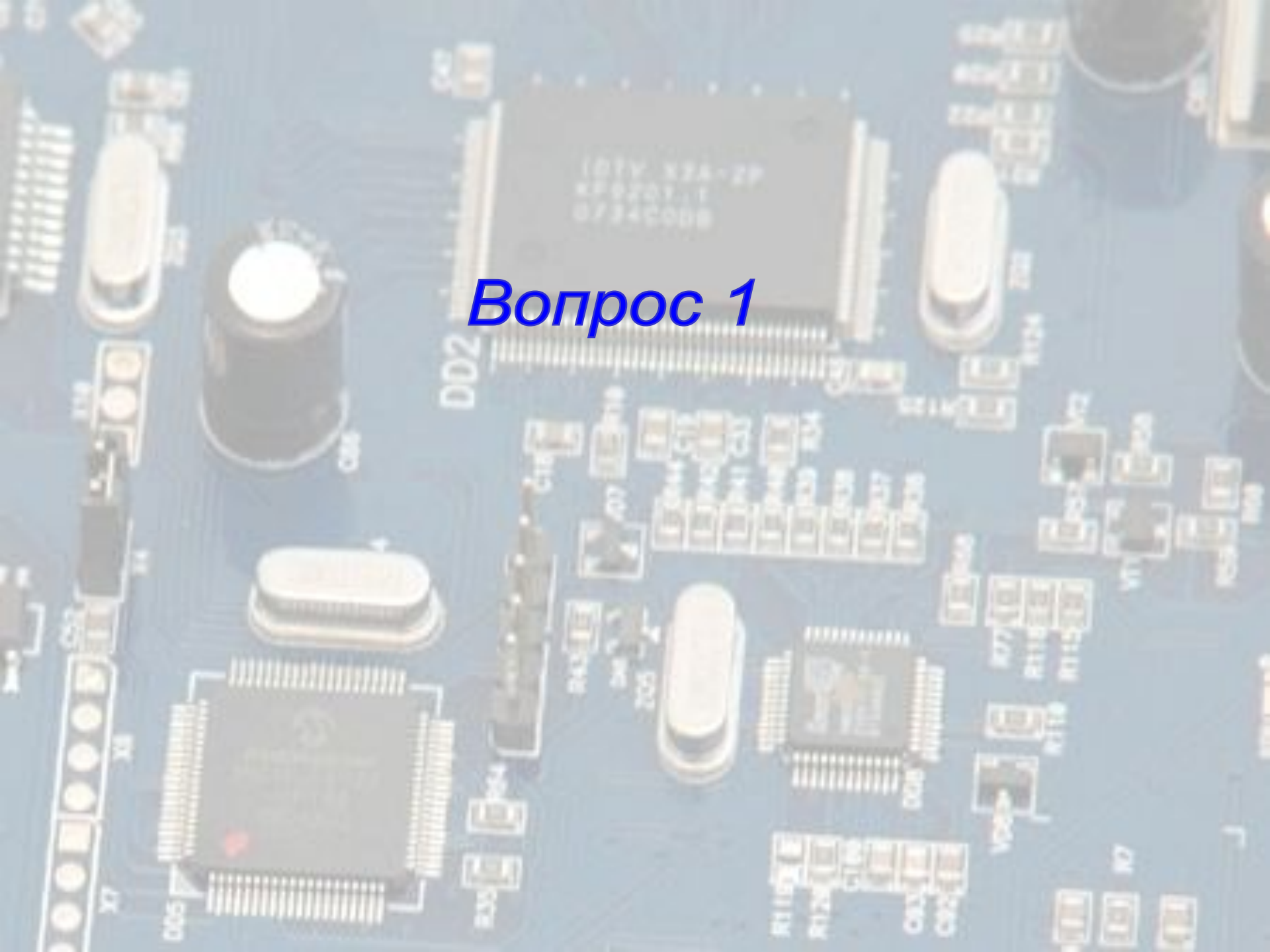
• 2.1. МНОГОКАСКАДНЫЕ УСИЛИТЕЛИ

- 2.1.1. Организация связи каскадов в многокаскадных усилителях.
- 2.1.2. Операционные усилители и их базовые схемные конфигурации
- 2.1.3. Применение операционных усилителей в устройствах линейного и нелинейного функционального преобразования сигналов



*Проверка готовности
курсантов к занятию*

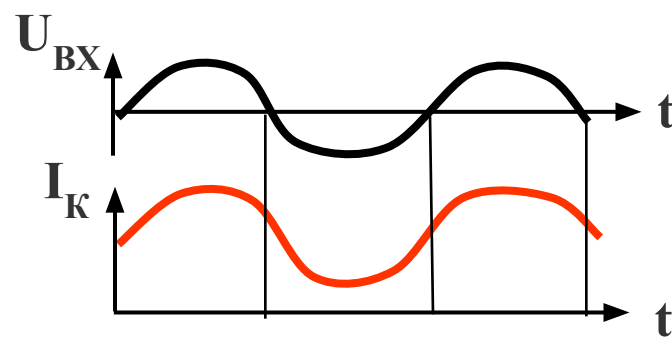
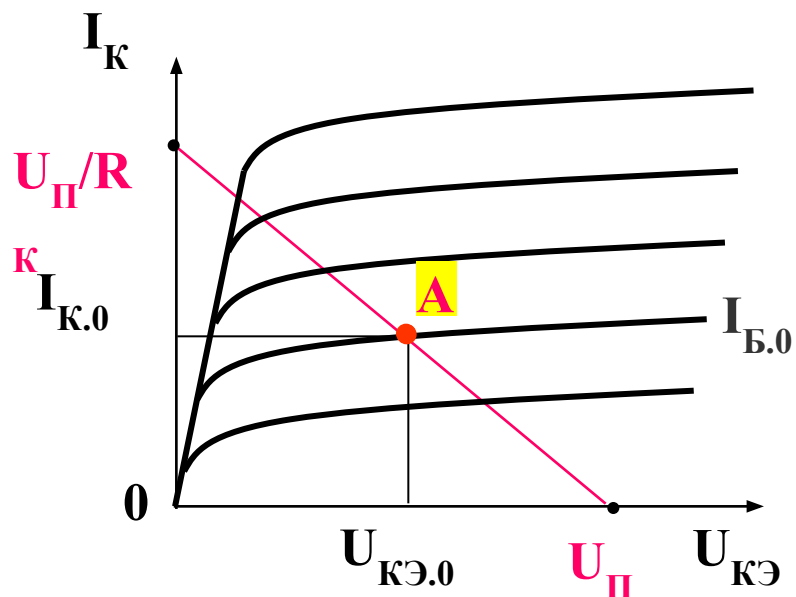
Вопрос 1



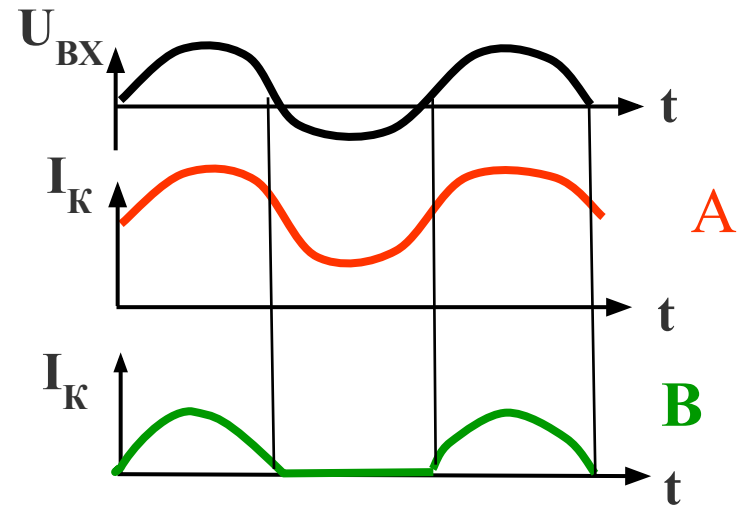
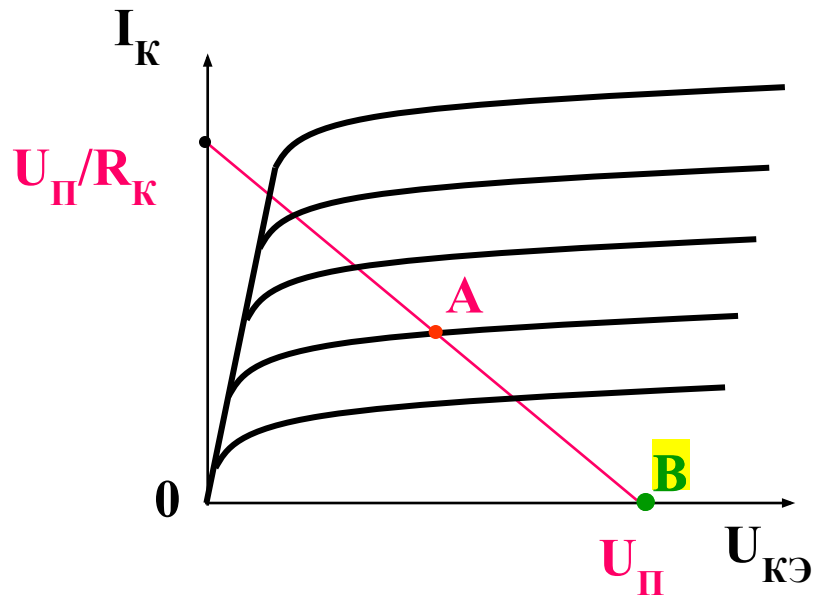
Оконечный каскад (ОК) -это усилитель, который обеспечивает необходимую мощность выходного колебания на нагрузке усилителя.

Основными режимами работы окончных каскадов являются режимы **А**, **В** и **АВ**.

В **режиме А** исходное положение рабочей точки выбирают на середине рабочего участка линии нагрузки (**точка А**),
Особенность режима: усилит. элемент не входит в режимы отсечки и ограничения.



В режиме **В** положение **Р.Т.** выбирают на границе режима отсечки (точка **В**).

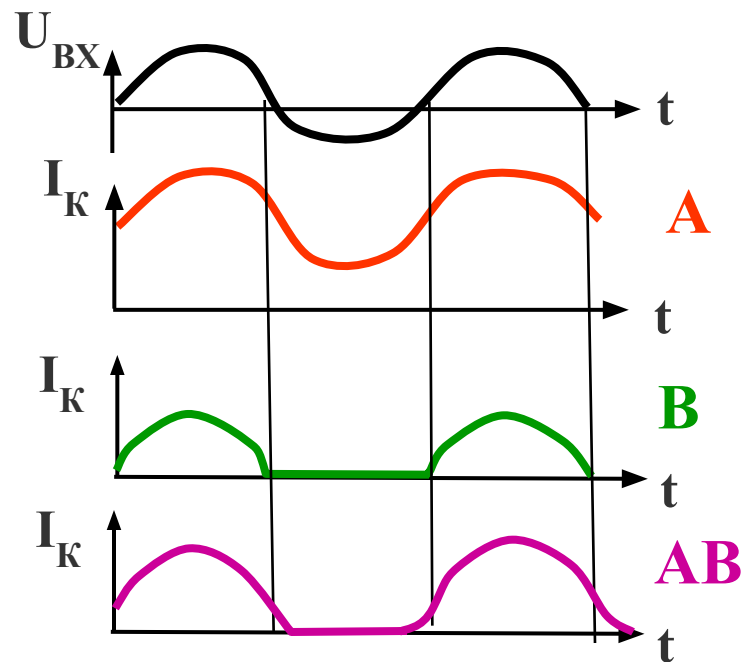
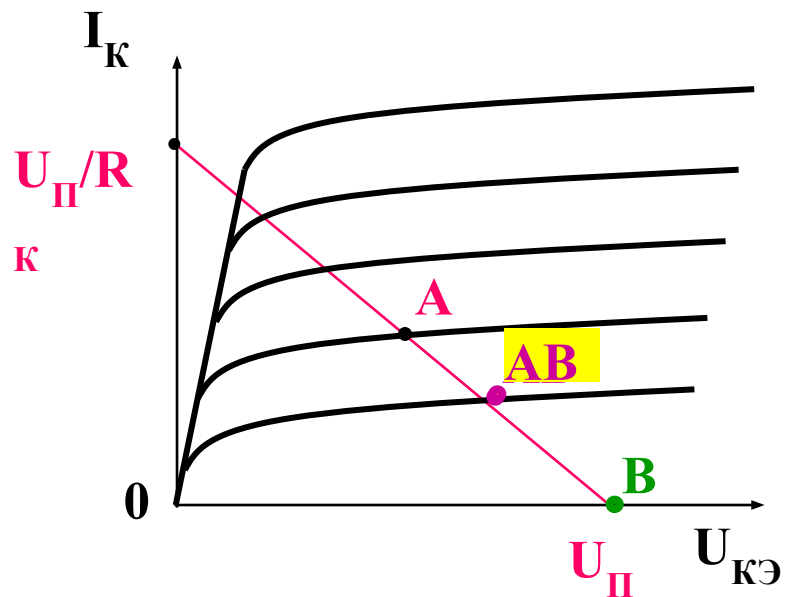


Особенность режима:

- в положительных полупериодах $U_{вх}$ усил.элемент не входит в режим ограничения и нелинейные искажения отсутствуют;
- в отрицательных полупериодах усил.элемент оказывается в режиме отсечки, что приводит к нелинейным искажениям.

Режим **АВ** занимает промежуточное положение между режимами **А** и **В** (точка **АВ**).

Особенность режима: меньшие нелинейными искажениями, чем режим **В**.



Режим D -ключевой режим, при котором на вход усилителя подаются импульсы полностью отпирающие или запирающие усилительный элемент.

Основными параметрам конечных каскадов являются:

□ коэффициент усиления мощности K_p ;

□ выходное сопротивление $R_{\text{ВЫХ}}$;

□ коэффициент полезного действия (КПД)

$$\eta = \frac{P_{\text{ВЫХ}}}{P_{\text{ПИТ}}} 100\% \quad (2)$$

где $P_{\text{ВЫХ}}$ - выходная мощность, отдаваемая в нагрузку;

$P_{\text{ПИТ}}$ - мощность потребляемая от источника питания.

□ коэффициент нелинейных искажений (гармоник)

$$k_r = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_m^2}}{U_1} 100\%$$

где U_1 - действующее значение напряжения основной частоты сигнала; U_2, U_3, \dots, U_m - действующие значения напряжений второй, третьей и m -ой гармоник

Основные требования к оконечным каскадам:

1) Обеспечение высокого КПД

Наименьшим значением КПД характеризуется режим **A** ($\eta \leq 50\%$), а наибольшим - режим **B** ($\eta \leq 78,5\%$).

2) Получение максимальной мощности в нагрузке

Условием получения максимальной мощности в нагрузке

$$R_{\text{вых. ок}} = R_{\text{н}} \cdot$$

3) Обеспечение минимальных нелинейных искажений

Использование линейного участка линии нагрузки.

Выводы по первому вопросу:

1. *В конечных каскадах применяются режимы работы А, В или АВ, отличающиеся исходным положением рабочей точки, значением КПД и уровнем нелинейных искажений.*



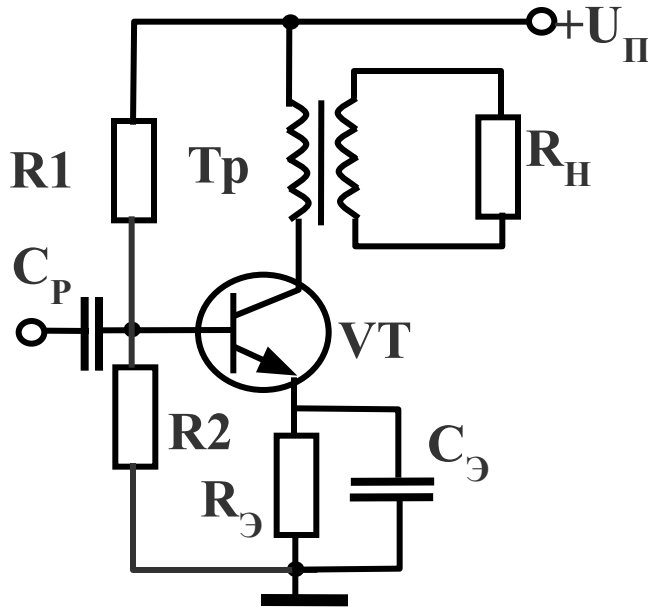
Вопрос 2

**ТИПОВЫЕ СХЕМЫ И ПРИНЦИП
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
ОДНОТАКТНЫХ ОКОНЕЧНЫХ
КАСКАДОВ**

Однотактный каскад усиление - усилитель осуществляющий усиление одним усилительным прибором.

Трансформаторные оконечные каскады обычно используются при работе на низкоомную нагрузку, обеспечивая $R_{\text{ВЫХ}} = R_{\text{Н}}$.

Назначение элементов



VT – усилительный элемент

C_Р – разделительный конденсатор, для развязки входа каскада по постоянному току

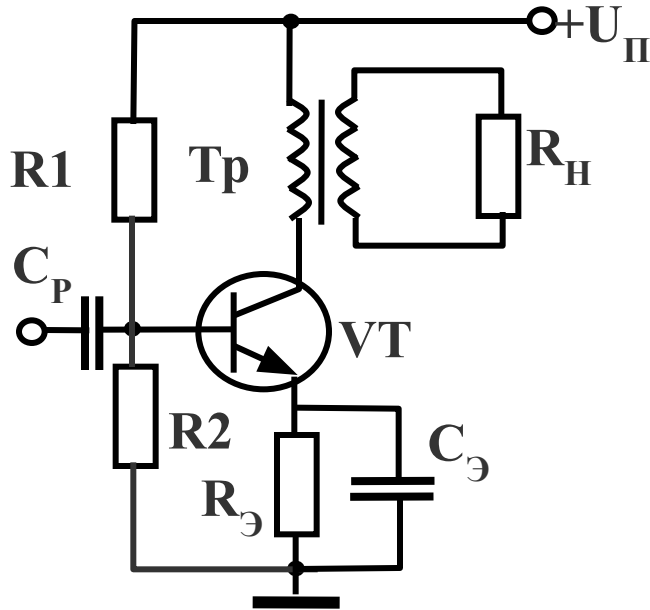
R1, R2 – резистивный делитель напряжения, для задания режима по постоянному току

Tr – трансформатор коллекторной нагрузки, для развязки выхода каскадов по постоянному току

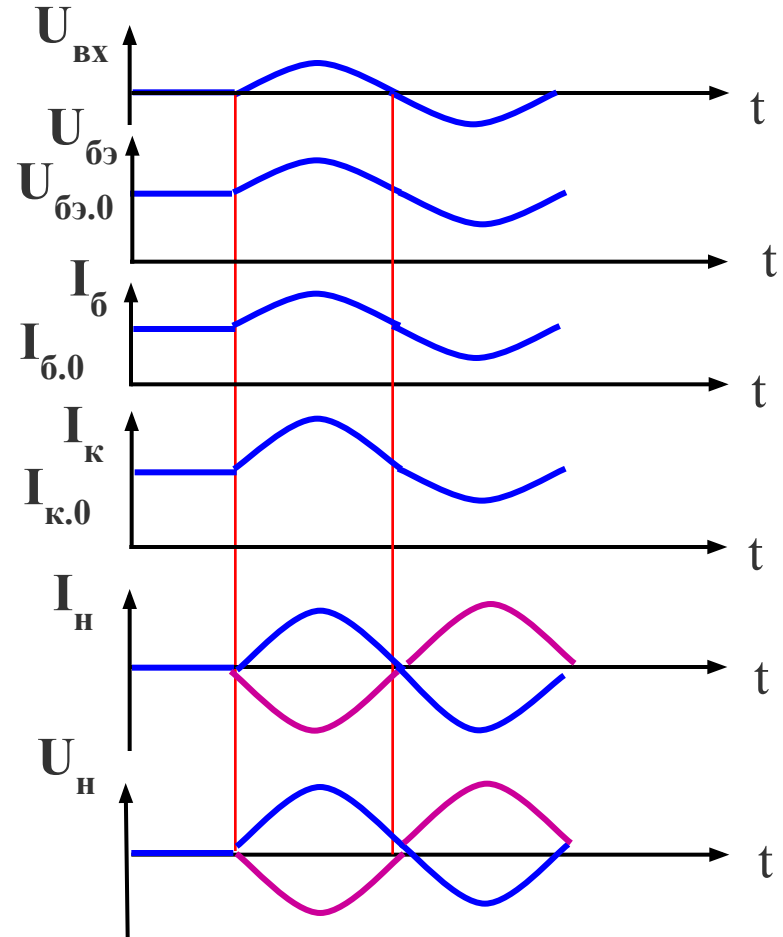
U_П – источник питания

C_Э, R_Э – цепь эмиттерной стабилизации. R_Э создает в каскаде последовательную ООС по току. C_Э устраняет эту ООС на переменном токе блокируя R_Э на переменном токе

Принцип действия однотактного оконечного каскада



- согласное включение обмоток
- встречное включение обмоток



При $U_{ВХ} = 0 \Rightarrow I_{К.0} = \text{const} \Rightarrow \Phi = \text{const} \Rightarrow e_{ВЭ} = 0 \Rightarrow I_{Н} = 0 \Rightarrow U_{ВЫХ} = 0$

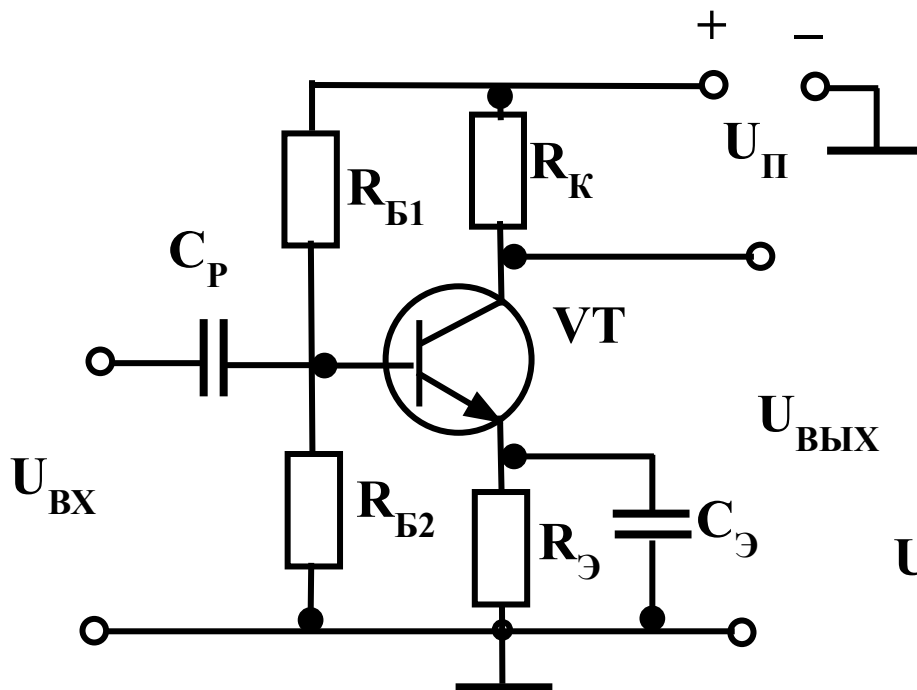
При $U_{ВХ} \neq 0 \Rightarrow I_{К.0} = \text{var} \Rightarrow \Phi = \text{var} \Rightarrow e_{ВЭ} \neq 0 \Rightarrow I_{Н} \neq 0 \Rightarrow U_{ВЫХ} \neq 0$

Недостатки однотактного трансформаторного каскада

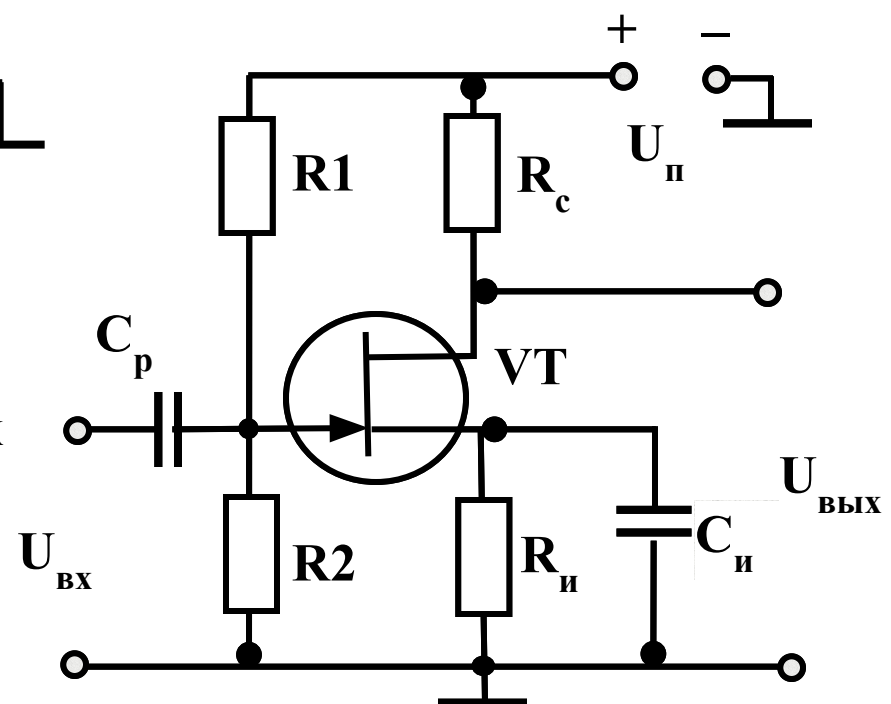
1. Низкий КПД.
2. Постоянное подмагничивание сердечника трансформатора током $I_{к.0}$ приводит к нелинейным искажениям сигнала

Оконечные каскада при работе на высокоомную нагрузку

Каскад с общим эмиттером

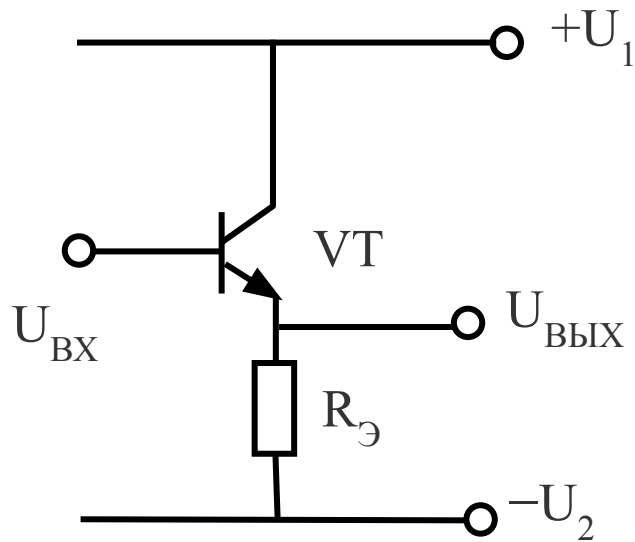


Каскад с общим истоком

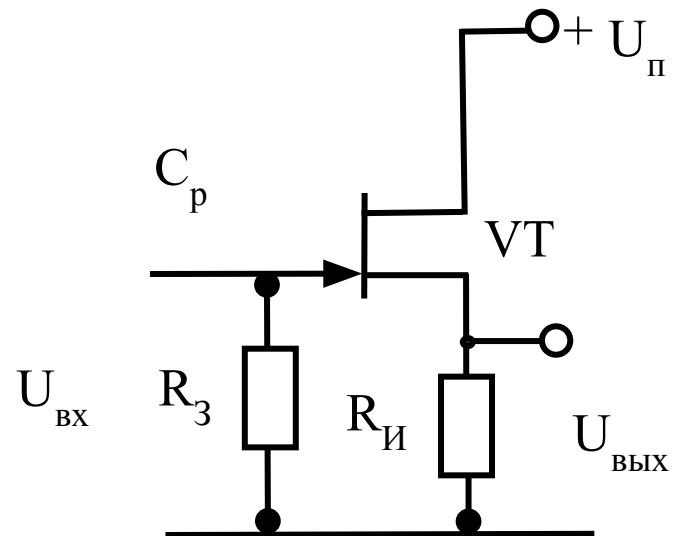


Бестрансформаторный одноконтный ОК при работе на низкоомную или емкостную нагрузку

Эмиттерный повторитель



Источковый повторитель



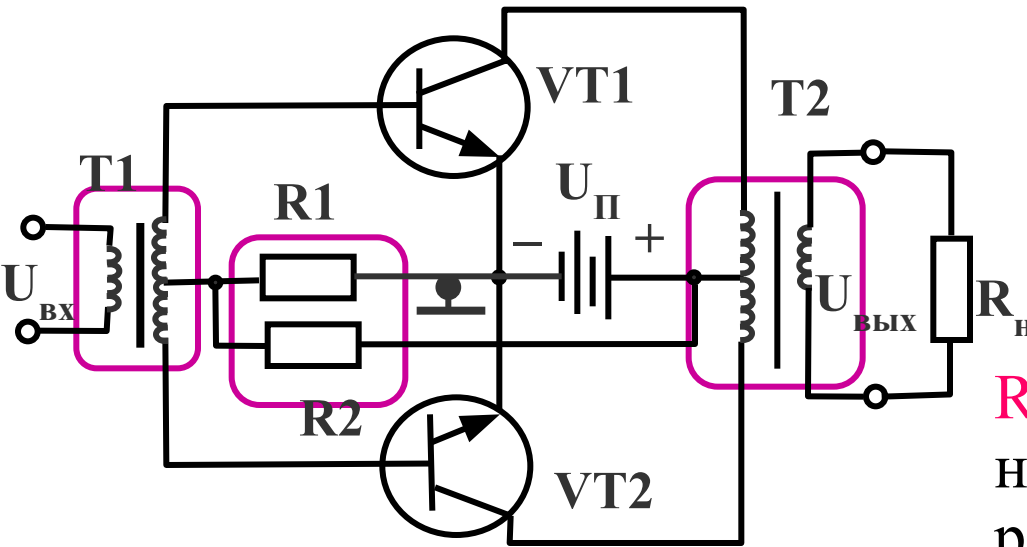
Двухтактный каскад - каскад из двух половин, называемых плечами и напряжение на нагрузке получают путем взаимного вычитания выходных колебаний плеч.

Назначение элементов

T1 - входной трансформатор разделительная цепь, обеспечивающая противофазность напряжений $U_{БЭ1}$ и $U_{БЭ2}$.

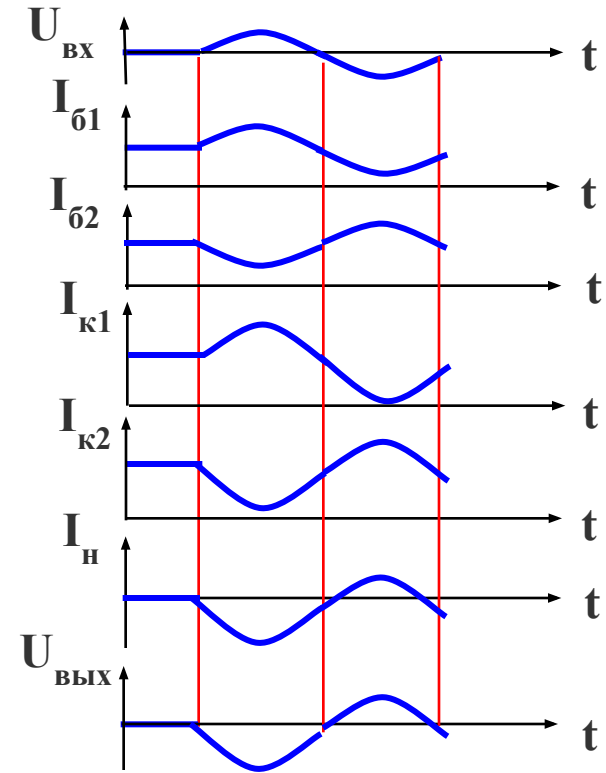
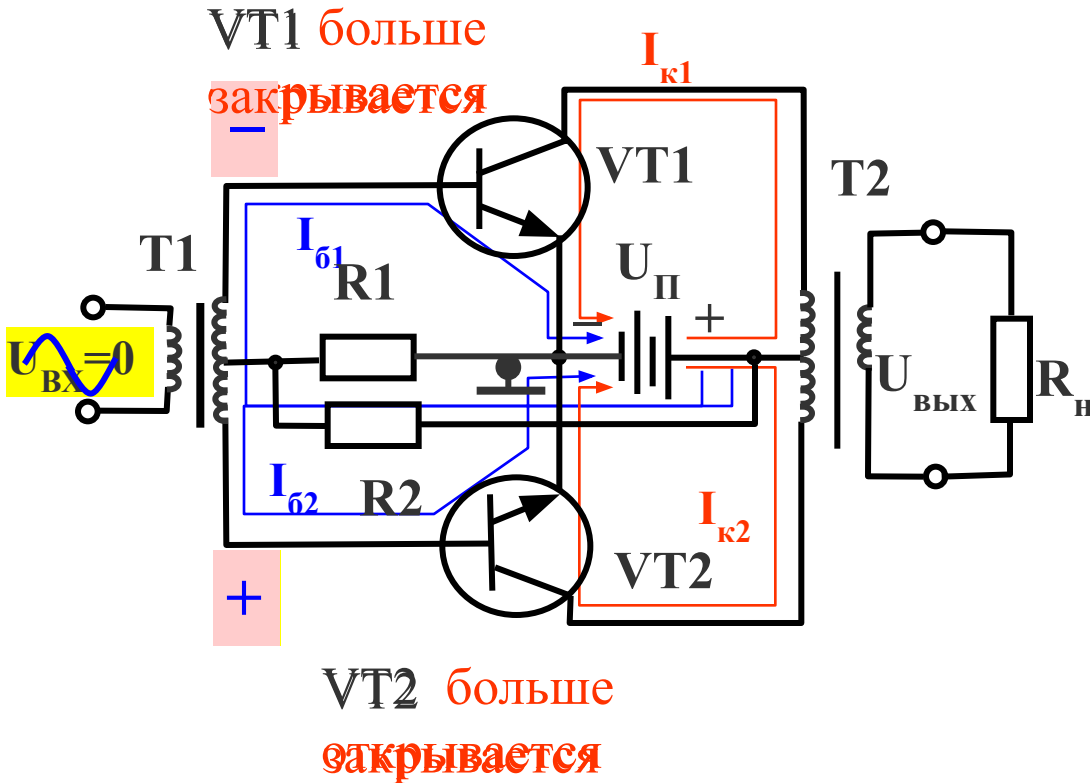
R1, R2 - резистивный делитель напряжения, для задания режима по постоянному току

T2 - выходной трансформатор, для развязки выхода каскадов по постоянному току



Двухтактный трансформаторный оконечный каскад

Принцип действия двухтактного оконечного каскада



При $U_{ВХ} = 0 \Rightarrow I_{к.1,2} = \text{const} \Rightarrow \Phi = \text{const} \Rightarrow e_{ВЗ} = 0 \Rightarrow I_{Н} = 0 \Rightarrow U_{ВЫХ} = 0$

При $U_{ВХ} \neq 0 \Rightarrow I_{к.1} \uparrow I_{к.2} \downarrow \Rightarrow \Phi = \text{var} \Rightarrow e_{ВЗ} \neq 0 \Rightarrow I_{Н} \neq 0 \Rightarrow U_{ВЫХ} \neq 0$

Достоинствами двухтактного трансформаторного каскада:

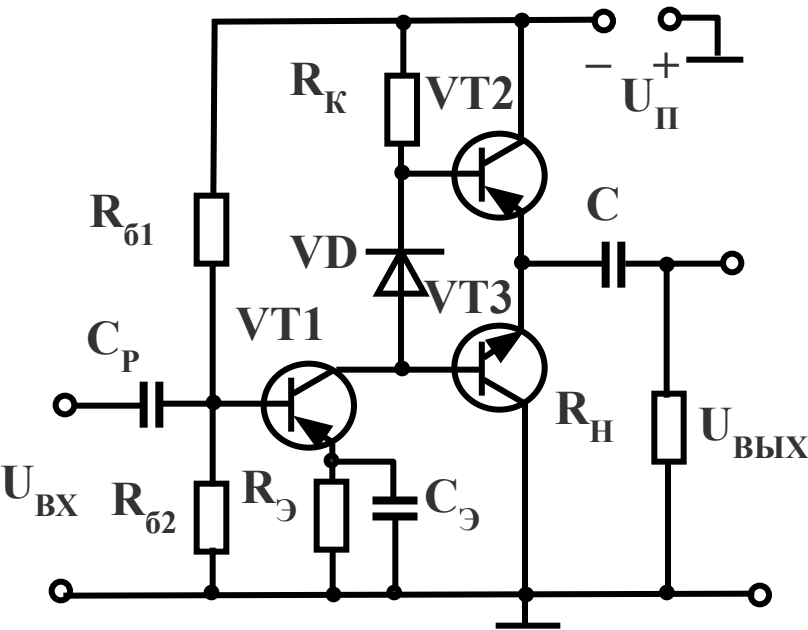
- ❖ являются высокий КПД;
- ❖ отсутствие постоянного подмагничивания сердечника трансформатора Т2.

Недостатки двухтактных трансформаторных каскадов:

- ❖ необходимость обеспечения симметрии его плеч;
- ❖ большие габариты и масса.

Схема бестрансформаторного оконечного каскада

Назначение элементов



VT1 – усил. каскад ОЭ с фиксированным напряжением базы;

R₃ – резистор эмиттерной стабилизации, создающий ООС по постоянному току;

C₃ – конденсатор шунтирующий **R₃** по переменному току;

R_{Б1}, R_{Б2} – делитель задающий режим по постоянному току;

R_К – резистор коллекторной нагрузки каскада с ОЭ;

C_Р – разделительный конденсатор для развязки оконечного каскада по постоянному току;

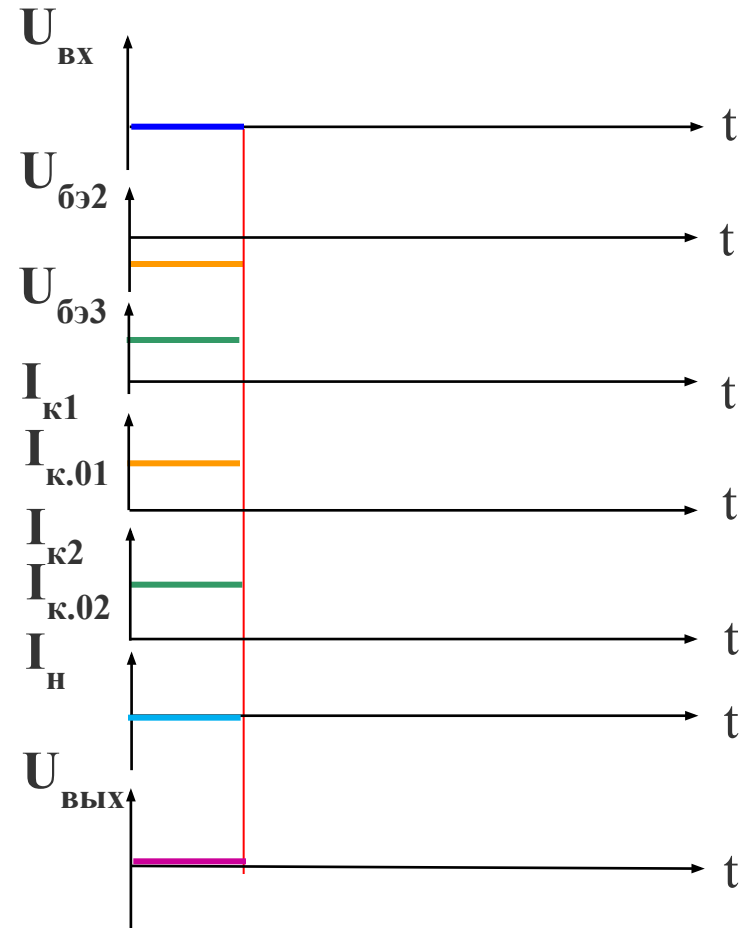
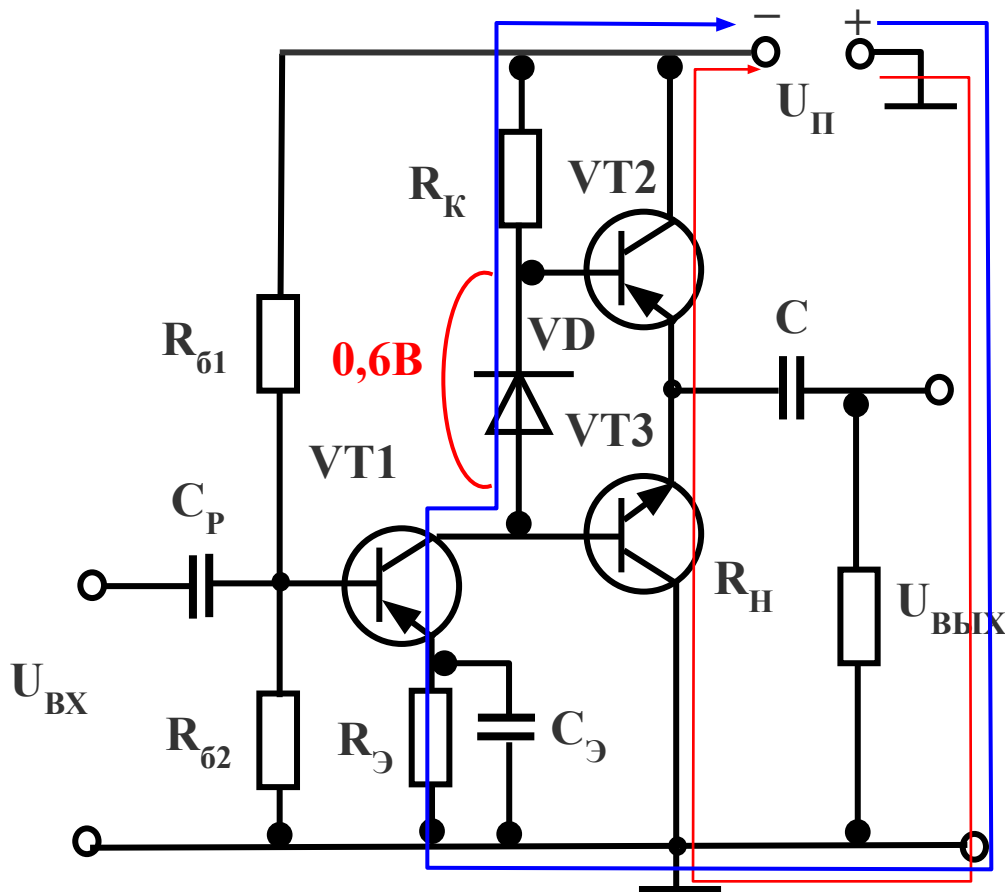
VD – диод создает смещение между базами **VT2** и **VT3** и обеспечивает температурную стабилизацию этих транзисторов.

VT2, VT3 – комплементарная пара транзисторов по переменному току включены по схеме ОК, образуя двухтактный ЭП с сопротивлением **R_Н**.

C – конденсатор -источник питания **VT3**, для снижения частотных искажений на НЧ.

R_Н – резистор нагрузки каскада.

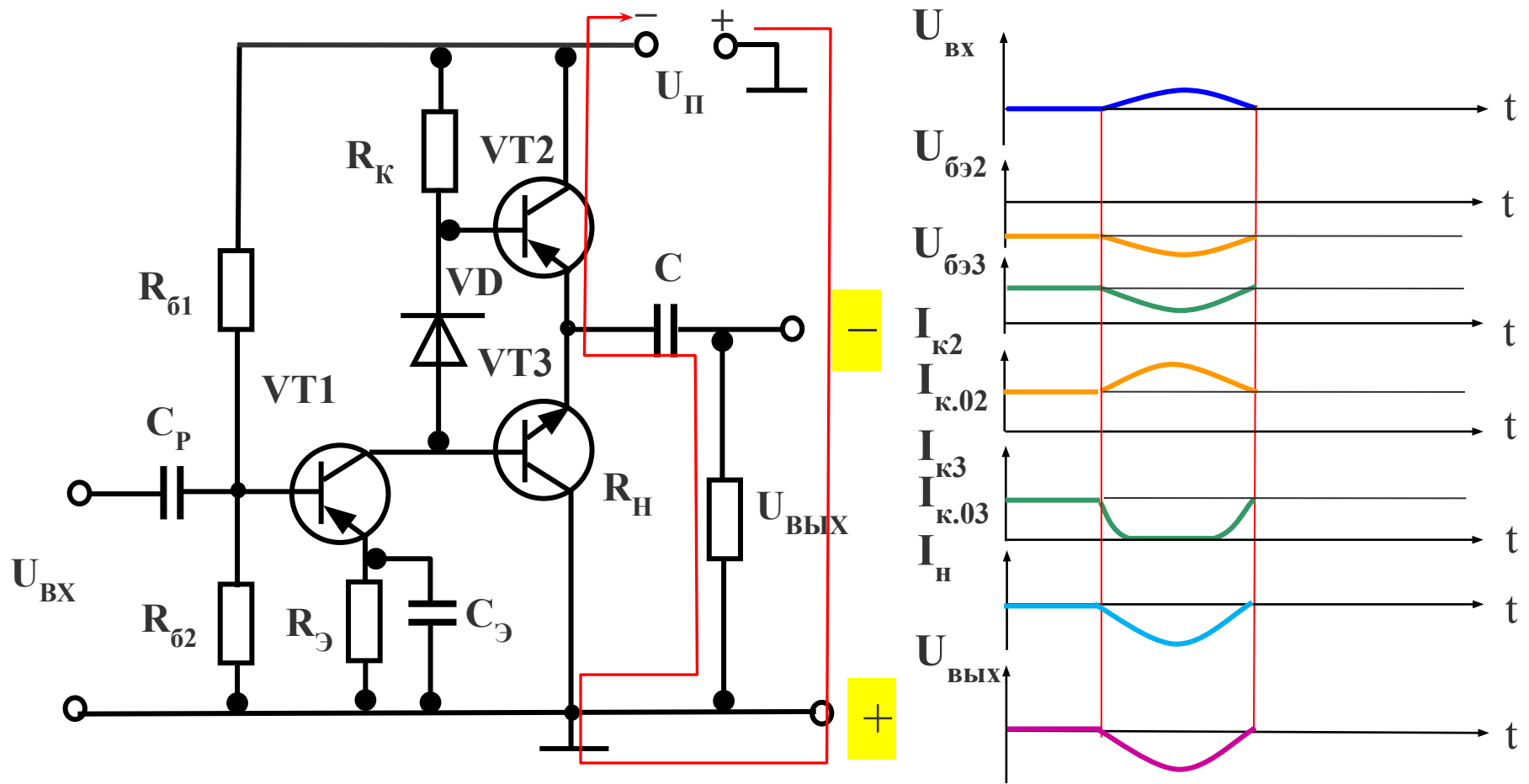
Принцип действия бестрансформаторного ОК



В исходном состоянии VT1 и через него протекает ток коллектора. За счет падения напряжения на открытом диоде VT2 и VT3 на грани отсечки (режим В).

Токи $I_{K1} = I_{K2}$, но за счет конденсатора С ток $I_H = 0$ и $U_{ВЫХ.0} = 0$.

Принцип действия безтрансформаторного ОК

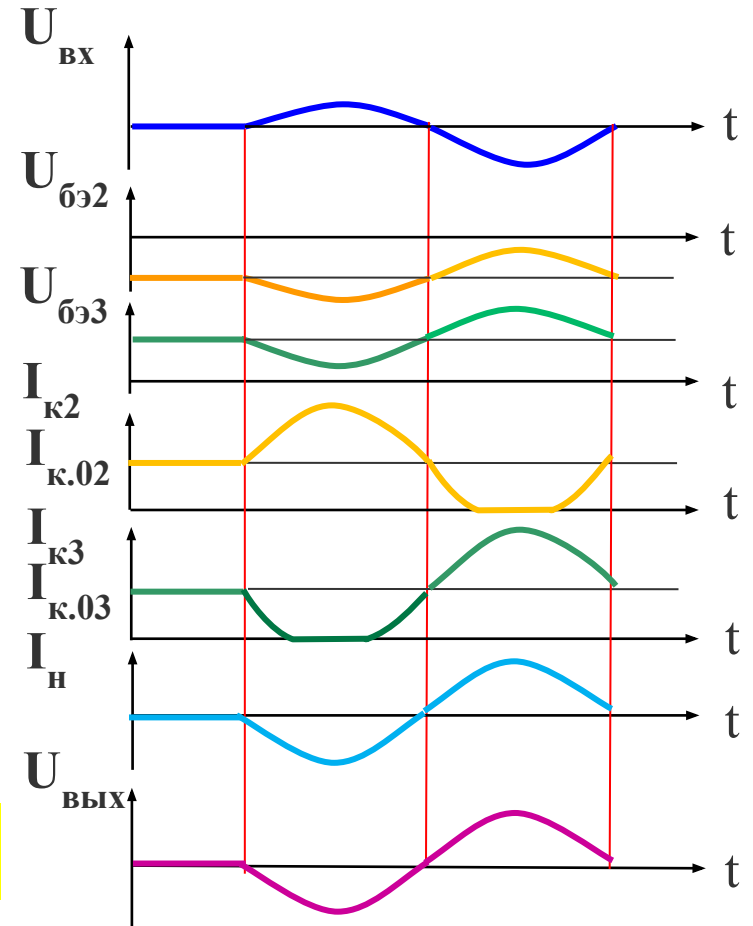
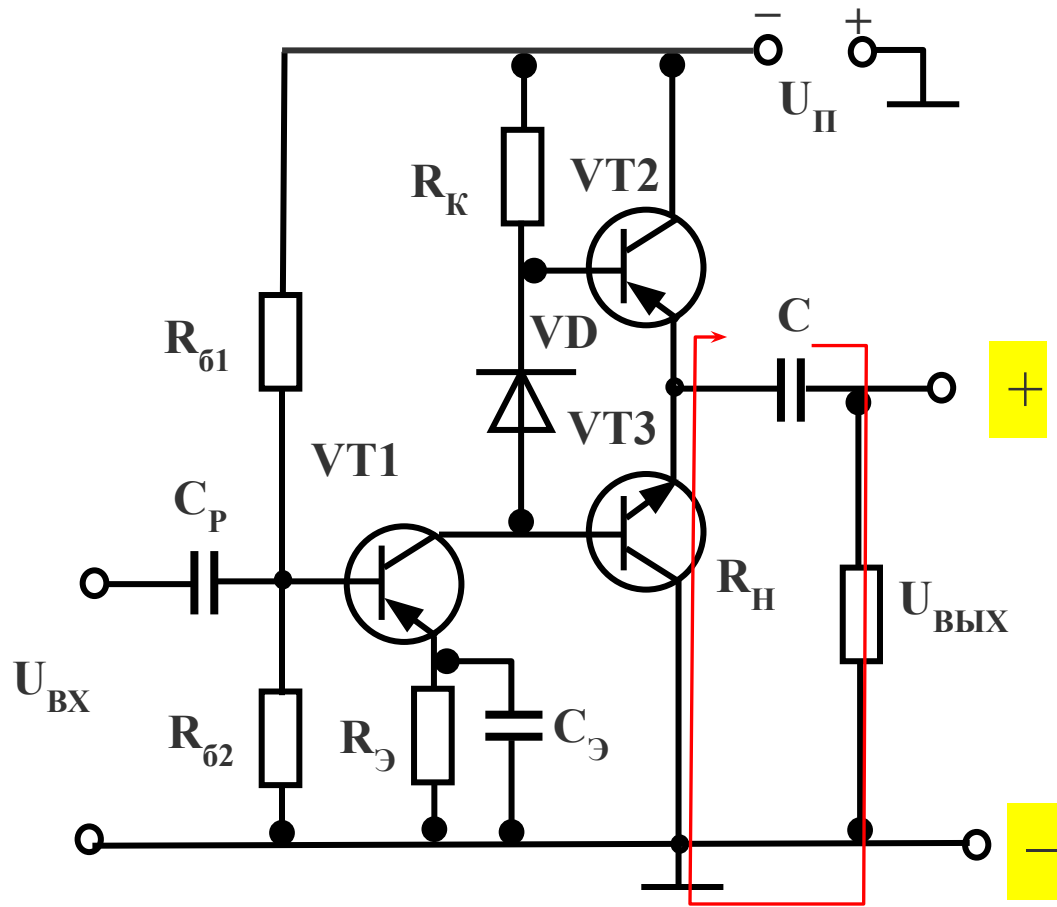


В положительном полупериоде U_{BX} VT1 закрывается ($V_{к1} \downarrow$),
 VT2- открывается и входит в активный режим VT3- закрывается.

С заряжается по цепи $+U_{II} \rightarrow \perp \rightarrow R_H \rightarrow C \rightarrow VT2 \rightarrow -U_{II}$

Ток заряда протекает через R_H снизу вверх.

Принцип действия бестрансформаторного ОК



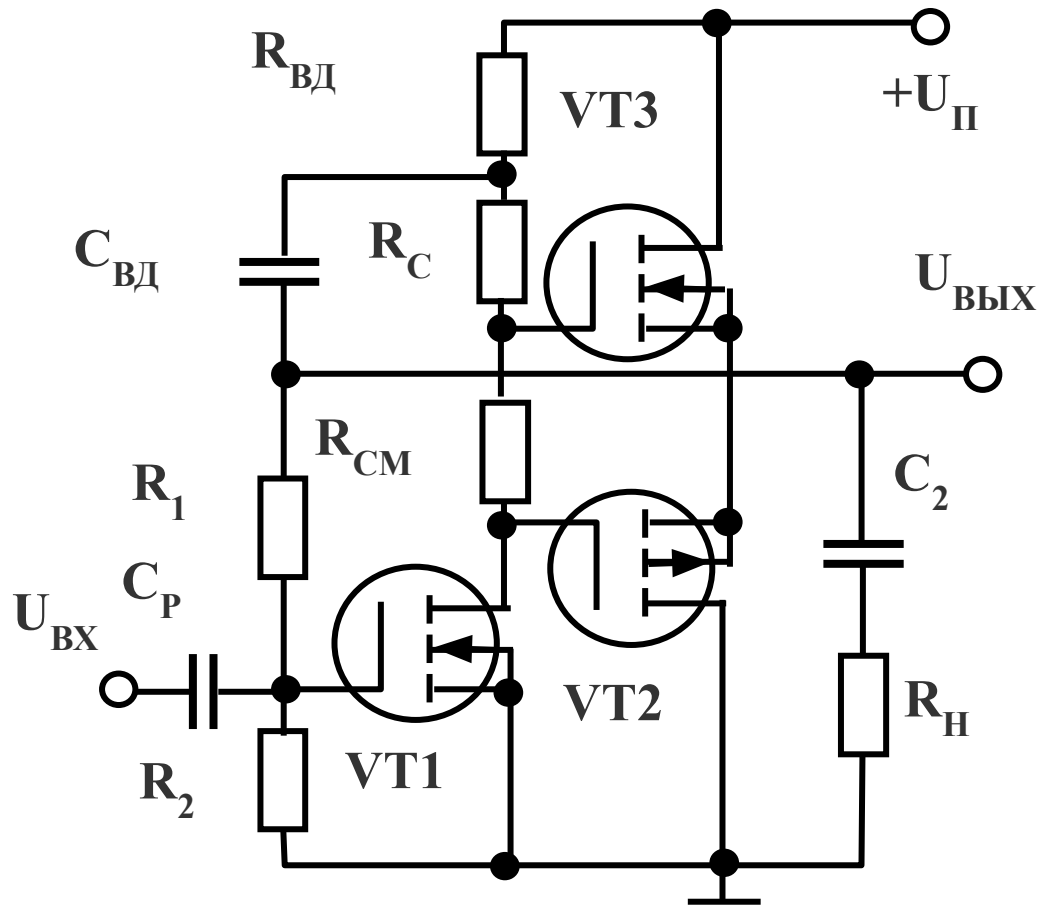
В отрицательном полупериоде $U_{ВХ}$
 VT3- активный режим

VT1 открывается ($V_{К1} \uparrow$),
 VT2 -закрывается.

C становится источником $U_{П}$ для VT3и разряжается по цепи
 $+C \rightarrow R_{Н} \rightarrow \perp \rightarrow VT3 \rightarrow -C$

Ток заряда протекает через $R_{Н}$ вверх вниз.

Схема бестрансформаторного ОК на МДП-транзисторах



Достоинствами бестрансформаторных ОК являются:

- ✓ меньшие габариты и масса;
- ✓ широкая полоса пропускания, меньшие частотные искажения;
- ✓ малое выходное сопротивление.

Вывод по второму вопросу:

В современной РЭА предпочтение отдается бестрансформаторным двухтактным каскадам, которые при тех же положительных качествах, что и трансформаторные двухтактные каскады, характеризуются меньшими габаритами, массой и более широкой полосой пропускания .

Задание на самостоятельную работу:

Отработать лекцию, используя л1/о с.138-151, л.1/д с.262-275, 297-299, Эл.2/о м.4.1., Эл.2/о м.4.2.. Подготовиться к практическому занятию №9 «Анализ и расчет оконечных каскадов».

Ответить на контрольные вопросы:

Контрольные вопросы:

1. Дайте определение режима А работы оконечного каскада?
2. Чем режим В оконечного каскада отличается от режима А?
3. Перечислите основные параметры оконечного каскада?
5. В чем достоинств однотоктного трансформаторного оконечного каскада?
6. Какие устройства могут использоваться в качестве оконечного каскада при работе на высокоомную или емкостную нагрузку?