

**Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Уфимский государственный авиационный технический университет»**

**ОПОРНЫЙ КОНСПЕКТ ПО РАЗДЕЛУ «ЭЛЕКТРОНИКА»
КУРСА «ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА»**

**Методические рекомендации
к изучению дисциплины «Электротехника и электроника»**

Уфа 2016

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Уфимский государственный авиационный технический университет»

Кафедра теоретических основ электротехники

**ОПОРНЫЙ КОНСПЕКТ ПО РАЗДЕЛУ «ЭЛЕКТРОНИКА» КУРСА
«ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА»**

Методические рекомендации
к изучению дисциплины «Электротехника и электроника»

Уфа 2016

Составители: Р. В. Ахмадеев, Т. М. Крымская, О. В. Мельничук

УДК 621.38(07)

ББК 32.85 (я7)

Опорный конспект по разделу «Электроника» курса «Электротехника и электроника»: Методические рекомендации к изучению дисциплины «Электротехника и электроника» / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т; Сост.: Р. В. Ахмадеев, Т. М. Крымская, О. В. Мельничук. – Уфа: РИК УГАТУ, 2016. – 46 с.

Опорный конспект содержит основные сведения об элементной базе современных устройств полупроводниковой электроники (классификацию, вольтамперные характеристики, основные схемы включения и особенности применения полупроводниковых приборов), а также о принципах построения типовых аналоговых, импульсных и цифровых устройств.

Предназначен для студентов вузов неэлектротехнических специальностей всех форм обучения, изучающих дисциплины «Электротехника и электроника», «Общая электротехника и электроника», «Электротехника. Электроника», «Основы электротехники и электроники», «Электроника», «Электротехника, электроника и схемотехника», «Электротехника, электроника и основы схемотехники», «Теоретические основы электротехники и электроники».

Опорный конспект соответствует Федеральному государственному образовательному стандарту высшего образования для направлений подготовки бакалавров и специалистов: 13.03.01, 13.03.03, 15.03.01, 15.03.02, 15.03.04, 15.03.05, 15.03.06, 20.03.01, 22.03.01, 23.03.01, 24.03.04, 24.03.05, 25.03.01, 27.03.01, 27.03.03, 27.03.04, 27.03.05, 28.03.02, 09.05.01, 15.05.01, 20.05.01, 24.05.02, 27.05.01.

Библиогр.: 5 назв.

Рецензент: д-р. техн. наук, проф. каф. ТОЭ Парфёнов Е.В.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1. ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА СОВРЕМЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ	7
1.1. Полупроводниковые диоды.....	7
1.2. Транзисторы.....	8
1.3. Тиристоры.....	13
1.4. Оптоэлектроника.....	14
2. ЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА НА ДИСКРЕТНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ.....	15
2.1. Выпрямители.....	15
2.2. Сглаживающие фильтры.....	17
2.3. Стабилизаторы.....	18
2.4. Усилительные каскады на биполярных транзисторах.....	19
2.5. Электронные генераторы (автогенераторы).....	21
2.6. Мультивибраторы.....	22
2.7. Импульсные устройства (триггеры).....	22
3. АНАЛОГОВАЯ СХЕМОТЕХНИКА.....	23
3.1. Операционные усилители (ОУ).....	23
3.2. Активные фильтры.....	26
3.3. Импульсные устройства (триггеры).....	27
3.4. Мультивибраторы.....	28
4. ЦИФРОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА.....	30
4.1. Базовые логические элементы (БЛЭ).....	30
4.2. Основные типы логических элементов.....	30
4.3. Основные типы БЛЭ.....	31
4.4. Импульсные устройства (триггеры).....	32
4.5. Мультивибраторы.....	35
4.6. Шифраторы.....	36
4.7. Дешифраторы.....	36
4.8. Мультиплексоры.....	37
4.9. Демультиплексоры.....	37
4.10. Регистры.....	38
4.11. Счётчики.....	38
4.12. Сумматоры.....	39
5. ДИСКРЕТНО-АНАЛОГОВЫЕ УСТРОЙСТВА.....	41
5.1. Цифро-аналоговые преобразователи (ЦАП).....	41
5.2. Аналого-цифровые преобразователи (АЦП).....	41

6. МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ ТЕХНИКА.....	42
6.1. Структурная схема микроЭВМ.....	42
6.2. Структурная схема микропроцессора.....	43
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	46

ВВЕДЕНИЕ

Опорный конспект предназначен для изучения раздела «Электроника» дисциплин «Электротехника и электроника», «Общая электротехника и электроника», «Электротехника. Электроника», «Основы электротехники и электроники», «Электротехника, электроника и схемотехника», «Электротехника, электроника и основы схемотехники», «Теоретические основы электротехники и электроники» и дисциплины «Электроника». Все перечисленные дисциплины имеют схожую структуру и содержание, поэтому в дальнейшем будут представлены общим названием «Электротехника и электроника».

Данные методические рекомендации являются составной частью учебно-методического комплекса (УМК) дисциплины «Электротехника и электроника», включающего в себя сведения о структуре соответствующей дисциплины, ее содержании, а также рекомендации студентам по самостоятельной работе, и помогают в решении основных задач изучения дисциплины, таких как формирование у студентов минимально необходимых знаний об элементной базе современных устройств полупроводниковой электроники, принципах построения типовых аналоговых, импульсных и цифровых устройств. Изложение и объем учебного материала соответствуют требованиям федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования (ФГОС ВО) по направлениям подготовки бакалавров и специалистов, а также рекомендациям примерной программы дисциплины, утвержденной Научно-методическим советом, и учебным программам дисциплины для следующих направлений подготовки бакалавров:

13.03.01 – Теплоэнергетика и теплотехника; 13.03.03 – Энергетическое машиностроение; 15.03.01 – Машиностроение; 15.03.02 – Технологические машины и оборудование; 15.03.04 – Автоматизация технологических процессов и производств; 15.03.05 – Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств; 15.03.06 – Мехатроника и робототехника; 20.03.01 – Техносферная безопасность; 22.03.01 Материаловедение и технологии материалов; 23.03.01 – Технология транспортных процессов; 24.03.04 – Авиастроение; 24.03.05 – Двигатели летательных аппаратов; 25.03.01 – Техническая эксплуатация

летательных аппаратов и двигателей; 27.03.01 – Стандартизация и метрология; 27.03.03 – Системный анализ и управление; 27.03.04 – Управление в технических системах; 27.03.05 – Инноватика; 28.03.02 – Наноинженерия

и специалистов:

09.05.01 – Применение и эксплуатация автоматизированных систем специального назначения; 15.05.01 – Проектирование технологических машин и комплексов; 20.05.01 – Пожарная безопасность; 24.05.02 – Проектирование авиационных и ракетных двигателей; 27.05.01 – Специальные организационно-технические системы.

Дисциплина «Электротехника и электроника» базируется главным образом на дисциплинах: «Физика» (разделы «Физика твердого тела», «Электричество и магнетизм», «Колебания и волны»); «Высшая математика» (разделы «Дифференциальное и интегральное исчисления», «Векторный анализ», «Теория функций комплексного переменного», «Алгебра логики») и «Основы информатики и вычислительной техники» (разделы «Вычислительные методы решения дифференциальных уравнений», операции с матрицами), «Материаловедение» (раздел «Электротехнические материалы»). В свою очередь, данная дисциплина является основой для изучения специальных дисциплин.

В материалах опорного конспекта изложены краткие теоретические сведения по электронике, которые могут быть использованы при проведении всех видов занятий и в процессе самостоятельной работы студентов при изучении следующих тем: «Элементная база современной электроники» (раздел 1), «Электронные устройства на дискретных элементах» (раздел 2), «Аналоговая схемотехника» (раздел 3), «Цифровая электроника» (раздел 4), «Дискретно-аналоговые устройства» (раздел 5), «Микропроцессорная техника» (раздел 6).

Опорный конспект предназначен для более эффективного усвоения лекционного материала, выполнения расчётно-графических и курсовых работ, а также подготовки к лабораторно-практическим занятиям, зачетам и экзаменам.

1. ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА СОВРЕМЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

1.5. Полупроводниковые диоды

Прямое включение <i>p-n</i> -перехода	Обратное включение <i>p-n</i> -перехода
$I = I_s (e^{u/\varphi_t} - 1), \quad \varphi_t = \frac{kT}{q_e}, \quad \varphi_0 = \varphi_T \ln \frac{N_a \cdot N_d}{n_i^2}$	

Диоды точечные	Выпрямительные	
	СВЧ-диоды	
Диоды плоскостные	Выпрямительные	
	Стабилитроны	
	Туннельные	
	Варикапы	
	Обращённые	
	Светодиоды	
	Фотодиоды	
Фотоэлементы полупроводниковые		

Вольтамперная характеристика (ВАХ)			
	Реальная	Идеализированная	Идеальная
диод			
стабилитрон			

1.6. Транзисторы

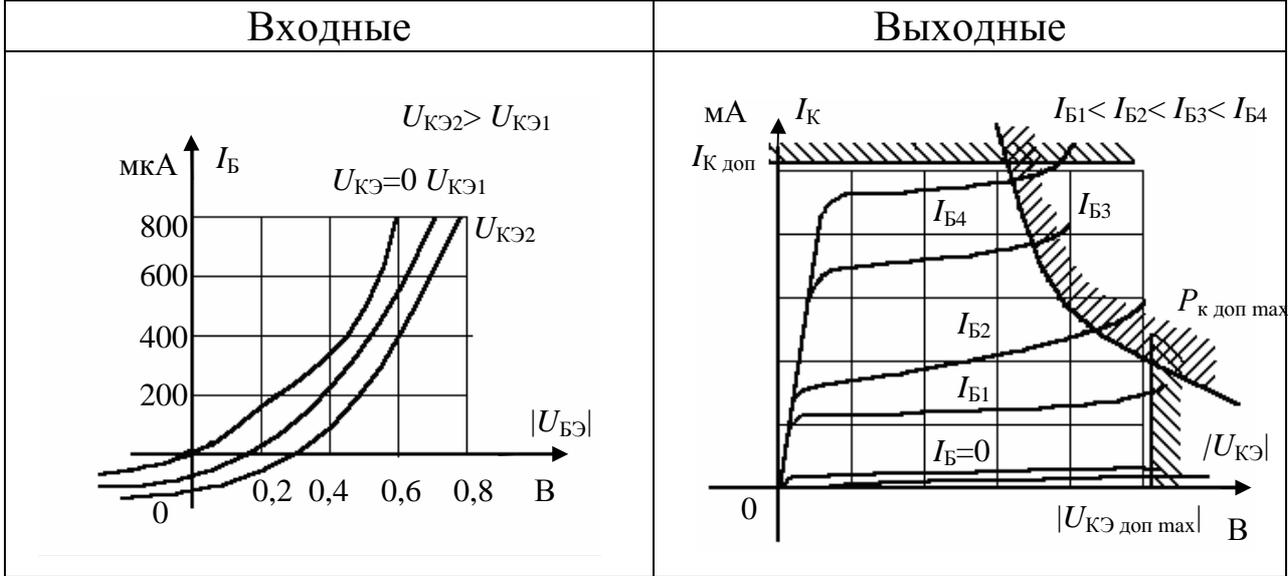
1.2.1. Биполярные транзисторы (БПТ)

Типы БПТ	Структура БПТ	Условное графическое обозначение (УГО)
<i>n-p-n</i>	<p>Эмиттер — n — p — n — Коллектор</p> <p>Эмиттерно-базовый переход База Базово-коллекторный переход</p>	
<i>p-n-p</i>	<p>Эмиттер — p — n — p — Коллектор</p> <p>Эмиттерно-базовый переход База Базово-коллекторный переход</p>	

Режимы работы БПТ	Переход	
	КБ	БЭ
Основной (активный, усилительный) режим	заперт	открыт
Инверсный режим	открыт	заперт
Режим насыщения	открыт	открыт
Режим отсечки	заперт	заперт

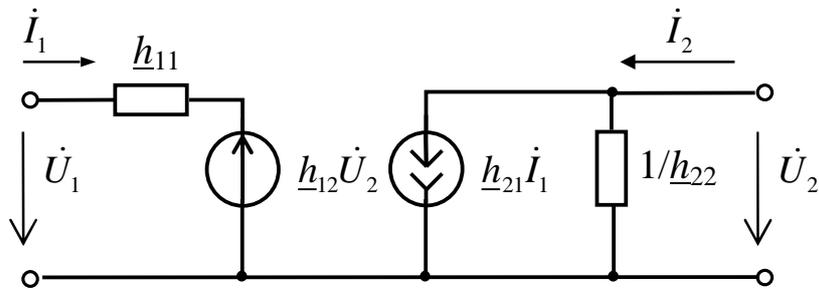
Электрические схемы включения БПТ		
С общей базой (ОБ)		$I_{\text{ВХ ОБ}} = -I_{\text{Э}}, U_{\text{ВХ ОБ}} = -U_{\text{БЭ}},$ $I_{\text{ВЫХ ОБ}} = I_{\text{К}}, U_{\text{ВЫХ ОБ}} = U_{\text{КБ}};$ $\alpha = \left. \frac{\partial I_{\text{К}}}{\partial I_{\text{Э}}} \right _{U_{\text{КБ}} = \text{const}},$ $\alpha < 1 \approx 0,9 \dots 0,99$
С общим эмиттером (ОЭ)		$I_{\text{ВХ ОЭ}} = I_{\text{Б}}, U_{\text{ВХ ОЭ}} = U_{\text{БЭ}},$ $I_{\text{ВЫХ ОЭ}} = I_{\text{К}}, U_{\text{ВЫХ ОЭ}} = U_{\text{КЭ}};$ $\beta = \left. \frac{\partial I_{\text{К}}}{\partial I_{\text{Б}}} \right _{U_{\text{КЭ}} = \text{const}} = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$
С общим коллектором (ОК)		$I_{\text{ВХ ОК}} = I_{\text{Б}}, U_{\text{ВХ ОК}} = -U_{\text{КБ}},$ $I_{\text{ВЫХ ОК}} = -I_{\text{Э}}, U_{\text{ВЫХ ОК}} = -U_{\text{КЭ}};$ $K_{U_{\text{ОК}}} = \frac{U_{\text{ВЫХ ОК}}}{U_{\text{ВХ ОК}}} \approx 1$

Вольтамперные характеристики БПТ, включенного по схеме с ОЭ

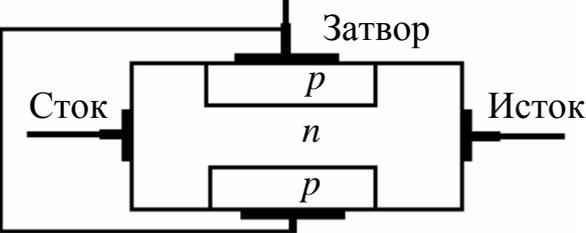
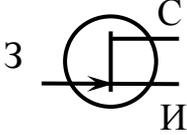
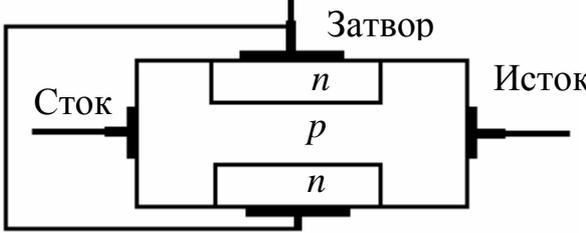
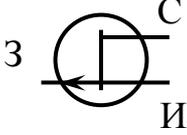
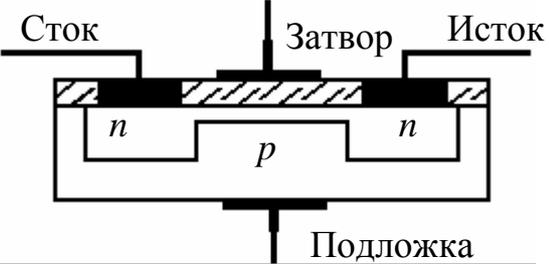
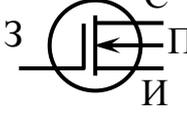
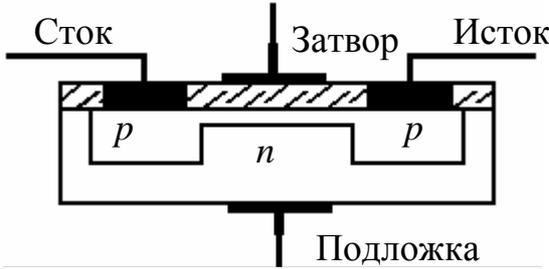
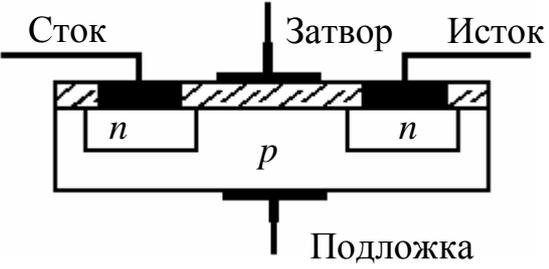
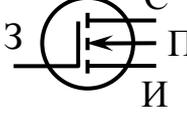
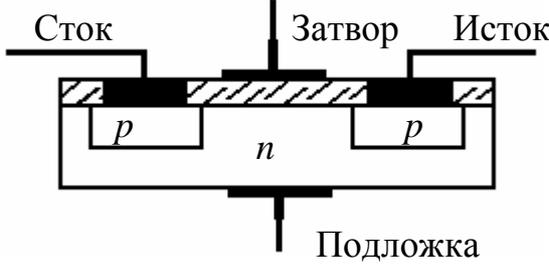
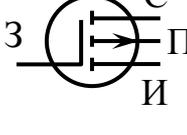


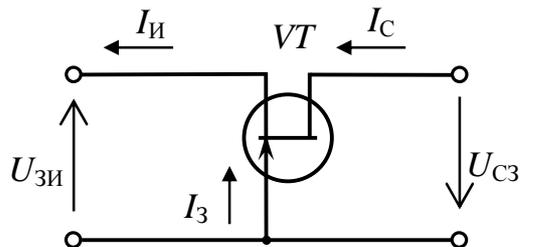
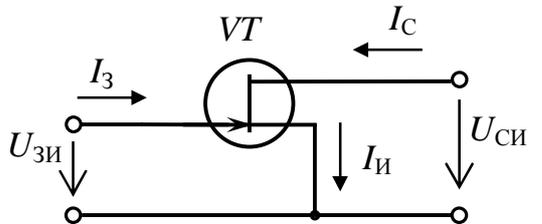
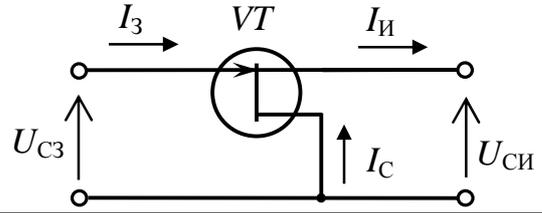
Транзистор в виде четырёхполюсника	Физический смысл h -параметров
$\begin{cases} \dot{U}_1 = \underline{h}_{11} \dot{I}_1 + \underline{h}_{12} \dot{U}_2, \\ \dot{I}_2 = \underline{h}_{21} \dot{I}_1 + \underline{h}_{22} \dot{U}_2 \end{cases}$	$\underline{h}_{11} = \left. \frac{\dot{U}_1}{\dot{I}_1} \right _{\dot{U}_2=0}$
	$\underline{h}_{12} = \left. \frac{\dot{U}_1}{\dot{U}_2} \right _{\dot{I}_1=0}$
	$\underline{h}_{21} = \left. \frac{\dot{I}_2}{\dot{I}_1} \right _{\dot{U}_2=0}$
	$\underline{h}_{22} = \left. \frac{\dot{I}_2}{\dot{U}_2} \right _{\dot{I}_1=0}$

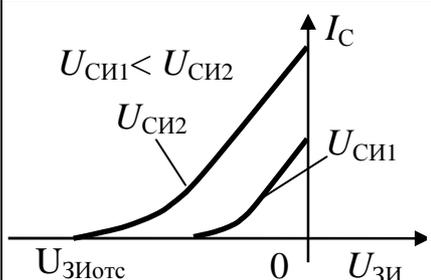
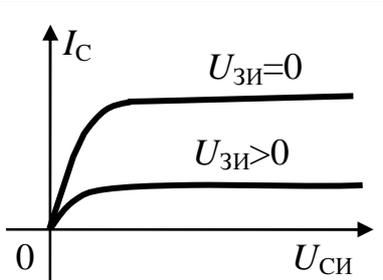
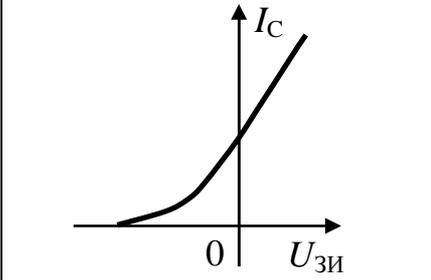
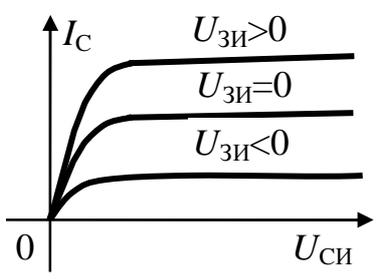
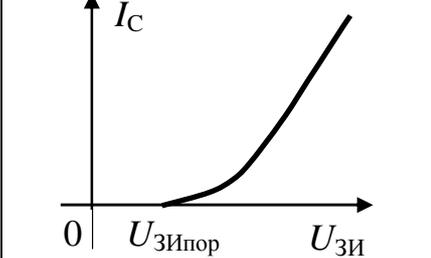
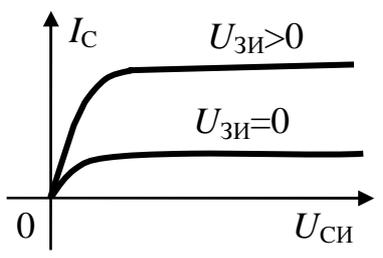
Эквивалентная схема замещения транзистора (с ОЭ)



1.2.2. Полевые транзисторы (ПТ)

Типы ПТ		Структура ПТ	УГО	
С <i>p-n</i> переходом	с каналом <i>n</i> -типа			
	с каналом <i>p</i> -типа			
МДП	со встроенным каналом	<i>n</i> -типа		
		<i>p</i> -типа		
	с индуцированным каналом	<i>n</i> -типа		
		<i>p</i> -типа		

Электрические схемы включения ПТ		
С общим затвором (ОЗ)		$I_{\text{ВХ ОЗ}} = -I_{\text{И}}, U_{\text{ВХ ОЗ}} = -U_{\text{ЗИ}}$ $I_{\text{ВЫХ ОЗ}} = I_{\text{С}}, U_{\text{ВЫХ ОЗ}} = U_{\text{СЗ}}$
С общим истоком (ОИ)		$I_{\text{ВХ ОИ}} = I_{\text{З}}, U_{\text{ВХ ОИ}} = U_{\text{ЗИ}}$ $I_{\text{ВЫХ ОИ}} = I_{\text{С}}, U_{\text{ВЫХ ОИ}} = U_{\text{СИ}}$
С общим стоком (ОС)		$I_{\text{ВХ ОС}} = I_{\text{З}}, U_{\text{ВХ ОС}} = -U_{\text{СЗ}}$ $I_{\text{ВЫХ ОС}} = -I_{\text{И}}, U_{\text{ВЫХ ОС}} = -U_{\text{СИ}}$

Типы ПТ		Вольтамперные характеристики ПТ, включенного по схеме с ОИ	
		Стокозатворные	Выходные
С <i>p-n</i> переходом			
МДП	со встроенным каналом <i>n</i> -типа		
	с индуцированным каналом <i>n</i> -типа		

1.3. Тиристоры

Классификация		УГО
Диодные тиристоры (динисторы)	Несимметричные	
	Симметричные	
Триодные тиристоры (тринисторы)	Несимметричные	
	Симметричные	

	Динистор	Тринистор
Структура	<p>Анод Катод</p>	<p>Анод Катод</p> <p>Управляющий электрод</p>
Статические ВАХ		

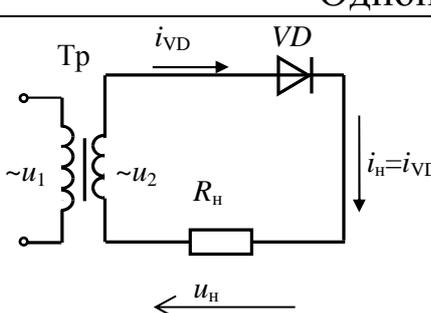
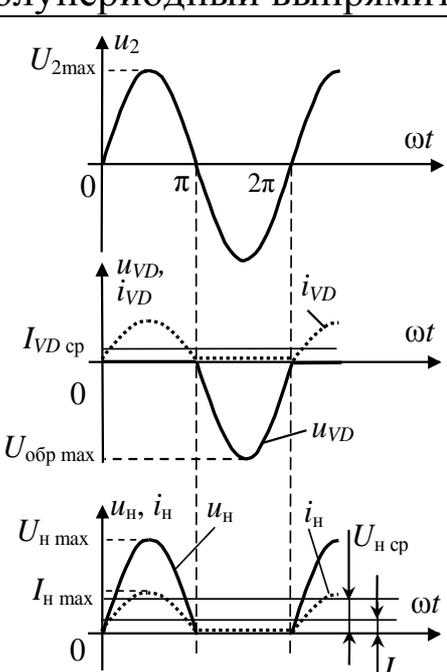
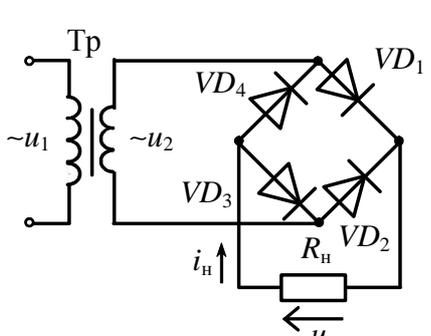
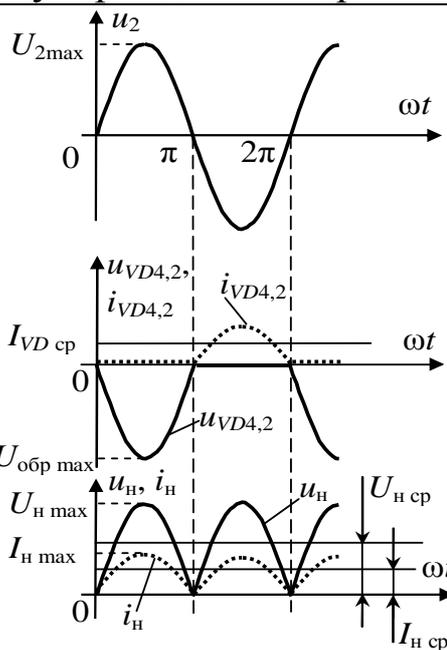
1.4. Оптоэлектроника

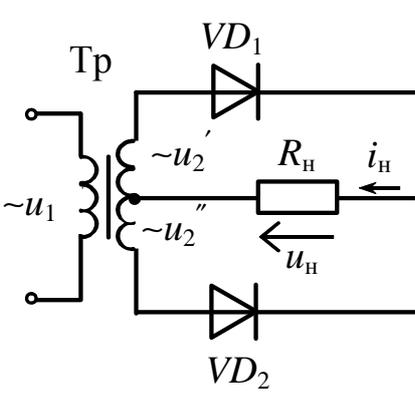
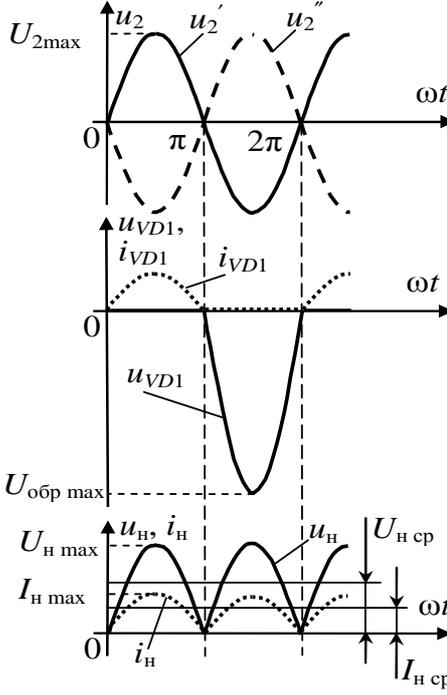
	УГО	ВАХ	Электрические схемы включения
Фоторезистор			
Фотодиод			<p>а) </p> <p>б) </p>
Светодиод			
Фототранзистор			

2. ЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА НА ДИСКРЕТНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ

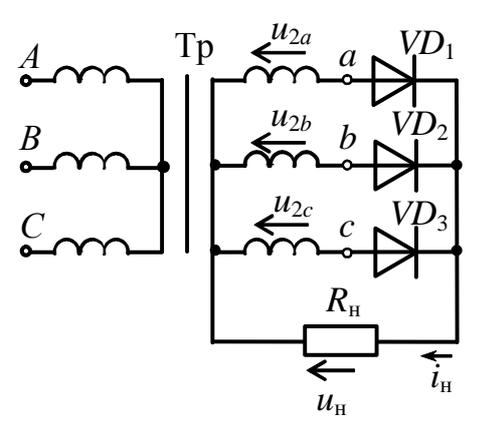
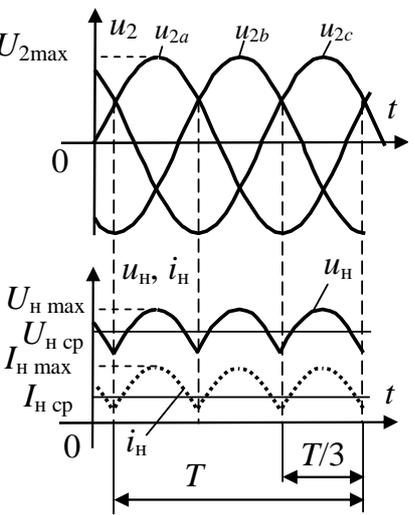
2.1. Выпрямители

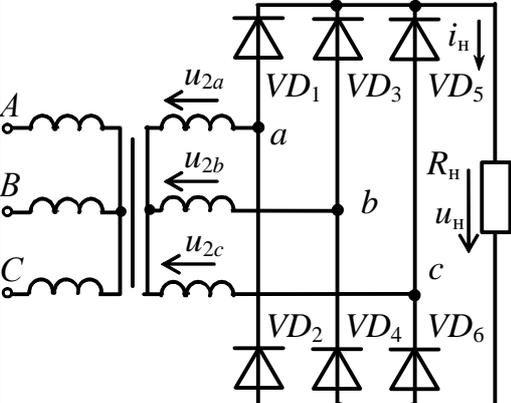
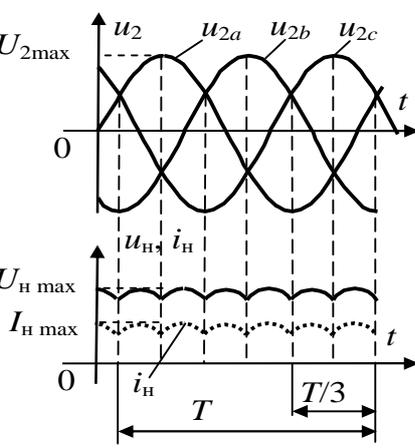
2.1.1. Однофазные выпрямители

Электрические схемы	Временные диаграммы	Основные соотношения
Однополупериодный выпрямитель		
		$I_{VD\text{cp}} = I_{H\text{cp}},$ $U_{\text{обр max}} = U_{2\text{max}},$ $U_{H\text{cp}} = \frac{U_{H\text{max}}}{\pi} = \frac{U_{2\text{max}}}{\pi},$ $I_{H\text{cp}} = \frac{I_{H\text{max}}}{\pi},$ $q = \frac{U_{1\text{max}}}{U_{H\text{cp}}} = \frac{\pi}{2} \approx 1,57$
Двухполупериодные выпрямители		
<p style="text-align: center;">Мостовая схема выпрямления</p> 		$I_{VD\text{cp}} = \frac{I_{H\text{cp}}}{2},$ $U_{\text{обр max}} = U_{2\text{max}},$ $U_{H\text{cp}} = \frac{2U_{H\text{max}}}{\pi} = \frac{2U_{2\text{max}}}{\pi},$ $I_{H\text{cp}} = \frac{2I_{H\text{max}}}{\pi},$ $q = \frac{U_{1\text{max}}}{U_{H\text{cp}}} = \frac{2\pi}{3} \approx 0,67$

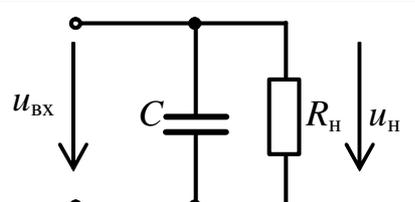
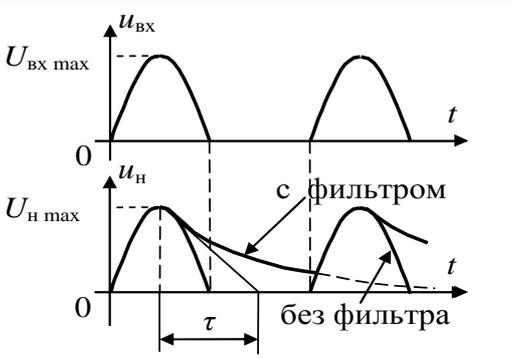
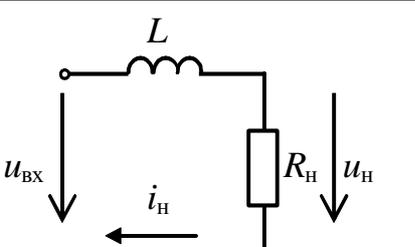
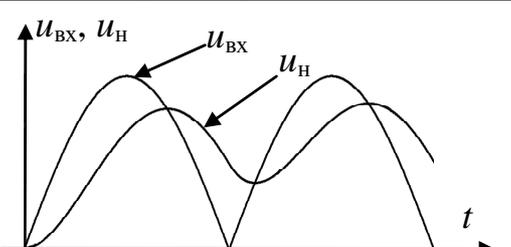
Электрические схемы	Временные диаграммы	Основные соотношения
<p>Схема с выводом средней точки вторичной обмотки трансформатора</p> 		$I_{VDcp} = \frac{I_{Hcp}}{2},$ $U_{обр max} = 2U_{2max},$ $U_{Hcp} = \frac{2U_{Hmax}}{\pi} = \frac{2U_{2max}}{\pi},$ $I_{Hcp} = \frac{2I_{Hmax}}{\pi},$ $q = \frac{U_{1max}}{U_{Hcp}} = \frac{2\pi}{3} \approx 0,67$

2.1.2. Трехфазные выпрямители

Электрические схемы	Временные диаграммы	Основные соотношения
<p>Трехфазный выпрямитель с нейтральным выводом</p> 		$I_{VDcp} = \frac{I_{Hcp}}{3},$ $U_{обр.max} = U_{Л max},$ $U_{Hcp} = \frac{3\sqrt{3}U_{Hmax}}{2\pi},$ $I_{Hcp} = \frac{3\sqrt{3}I_{Hmax}}{2\pi} \approx 0,827I_{Hmax},$ $q = \frac{U_{1max}}{U_{Hcp}} \approx 0,25$

Электрические схемы	Временные диаграммы	Основные соотношения
<p style="text-align: center;">Мостовой трехфазный выпрямитель</p> 		$I_{VD\text{ср}} = \frac{I_{н\text{ср}}}{3},$ $U_{\text{обр max}} = U_{л\text{ max}},$ $U_{н\text{ср}} = \frac{3\sqrt{3}U_{\phi\text{ max}}}{\pi},$ $I_{н\text{ср}} = \frac{3I_{н\text{ max}}}{\pi} \cong$ $\cong 0,955I_{н\text{ max}},$ $q = \frac{U_{л\text{ max}}}{U_{н\text{ср}}} \approx 0,057$

2.2. Сглаживающие фильтры

Электрические схемы	Временные диаграммы	Основные соотношения
C-фильтр		
		$\tau = R_{н}C,$ $\tau \gg T$
L-фильтр		
		$\tau = \frac{L}{R_{н}},$ $\tau \gg T$

Типы фильтров	RC-фильтр	LC-фильтр
Г-образный		
Π-образный		

2.3. Стабилизаторы

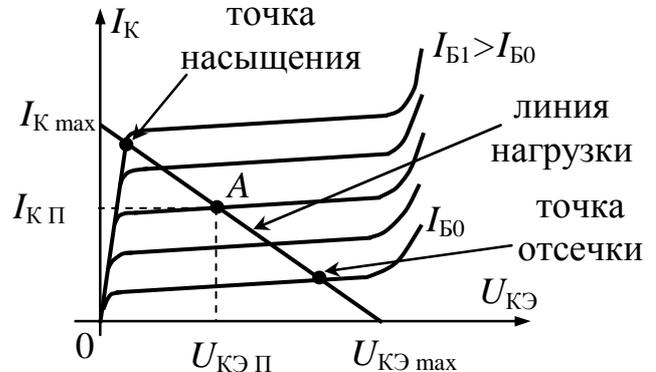
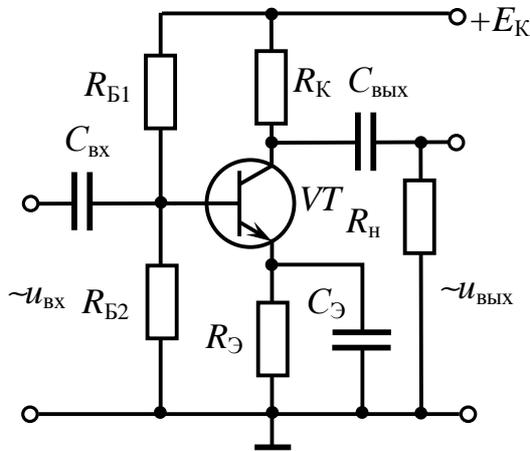
Параметрический стабилизатор напряжения	Непрерывный компенсационный стабилизатор напряжения
$U_{\text{ВХ}} = R_0 \left(I_{\text{СТ}} + \frac{U_{\text{H}}}{R_{\text{H}}} \right) + U_{\text{H}}$	$U_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{ОП}} - U_{\text{бэ}}$

2.4. Усилительные каскады на БПТ

Электрические схемы	Основные соотношения
<p>с общим эмиттером</p>	$R_{\text{вхОЭ}} = \frac{U_{\text{вхОЭ}}}{I_{\text{вхОЭ}}} = \frac{R_{\text{вхОБ}} I_{\text{Э}}}{(1-\alpha) I_{\text{Э}}} = \frac{R_{\text{вхОБ}}}{(1-\alpha)},$ $K_{I\text{ОЭ}} = \frac{I_{\text{вхОЭ}}}{I_{\text{вхОБ}}} = \frac{I_{\text{К}}}{I_{\text{Б}}} = \frac{\alpha}{1-\alpha} = \beta > 1,$ $K_{U\text{ОЭ}} = \frac{U_{\text{вхОЭ}}}{U_{\text{вхОБ}}} = \frac{R_{\text{н}} (1-\alpha) \alpha I_{\text{Э}}}{(1-\alpha) R_{\text{вхОБ}} I_{\text{Э}}} =$ $= \alpha \frac{R_{\text{н}}}{R_{\text{вхОБ}}} = K_{U\text{ОБ}} > 1$
<p>с общей базой</p>	$R_{\text{вхОБ}} = \frac{U_{\text{вхОБ}}}{I_{\text{вхОБ}}} = \frac{U_{\text{БЭ}}}{I_{\text{Э}}},$ $K_{I\text{ОБ}} = \frac{I_{\text{вхОБ}}}{I_{\text{вхОБ}}} = \frac{I_{\text{К}}}{I_{\text{Э}}} \approx \frac{\alpha I_{\text{Э}}}{I_{\text{Э}}} = \alpha < 1,$ $K_{U\text{ОБ}} = \frac{U_{\text{вхОБ}}}{U_{\text{вхОБ}}} = \frac{R_{\text{н}} I_{\text{К}}}{R_{\text{БЭ}} I_{\text{Э}}} \approx \alpha \frac{R_{\text{н}}}{R_{\text{БЭ}}} > 1$
<p>с общим коллектором</p>	$R_{\text{вхОК}} = \frac{U_{\text{вхОК}}}{I_{\text{вхОК}}} = \frac{U_{\text{ЭК}} - U_{\text{БЭ}}}{(1-\alpha) I_{\text{Э}}} = \frac{R_{\text{н}} + R_{\text{вхОБ}}}{(1-\alpha)},$ $K_{I\text{ОК}} = \frac{I_{\text{вхОК}}}{I_{\text{вхОБ}}} = \frac{I_{\text{Э}}}{(1-\alpha) I_{\text{Э}}} = \frac{1}{(1-\alpha)} > 1,$ $K_{U\text{ОК}} = \frac{U_{\text{вхОК}}}{U_{\text{вхОБ}}} = \frac{R_{\text{н}} I_{\text{Э}}}{R_{\text{вхОБ}} (1-\alpha) I_{\text{Э}}} =$ $= \frac{R_{\text{н}} (1-\alpha) I_{\text{Э}}}{(1-\alpha) (R_{\text{н}} + R_{\text{вхОБ}}) I_{\text{Э}}} = \frac{R_{\text{н}}}{R_{\text{н}} + R_{\text{вхОБ}}} \approx 1$

Характеристики усилительного каскада на БПТ	Электрические схемы включения БПТ		
	с ОБ	с ОЭ	с ОК
Входное сопротивление	низкое	среднее	высокое
Выходное сопротивление	высокое	среднее	низкое
Усиление по току	отсутствует	имеется	имеется
Усиление по напряжению	имеется	имеется	отсутствует

Температурная стабилизация рабочей точки введением отрицательной обратной связи по току эмиттера



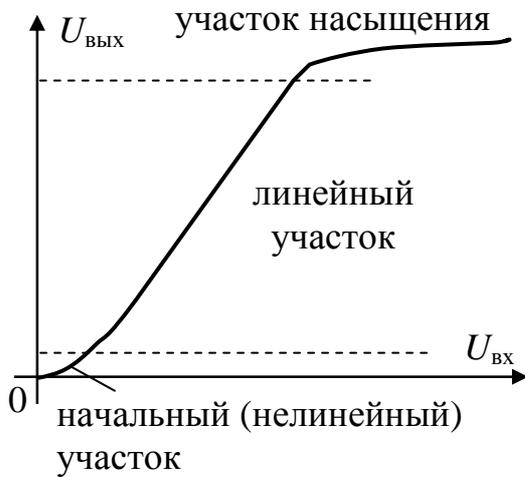
$$I_{\text{Э}} = I_{\text{Б}} + I_{\text{К}},$$

$$U_{\text{КЭ}} = U_{\text{КБ}} + U_{\text{БЭ}};$$

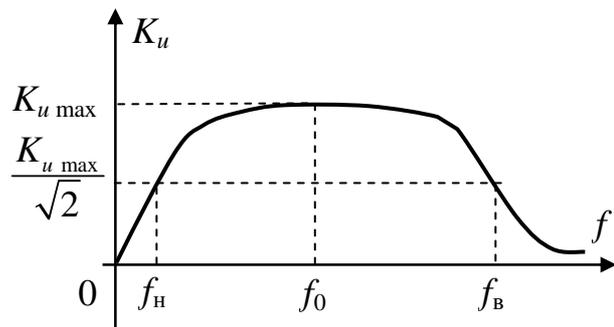
$$I_{\text{К max}} = \frac{E_{\text{К}}}{R_{\text{К}}}, \quad U_{\text{КЭ max}} = E_{\text{К}},$$

$$I_{\text{К}} = \frac{E_{\text{К}}}{R_{\text{К}}} - \frac{U_{\text{КЭ}}}{R_{\text{К}}}$$

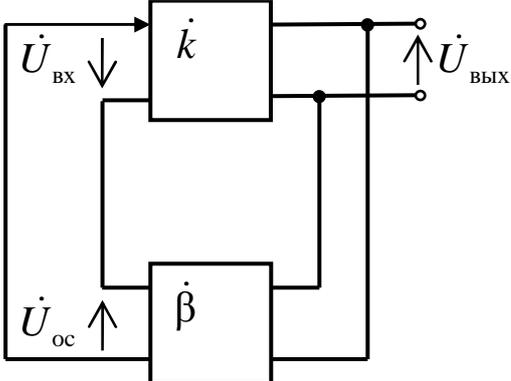
Амплитудная характеристика



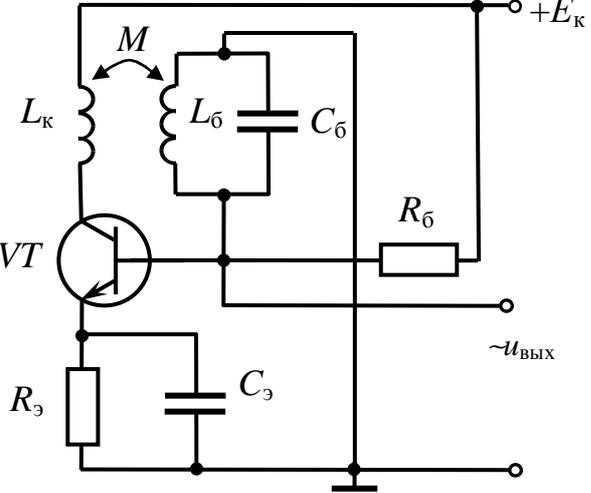
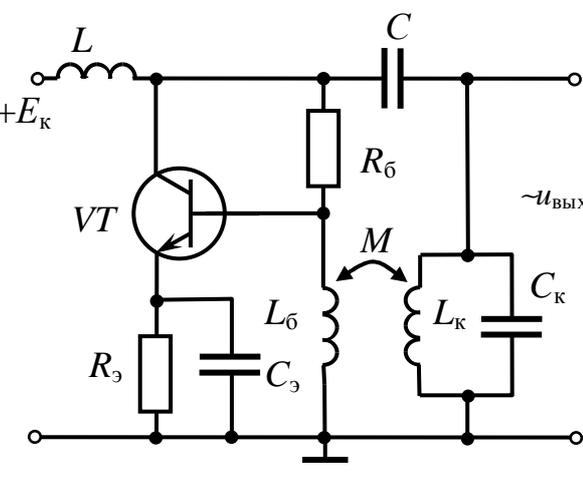
Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ)



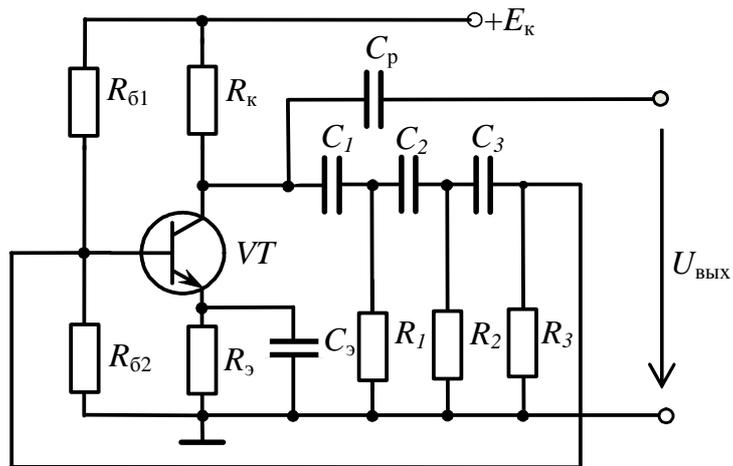
2.5. Электронные генераторы (автогенераторы)

Структурная схема	Условие самовозбуждения
	$\dot{k} \cdot \dot{\beta} = 1 \Rightarrow$ $\Rightarrow \begin{cases} \dot{k} = k \cdot e^{j\psi_u}, \\ \dot{\beta} = \beta \cdot e^{j\psi_{oc}} \end{cases}$

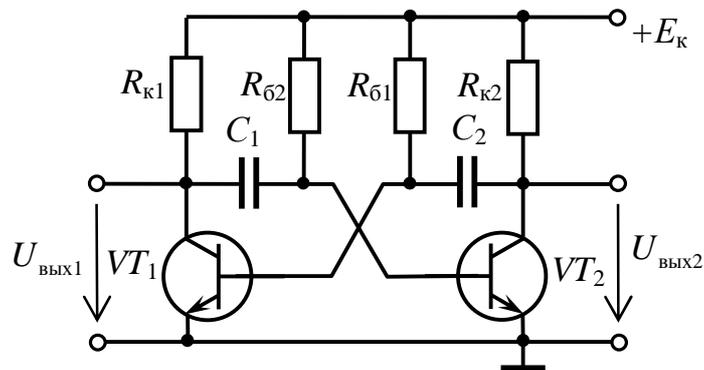
2.5.1. LC – автогенераторы

Маломощный LC – автогенератор	Мощный LC – автогенератор
	
$r_{L_6} < \sqrt{\frac{L_6}{C_6}}, \quad \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_6 C_6}},$ $\tau_{L_6} > \tau_{C_6}$	$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_k C_k}}$

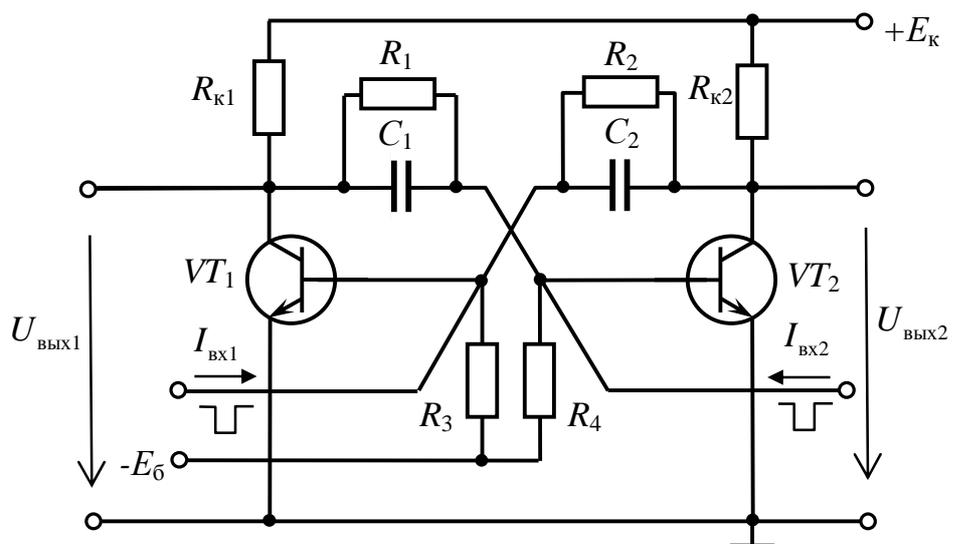
2.5.2. RC – автогенераторы



2.6. Мультивибраторы



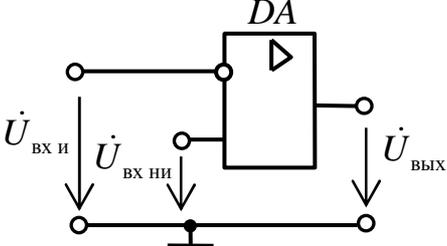
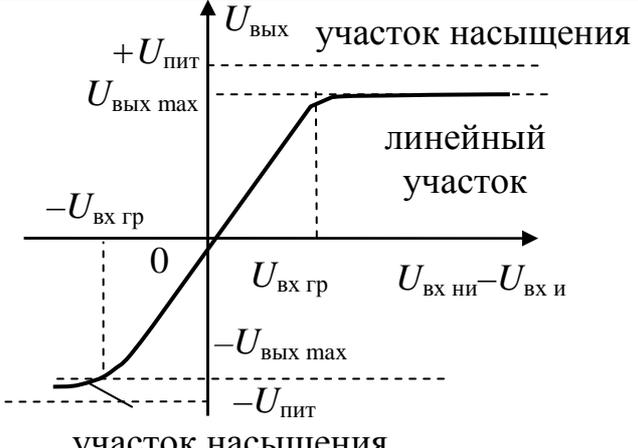
2.7. Импульсные устройства (триггеры)



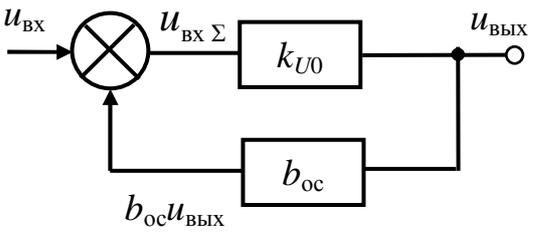
3. АНАЛОГОВАЯ СХЕМОТЕХНИКА

3.1. Операционные усилители (ОУ)

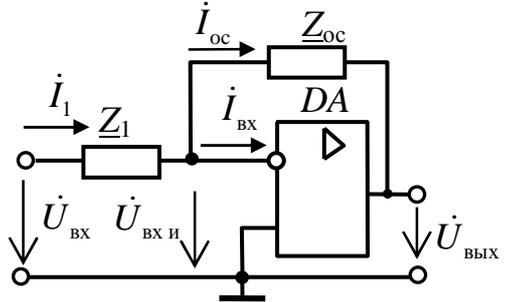
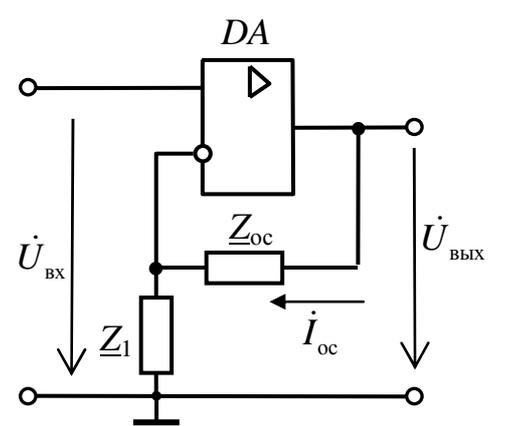
3.1.1. Основные параметры и характеристики ОУ

УГО		
Основное соотношение	$\dot{U}_{\text{ВЫХ}} = k_{U0} (\dot{U}_{\text{ВХ НИ}} - \dot{U}_{\text{ВХ И}})$	
Амплитудная характеристика		$U_{\text{ВХ гр}} = \frac{U_{\text{ВЫХ max}}}{k_{U0}}$

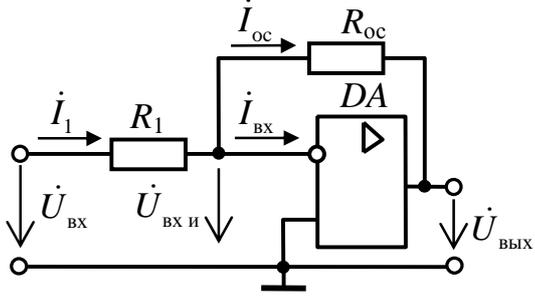
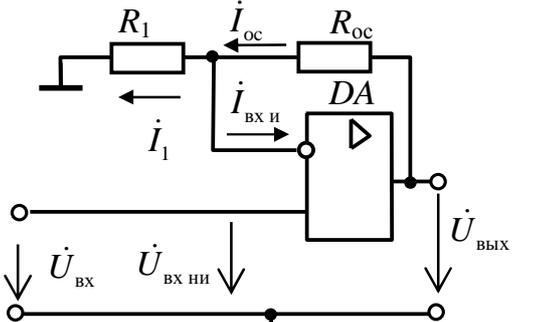
3.1.2. Обратная связь в усилителях

Структурная схема	Условие самовозбуждения
	$k_{U \text{ ПОС}} = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}} = \frac{k_{U0}}{1 - b_{oc} k_{U0}},$ $k_{U \text{ ООС}} = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}} = \frac{k_{U0}}{1 + b_{oc} k_{U0}}$

3.1.3. Основные схемы включения операционных усилителей

Электрические схемы включения	Основные соотношения
<p>Инвертирующая</p> 	$\dot{k}_U = \frac{\dot{U}_{\text{ВЫХ}}}{\dot{U}_{\text{ВХ}}} \cong -\frac{Z_{\text{oc}}}{Z_1},$ $\dot{U}_{\text{ВХ НИ}} = 0,$ $\dot{U}_{\text{ВХ И}} = \frac{Z_{\text{oc}}}{Z_{\text{oc}} + Z_1} \dot{U}_{\text{ВХ}} + \frac{Z_1}{Z_{\text{oc}} + Z_1} \dot{U}_{\text{ВЫХ}}$
<p>Неинвертирующая</p> 	$\dot{k}_U = \frac{\dot{U}_{\text{ВЫХ}}}{\dot{U}_{\text{ВХ}}} \cong 1 + \frac{Z_{\text{oc}}}{Z_1},$ $\dot{U}_{\text{ВХ НИ}} = \dot{U}_{\text{ВХ}},$ $\dot{U}_{\text{ВХ И}} = Z_1 \dot{i}_{\text{oc}} = \frac{Z_1}{Z_1 + Z_{\text{oc}}} \dot{U}_{\text{ВЫХ}}$

3.1.4. Функции ОУ

Выполняемые функции	Электрические схемы	Основные соотношения
масштабирования		$\dot{U}_{\text{ВХ НИ}} = 0,$ $\dot{k}_U = \frac{\dot{U}_{\text{ВЫХ}}}{\dot{U}_{\text{ВХ}}} \cong -\frac{R_{\text{oc}}}{R_1}$
		$\dot{k}_U = \frac{\dot{U}_{\text{ВЫХ}}}{\dot{U}_{\text{ВХ}}} \cong 1 + \frac{R_{\text{oc}}}{R_1}$

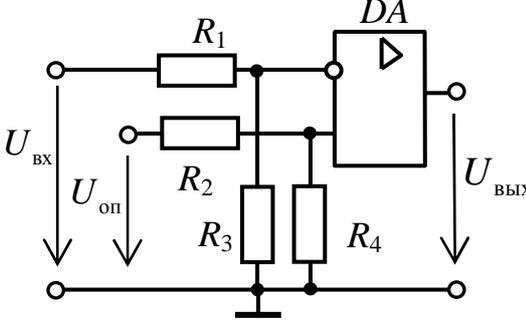
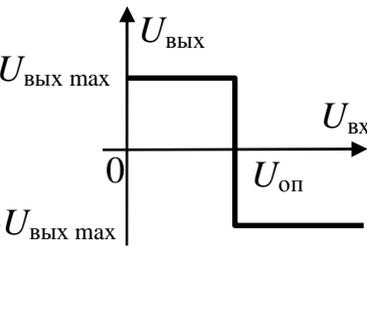
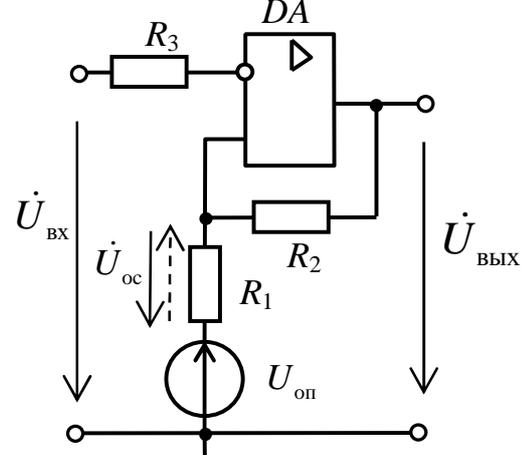
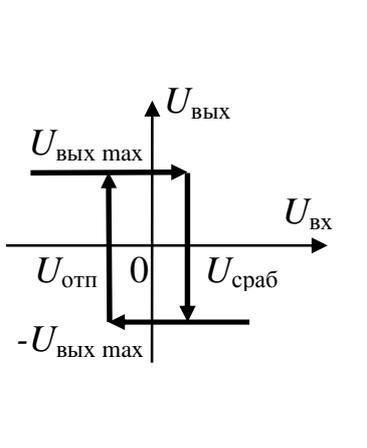
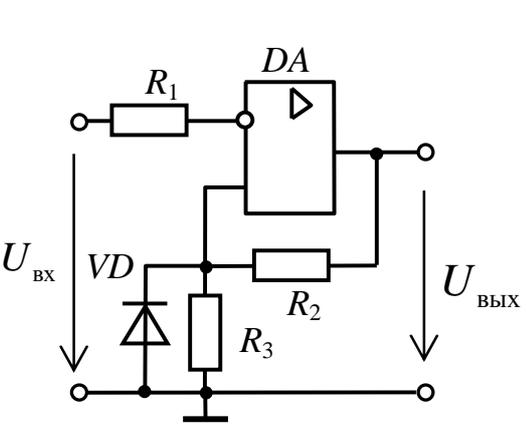
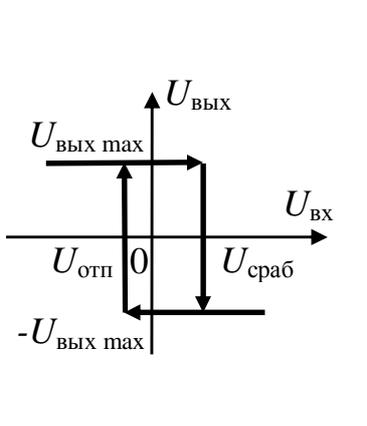
Выполняемые функции	Электрические схемы	Основные соотношения
суммирования		$k_U = \frac{\dot{U}_{\text{ВЫХ}}}{\sum_{i=1}^n \dot{U}_{\text{ВХ } i}} = -\frac{Z_{\text{oc}}}{Z_1},$ $\dot{U}_{\text{ВЫХ}} = -\frac{Z_{\text{oc}}}{Z_1} \sum_{i=1}^n \dot{U}_{\text{ВХ } i}$
дифференцирования		$u_{\text{ВЫХ}}(t) = -RC \cdot \frac{du_{\text{ВХ}}(t)}{dt}$ $k_U = -\frac{Z_{\text{oc}}}{Z_1} = -j\omega RC$
интегрирования		$u_{\text{ВЫХ}}(t) = -u_c(t) =$ $= u_{\text{ВЫХ}}(0) - \frac{1}{RC} \cdot \int_0^t u_{\text{ВХ}}(t) dt$ $k_U = -\frac{Z_{\text{oc}}}{Z_1} = -\frac{1}{j\omega RC}$
логарифмирования		$U_{\text{ВЫХ}} = U_T \ln\left(\frac{U_{\text{ВХ}}}{RI_{VD\text{Обр}}}\right)$
		$U_{\text{ВЫХ}} = U_T \ln\left(\frac{U_{\text{ВХ}}}{RI_{VT\text{Обр нас}}}\right),$ <p>где</p> $U_T = \frac{kT}{q_e}$

Выполняемые функции	Электрические схемы	Основные соотношения
потенцирования		$U_{\text{ВЫХ}} = -RI_{VD\text{обр}} e^{\frac{U_{\text{ВХ}}}{U_T}};$
		$U_{\text{ВЫХ}} = -RI_{VT\text{обр нас}} e^{\frac{U_{\text{ВХ}}}{U_T}},$ <p>где $U_T = \frac{kT}{q_e}$</p>

3.2. Активные фильтры

	ФНЧ	ФВЧ
Неинвертирующая схема		
Инвертирующая схема		
	Полоса пропускания: $(0; \omega_0)$ $\omega_0 \approx 1/(R_{oc} \cdot C_{oc})$	Полоса пропускания: $(\omega_0; \omega_{гр\text{ оу}})$ $\omega_0 \approx 1/(R \cdot C)$

3.3. Импульсные устройства (триггеры)

	Электрические схемы	Передаточные характеристики
<p>Триггер-компаратор (однопороговая схема сравнения)</p>		
<p>Триггер Шмитта (регенеративная схема сравнения)</p>		
	$U_{\text{сраб}} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_{\text{оп}} + \frac{R_1}{R_1 + R_2} U_{\text{ВЫХ max}}^+$ $U_{\text{отп}} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_{\text{оп}} + \frac{R_1}{R_1 + R_2} U_{\text{ВЫХ max}}^-$	
		

3.4. Мультивибраторы

3.4.1. Мультивибраторы в автоколебательном режиме

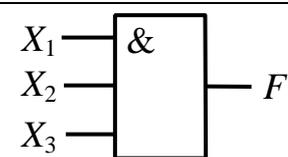
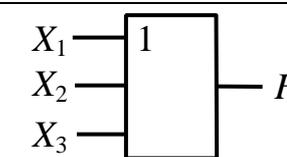
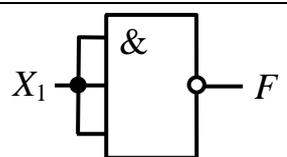
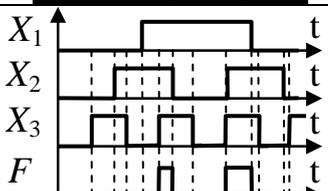
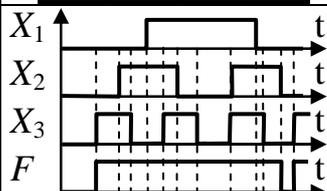
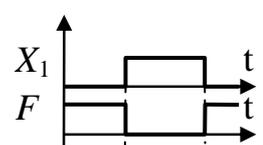
	симметричные колебания	несимметричные колебания
Электрические схемы		
Временные диаграммы		
Основные соотношения	$U_{C \max} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U_{\text{вых max}},$ $\tau = R_3 C,$ $T = 2R_3 C \ln\left(1 + 2\frac{R_1}{R_2}\right)$	$U_{C \max} = \frac{R_1}{R_1 + R_4} U_{\text{вых max}},$ $\tau_1 = R_2 C, \tau_2 = R_3 C,$ $t_{\text{и}} = R_2 C \ln\left(1 + 2\frac{R_1}{R_4}\right),$ $t_{\text{п}} = R_3 C \ln\left(1 + 2\frac{R_1}{R_4}\right),$ $T = t_{\text{и}} + t_{\text{п}}$

3.4.2. Мультивибраторы в ждущем режиме

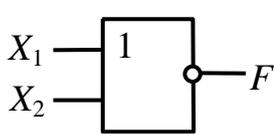
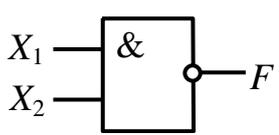
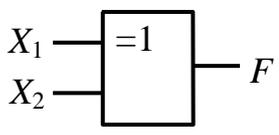
<p>Электрическая схема</p>	
<p>Временные диаграммы</p>	
<p>Основные соотношения</p>	$U_{C \max} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U_{\text{ВЫХ max}},$ $\tau = R_3 C_2,$ $t_{\text{и}} = R_3 C_2 \ln\left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right)$

4. ЦИФРОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

4.1. Базовые логические элементы (БЛЭ)

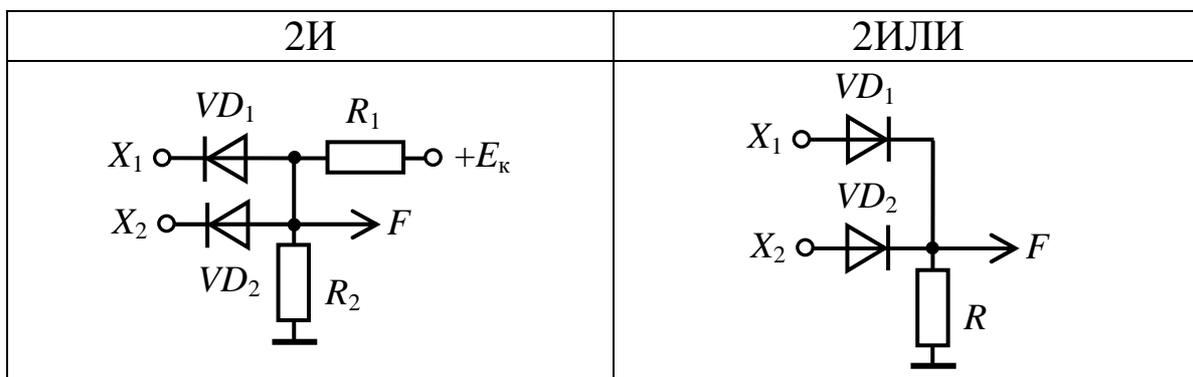
	И	ИЛИ	НЕ																																																																														
УГО																																																																																	
Реализуемые функции	$F = X_1 \wedge X_2 \wedge X_3$	$F = X_1 \vee X_2 \vee X_3$	$F = \bar{X}_1$																																																																														
Таблицы истинности	<table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr><th>X_1</th><th>X_2</th><th>X_3</th><th>F</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>	X_1	X_2	X_3	F	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	<table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr><th>X_1</th><th>X_2</th><th>X_3</th><th>F</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>	X_1	X_2	X_3	F	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	<table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr><th>X_1</th><th>F</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	X_1	F	0	1	1	0
X_1	X_2	X_3	F																																																																														
0	0	0	0																																																																														
0	0	1	0																																																																														
0	1	0	0																																																																														
0	1	1	0																																																																														
1	0	0	0																																																																														
1	0	1	0																																																																														
1	1	0	0																																																																														
1	1	1	1																																																																														
X_1	X_2	X_3	F																																																																														
0	0	0	0																																																																														
0	0	1	1																																																																														
0	1	0	1																																																																														
0	1	1	1																																																																														
1	0	0	1																																																																														
1	0	1	1																																																																														
1	1	0	1																																																																														
1	1	1	1																																																																														
X_1	F																																																																																
0	1																																																																																
1	0																																																																																
Временные диаграммы																																																																																	

4.2. Основные типы логических элементов

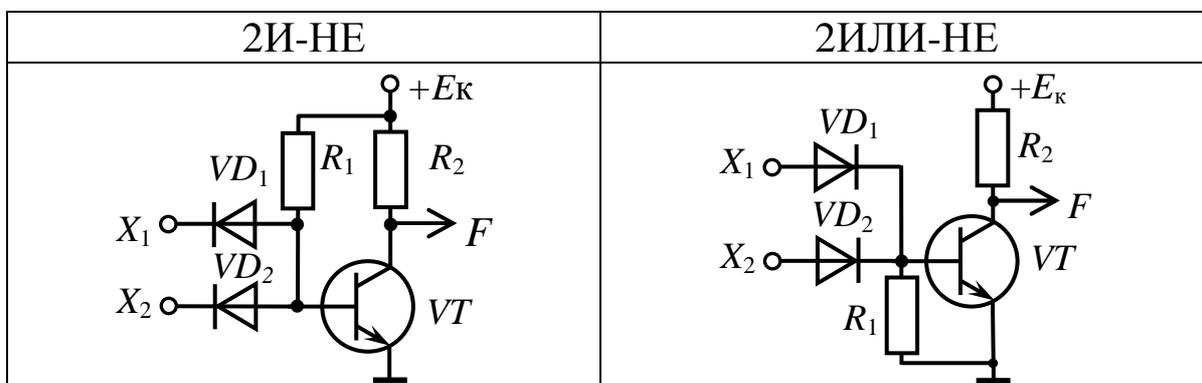
	Названия	Реализуемые функции	Таблицы истинности	УГО															
ИЛИ-НЕ	Стрелка Пирса	$F = \overline{X_1 \vee X_2}$	<table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr><th>X_1</th><th>0</th><th>1</th><th>0</th><th>1</th></tr> </thead> <tbody> <tr><th>X_2</th><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><th>F</th><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	X_1	0	1	0	1	X_2	0	0	1	1	F	1	0	0	0	
X_1	0	1	0	1															
X_2	0	0	1	1															
F	1	0	0	0															
И-НЕ	Штрих Шеффера	$F = \overline{X_1 \wedge X_2}$	<table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr><th>X_1</th><th>0</th><th>1</th><th>0</th><th>1</th></tr> </thead> <tbody> <tr><th>X_2</th><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><th>F</th><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	X_1	0	1	0	1	X_2	0	0	1	1	F	1	1	1	0	
X_1	0	1	0	1															
X_2	0	0	1	1															
F	1	1	1	0															
Исключающее ИЛИ	Сумма по модулю 2	$F = X_1 \oplus X_2$	<table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr><th>X_1</th><th>0</th><th>1</th><th>0</th><th>1</th></tr> </thead> <tbody> <tr><th>X_2</th><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><th>F</th><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	X_1	0	1	0	1	X_2	0	0	1	1	F	0	1	1	0	
X_1	0	1	0	1															
X_2	0	0	1	1															
F	0	1	1	0															

4.3. Основные типы БЛЭ

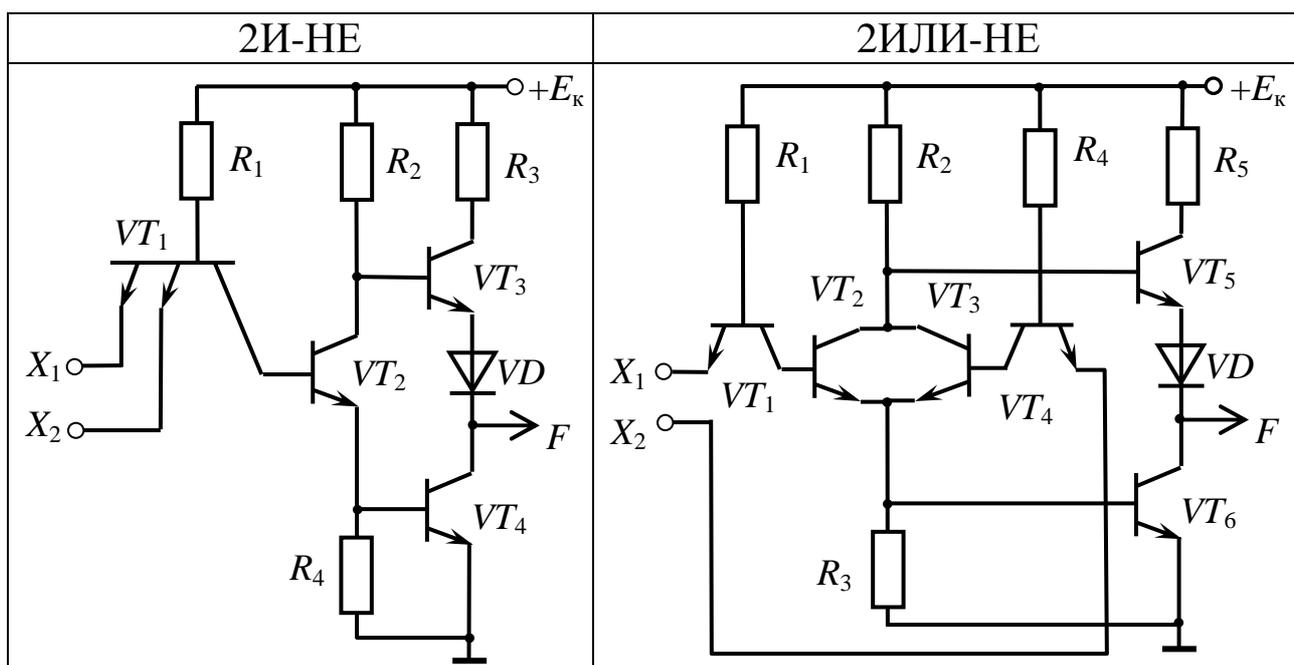
4.3.1. Диодная логика



4.3.2. ДТЛ – логика



4.3.3. ТТЛ - логика



4.4. Импульсные устройства (триггеры)

4.4.1. Триггеры со статическим управлением

Типы	УГО	Функциональные схемы	Таблицы истинности																																																												
Асинхронный RS-триггер			<table border="1"> <thead> <tr> <th>R</th> <th>S</th> <th>Q_t</th> <th>\bar{Q}_t</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>Q_{t-1}</td> <td>\bar{Q}_{t-1}</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>*</td> <td>*</td> </tr> </tbody> </table>	R	S	Q_t	\bar{Q}_t	0	0	Q_{t-1}	\bar{Q}_{t-1}	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1	*	*																																								
	R	S	Q_t	\bar{Q}_t																																																											
0	0	Q_{t-1}	\bar{Q}_{t-1}																																																												
0	1	1	0																																																												
1	0	0	1																																																												
1	1	*	*																																																												
			<table border="1"> <thead> <tr> <th>\bar{S}</th> <th>\bar{R}</th> <th>Q_t</th> <th>\bar{Q}_t</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>*</td> <td>*</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>Q_{t-1}</td> <td>\bar{Q}_{t-1}</td> </tr> </tbody> </table>	\bar{S}	\bar{R}	Q_t	\bar{Q}_t	0	0	*	*	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1	Q_{t-1}	\bar{Q}_{t-1}																																								
\bar{S}	\bar{R}	Q_t	\bar{Q}_t																																																												
0	0	*	*																																																												
0	1	1	0																																																												
1	0	0	1																																																												
1	1	Q_{t-1}	\bar{Q}_{t-1}																																																												
Синхронный RS-триггер			<table border="1"> <thead> <tr> <th>C</th> <th>R</th> <th>S</th> <th>Q_t</th> <th>\bar{Q}_t</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4">0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td rowspan="4">Q_{t-1}</td> <td rowspan="4">\bar{Q}_{t-1}</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td rowspan="4">1</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>Q_{t-1}</td> <td>\bar{Q}_{t-1}</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>*</td> <td>*</td> </tr> </tbody> </table> <p>ИЛИ</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>C</th> <th>R</th> <th>S</th> <th>Q_t</th> <th>\bar{Q}_t</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>X</td> <td>X</td> <td>Q_{t-1}</td> <td>\bar{Q}_{t-1}</td> </tr> <tr> <td rowspan="4">1</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>Q_{t-1}</td> <td>\bar{Q}_{t-1}</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>*</td> <td>*</td> </tr> </tbody> </table>	C	R	S	Q_t	\bar{Q}_t	0	0	0	Q_{t-1}	\bar{Q}_{t-1}	0	1	1	0	1	1	1	0	0	Q_{t-1}	\bar{Q}_{t-1}	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1	*	*	C	R	S	Q_t	\bar{Q}_t	0	X	X	Q_{t-1}	\bar{Q}_{t-1}	1	0	0	Q_{t-1}	\bar{Q}_{t-1}	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1	*	*
C	R	S	Q_t	\bar{Q}_t																																																											
0	0	0	Q_{t-1}	\bar{Q}_{t-1}																																																											
	0	1																																																													
	1	0																																																													
	1	1																																																													
1	0	0	Q_{t-1}	\bar{Q}_{t-1}																																																											
	0	1	1	0																																																											
	1	0	0	1																																																											
	1	1	*	*																																																											
C	R	S	Q_t	\bar{Q}_t																																																											
0	X	X	Q_{t-1}	\bar{Q}_{t-1}																																																											
1	0	0	Q_{t-1}	\bar{Q}_{t-1}																																																											
	0	1	1	0																																																											
	1	0	0	1																																																											
	1	1	*	*																																																											

Типы	УГО	Функциональные схемы	Таблицы истинности																																	
Синхронный RS-триггер			<table border="1"> <thead> <tr> <th>C</th> <th>R</th> <th>S</th> <th>Q_t</th> <th>\bar{Q}_t</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4">0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td rowspan="4">Q_{t-1}</td> <td rowspan="4">\bar{Q}_{t-1}</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td rowspan="4">1</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>Q_{t-1}</td> <td>\bar{Q}_{t-1}</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>*</td> <td>*</td> </tr> </tbody> </table>	C	R	S	Q_t	\bar{Q}_t	0	0	0	Q_{t-1}	\bar{Q}_{t-1}	0	1	1	0	1	1	1	0	0	Q_{t-1}	\bar{Q}_{t-1}	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1	*	*
C	R	S	Q_t	\bar{Q}_t																																
0	0	0	Q_{t-1}	\bar{Q}_{t-1}																																
	0	1																																		
	1	0																																		
	1	1																																		
1	0	0	Q_{t-1}	\bar{Q}_{t-1}																																
	0	1	1	0																																
	1	0	0	1																																
	1	1	*	*																																
Синхронный D-триггер			<table border="1"> <thead> <tr> <th>C</th> <th>D</th> <th>Q_t</th> <th>\bar{Q}_t</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">0</td> <td>0</td> <td rowspan="2">Q_{t-1}</td> <td rowspan="2">\bar{Q}_{t-1}</td> </tr> <tr> <td>1</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">1</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	C	D	Q_t	\bar{Q}_t	0	0	Q_{t-1}	\bar{Q}_{t-1}	1	1	0	0	1	1	1	0																	
C	D	Q_t	\bar{Q}_t																																	
0	0	Q_{t-1}	\bar{Q}_{t-1}																																	
	1																																			
1	0	0	1																																	
	1	1	0																																	
Асинхронный T-триггер			<table border="1"> <thead> <tr> <th>T</th> <th>Q_t</th> <th>\bar{Q}_t</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>Q_{t-1}</td> <td>\bar{Q}_{t-1}</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>\bar{Q}_{t-1}</td> <td>Q_{t-1}</td> </tr> </tbody> </table>	T	Q_t	\bar{Q}_t	0	Q_{t-1}	\bar{Q}_{t-1}	1	\bar{Q}_{t-1}	Q_{t-1}																								
T	Q_t	\bar{Q}_t																																		
0	Q_{t-1}	\bar{Q}_{t-1}																																		
1	\bar{Q}_{t-1}	Q_{t-1}																																		
JK-триггер			<table border="1"> <thead> <tr> <th>C</th> <th>J</th> <th>K</th> <th>Q_t</th> <th>\bar{Q}_t</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4">0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td rowspan="4">Q_{t-1}</td> <td rowspan="4">\bar{Q}_{t-1}</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td rowspan="4">1</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>Q_{t-1}</td> <td>\bar{Q}_{t-1}</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>\bar{Q}_{t-1}</td> <td>Q_{t-1}</td> </tr> </tbody> </table>	C	J	K	Q_t	\bar{Q}_t	0	0	0	Q_{t-1}	\bar{Q}_{t-1}	0	1	1	0	1	1	1	0	0	Q_{t-1}	\bar{Q}_{t-1}	0	1	0	1	1	0	1	0	1	1	\bar{Q}_{t-1}	Q_{t-1}
C	J	K	Q_t	\bar{Q}_t																																
0	0	0	Q_{t-1}	\bar{Q}_{t-1}																																
	0	1																																		
	1	0																																		
	1	1																																		
1	0	0	Q_{t-1}	\bar{Q}_{t-1}																																
	0	1	0	1																																
	1	0	1	0																																
	1	1	\bar{Q}_{t-1}	Q_{t-1}																																

4.4.2. Триггеры с динамическим управлением (на примере синхронного JK-триггера с динамическим управлением)

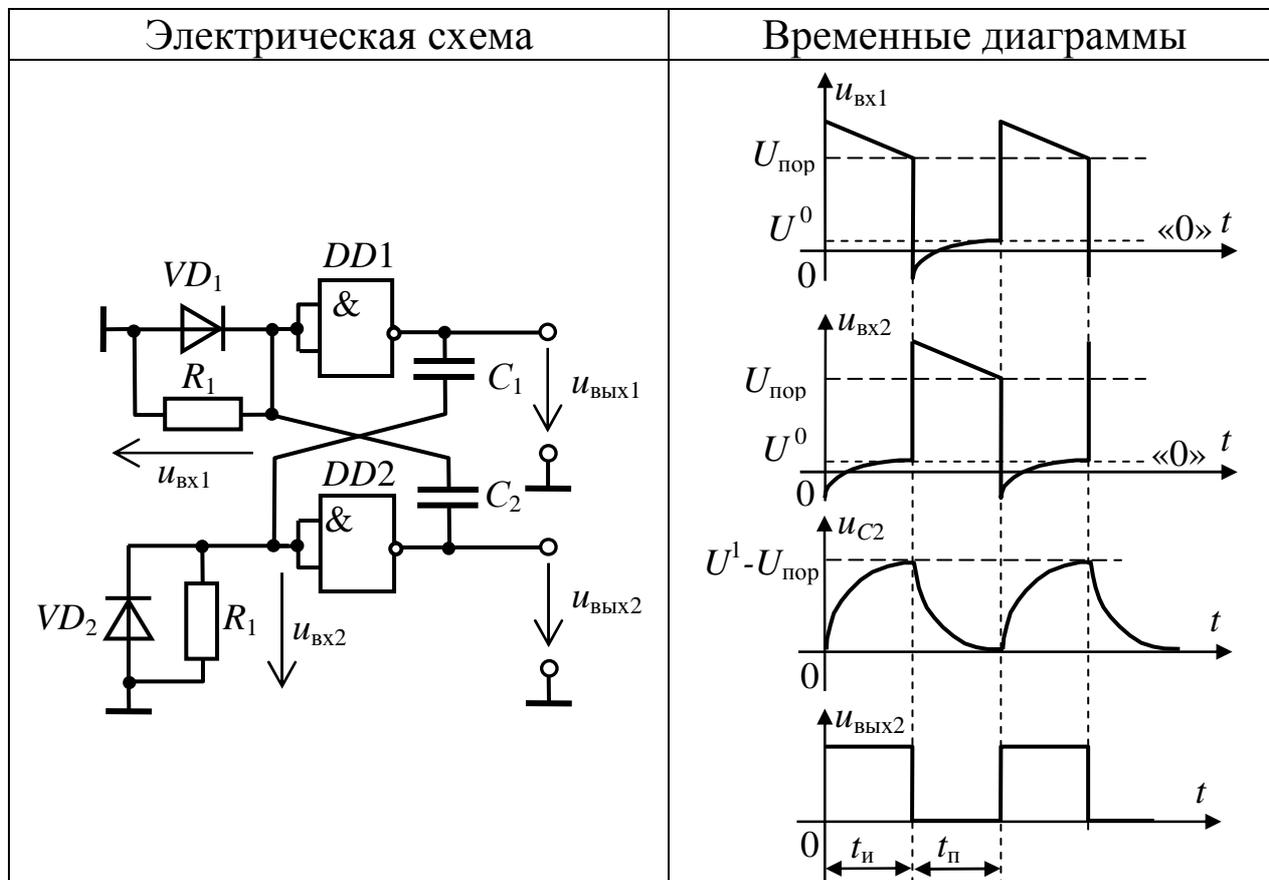
Типы	УГО	Таблицы истинности	Временные диаграммы																														
С прямым динамическим входом (по фронту)		<table border="1"> <thead> <tr> <th>C</th> <th>J</th> <th>K</th> <th>Q_t</th> <th>\bar{Q}_t</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>X</td> <td>X</td> <td rowspan="2">Q_{t-1}</td> <td rowspan="2">\bar{Q}_{t-1}</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>X</td> <td>X</td> </tr> <tr> <td rowspan="4">↑</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>Q_{t-1}</td> <td>\bar{Q}_{t-1}</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>\bar{Q}_{t-1}</td> <td>Q_{t-1}</td> </tr> </tbody> </table>	C	J	K	Q_t	\bar{Q}_t	0	X	X	Q_{t-1}	\bar{Q}_{t-1}	1	X	X	↑	0	0	Q_{t-1}	\bar{Q}_{t-1}	0	1	0	1	1	0	1	0	1	1	\bar{Q}_{t-1}	Q_{t-1}	
C	J	K	Q_t	\bar{Q}_t																													
0	X	X	Q_{t-1}	\bar{Q}_{t-1}																													
1	X	X																															
↑	0	0	Q_{t-1}	\bar{Q}_{t-1}																													
	0	1	0	1																													
	1	0	1	0																													
	1	1	\bar{Q}_{t-1}	Q_{t-1}																													
С инверсным динамическим входом (по срезу)		<table border="1"> <thead> <tr> <th>C</th> <th>J</th> <th>K</th> <th>Q_t</th> <th>\bar{Q}_t</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>X</td> <td>X</td> <td rowspan="2">Q_{t-1}</td> <td rowspan="2">\bar{Q}_{t-1}</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>X</td> <td>X</td> </tr> <tr> <td rowspan="4">↓</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>Q_{t-1}</td> <td>\bar{Q}_{t-1}</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>\bar{Q}_{t-1}</td> <td>Q_{t-1}</td> </tr> </tbody> </table>	C	J	K	Q_t	\bar{Q}_t	0	X	X	Q_{t-1}	\bar{Q}_{t-1}	1	X	X	↓	0	0	Q_{t-1}	\bar{Q}_{t-1}	0	1	0	1	1	0	1	0	1	1	\bar{Q}_{t-1}	Q_{t-1}	
C	J	K	Q_t	\bar{Q}_t																													
0	X	X	Q_{t-1}	\bar{Q}_{t-1}																													
1	X	X																															
↓	0	0	Q_{t-1}	\bar{Q}_{t-1}																													
	0	1	0	1																													
	1	0	1	0																													
	1	1	\bar{Q}_{t-1}	Q_{t-1}																													

4.4.3. Триггеры на основе универсального JK-триггера

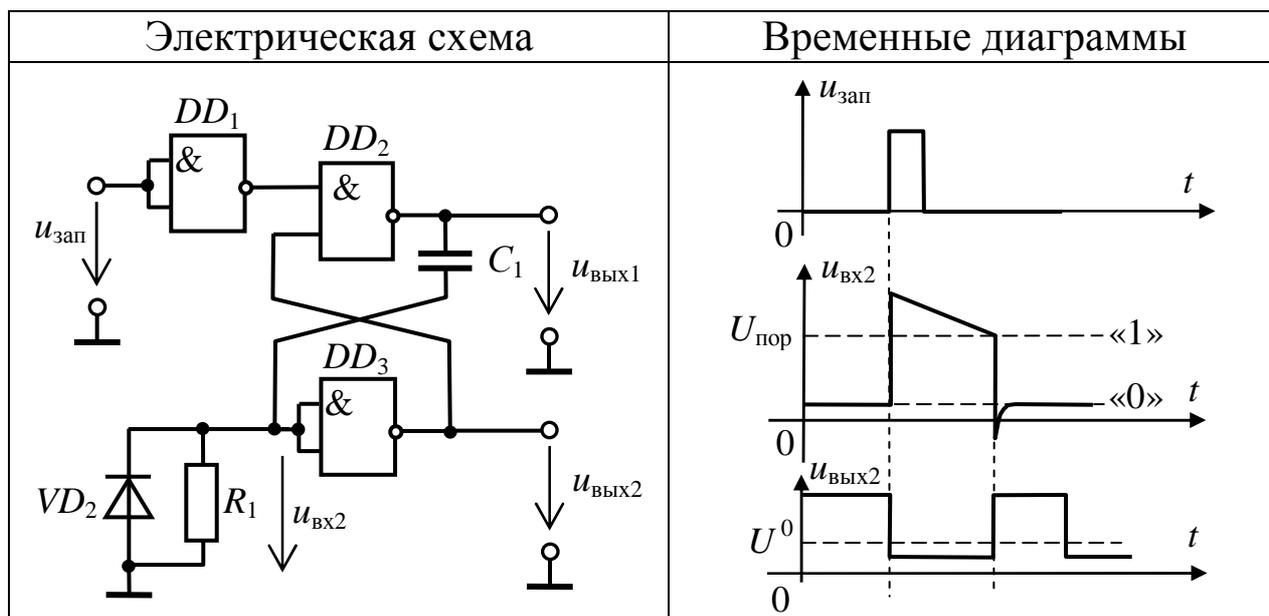
Типы триггера	асинхронный	синхронный
RS-триггер		
T-триггер		
D-триггер		

4.5. Мультивибраторы

4.5.1. Мультивибраторы в автоколебательном режиме (автогенераторы)



4.5.2. Мультивибраторы в ждущем режиме



4.6. Шифраторы

Функциональная схема	Таблица истинности	УГО																																																																																																													
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="7">Входы</th> <th colspan="3">Выходы</th> </tr> <tr> <th>I_0</th> <th>I_1</th> <th>I_2</th> <th>I_3</th> <th>I_4</th> <th>I_5</th> <th>I_6</th> <th>I_7</th> <th>A_2</th> <th>A_1</th> <th>A_0</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>	Входы							Выходы			I_0	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6	I_7	A_2	A_1	A_0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	
Входы							Выходы																																																																																																								
I_0	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6	I_7	A_2	A_1	A_0																																																																																																					
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																					
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1																																																																																																					
0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0																																																																																																					
0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1																																																																																																					
0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0																																																																																																					
0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1																																																																																																					
0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0																																																																																																					
0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1																																																																																																					

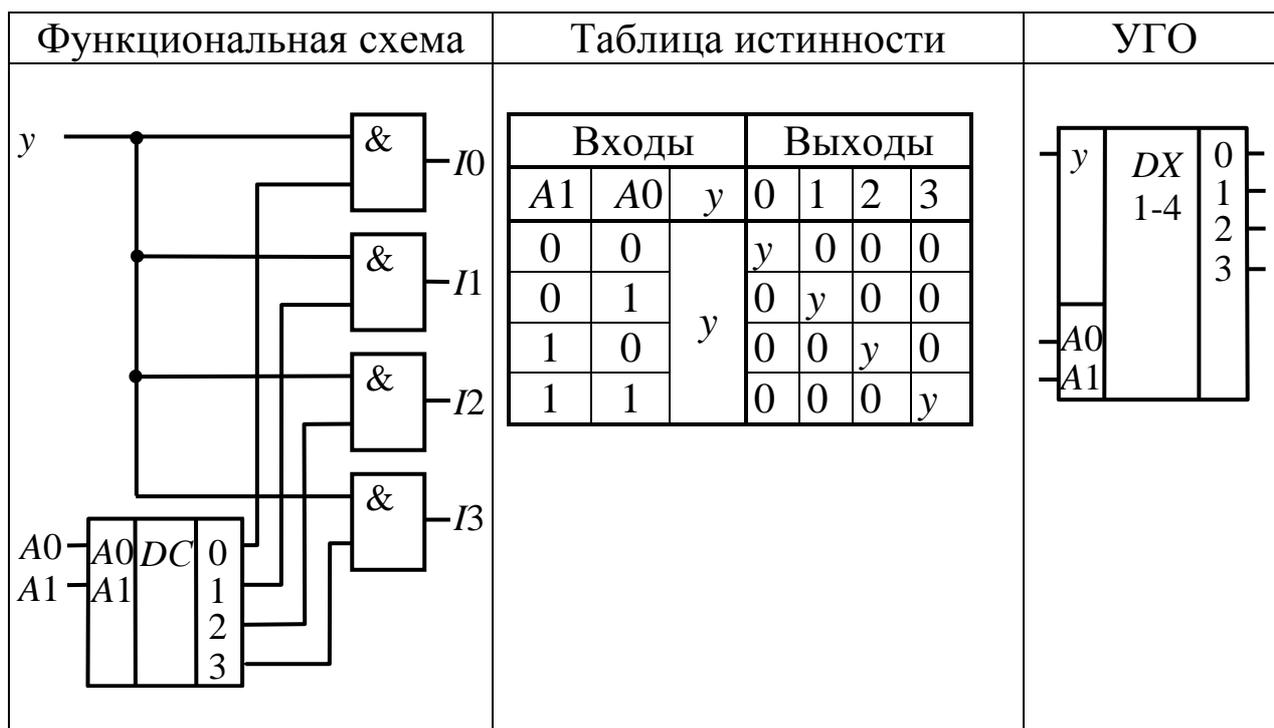
4.7. Дешифраторы

Функциональная схема	Таблица истинности	УГО																																																																																																													
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">Входы</th> <th colspan="7">Выходы</th> </tr> <tr> <th>A_2</th> <th>A_1</th> <th>A_0</th> <th>0</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> <th>7</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>	Входы			Выходы							A_2	A_1	A_0	0	1	2	3	4	5	6	7	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	
Входы			Выходы																																																																																																												
A_2	A_1	A_0	0	1	2	3	4	5	6	7																																																																																																					
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																					
0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0																																																																																																					
0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0																																																																																																					
0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0																																																																																																					
1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0																																																																																																					
1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0																																																																																																					
1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0																																																																																																					
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1																																																																																																					

4.8. Мультиплексоры



4.9. Демультимплексоры



4.10. Регистры

Типы	Функциональные схемы	Таблицы истинности	УГО																				
Параллельный (регистр памяти)		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">Входы</th> <th colspan="2">Выходы</th> </tr> <tr> <th>C</th> <th>$D0$</th> <th>$D1$</th> <th>$Q0_t$</th> <th>$Q1_t$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>x</td> <td>x</td> <td>$Q0_{t-1}$</td> <td>$Q1_{t-1}$</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>a</td> <td>b</td> <td>a</td> <td>b</td> </tr> </tbody> </table>	Входы			Выходы		C	$D0$	$D1$	$Q0_t$	$Q1_t$	0	x	x	$Q0_{t-1}$	$Q1_{t-1}$	1	a	b	a	b	
Входы			Выходы																				
C	$D0$	$D1$	$Q0_t$	$Q1_t$																			
0	x	x	$Q0_{t-1}$	$Q1_{t-1}$																			
1	a	b	a	b																			
Последовательный (регистр сдвига)		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Входы</th> <th colspan="2">Выходы</th> </tr> <tr> <th>C</th> <th>$D0$</th> <th>Q_t</th> <th>\bar{Q}_t</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>x</td> <td>Q_{t-1}</td> <td>\bar{Q}_{t-1}</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>$D0_t$</td> <td>$D0_{t-1}$</td> <td>$\bar{D0}_{t-1}$</td> </tr> </tbody> </table>	Входы		Выходы		C	$D0$	Q_t	\bar{Q}_t	0	x	Q_{t-1}	\bar{Q}_{t-1}	1	$D0_t$	$D0_{t-1}$	$\bar{D0}_{t-1}$					
Входы		Выходы																					
C	$D0$	Q_t	\bar{Q}_t																				
0	x	Q_{t-1}	\bar{Q}_{t-1}																				
1	$D0_t$	$D0_{t-1}$	$\bar{D0}_{t-1}$																				

4.11. Счётчики

Типы	Функциональные схемы	Таблицы состояний	УГО																											
Двоичный суммирующий счётчик с последовательным переносом		<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Счёт</th> <th rowspan="2">Вход</th> <th colspan="2">Выходы</th> </tr> <tr> <th>$Q1$</th> <th>$Q0$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>C</td> <td>R</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>x</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td rowspan="4">0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	Счёт	Вход	Выходы		$Q1$	$Q0$	C	R			x	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	2	1	0	3	1	1	
Счёт	Вход	Выходы																												
		$Q1$	$Q0$																											
C	R																													
x	1	0	0																											
0	0	0	0																											
1		0	1																											
2		1	0																											
3		1	1																											

Типы	Функциональные схемы	Таблицы состояний	УГО																																		
Двоичный вычитающий счётчик с последовательным переносом		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Счёт</th> <th>Вход</th> <th colspan="2">Выходы</th> </tr> <tr> <th><i>C</i></th> <th><i>S</i></th> <th><i>Q1</i></th> <th><i>Q0</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>x</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td rowspan="4">0</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	Счёт	Вход	Выходы		<i>C</i>	<i>S</i>	<i>Q1</i>	<i>Q0</i>	x	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	2	0	1	3	0	0										
Счёт	Вход	Выходы																																			
<i>C</i>	<i>S</i>	<i>Q1</i>	<i>Q0</i>																																		
x	1	1	1																																		
0	0	1	1																																		
1		1	0																																		
2		0	1																																		
3		0	0																																		
Двоичный реверсивный счётчик с последовательным переносом		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Счёт</th> <th>Вход</th> <th colspan="2">Выходы</th> </tr> <tr> <th><i>C</i></th> <th><i>V</i></th> <th><i>Q1</i></th> <th><i>Q0</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td rowspan="4">0</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td rowspan="4">1</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	Счёт	Вход	Выходы		<i>C</i>	<i>V</i>	<i>Q1</i>	<i>Q0</i>	0	0	1	1	1	1	0	2	0	1	3	0	0	0	1	0	0	1	0	1	2	1	0	3	1	1	
Счёт	Вход	Выходы																																			
<i>C</i>	<i>V</i>	<i>Q1</i>	<i>Q0</i>																																		
0	0	1	1																																		
1		1	0																																		
2		0	1																																		
3		0	0																																		
0	1	0	0																																		
1		0	1																																		
2		1	0																																		
3		1	1																																		

4.12. Сумматоры

Типы	Функциональные схемы	УГО
Двоичный полусумматор		

<p>Одноразрядный сумматор</p>		
<p>Последовательный многоразрядный сумматор</p>		
<p>Параллельный многоразрядный сумматор</p>		

5. ДИСКРЕТНО-АНАЛОГОВЫЕ УСТРОЙСТВА

5.1. Цифро-аналоговые преобразователи (ЦАП)

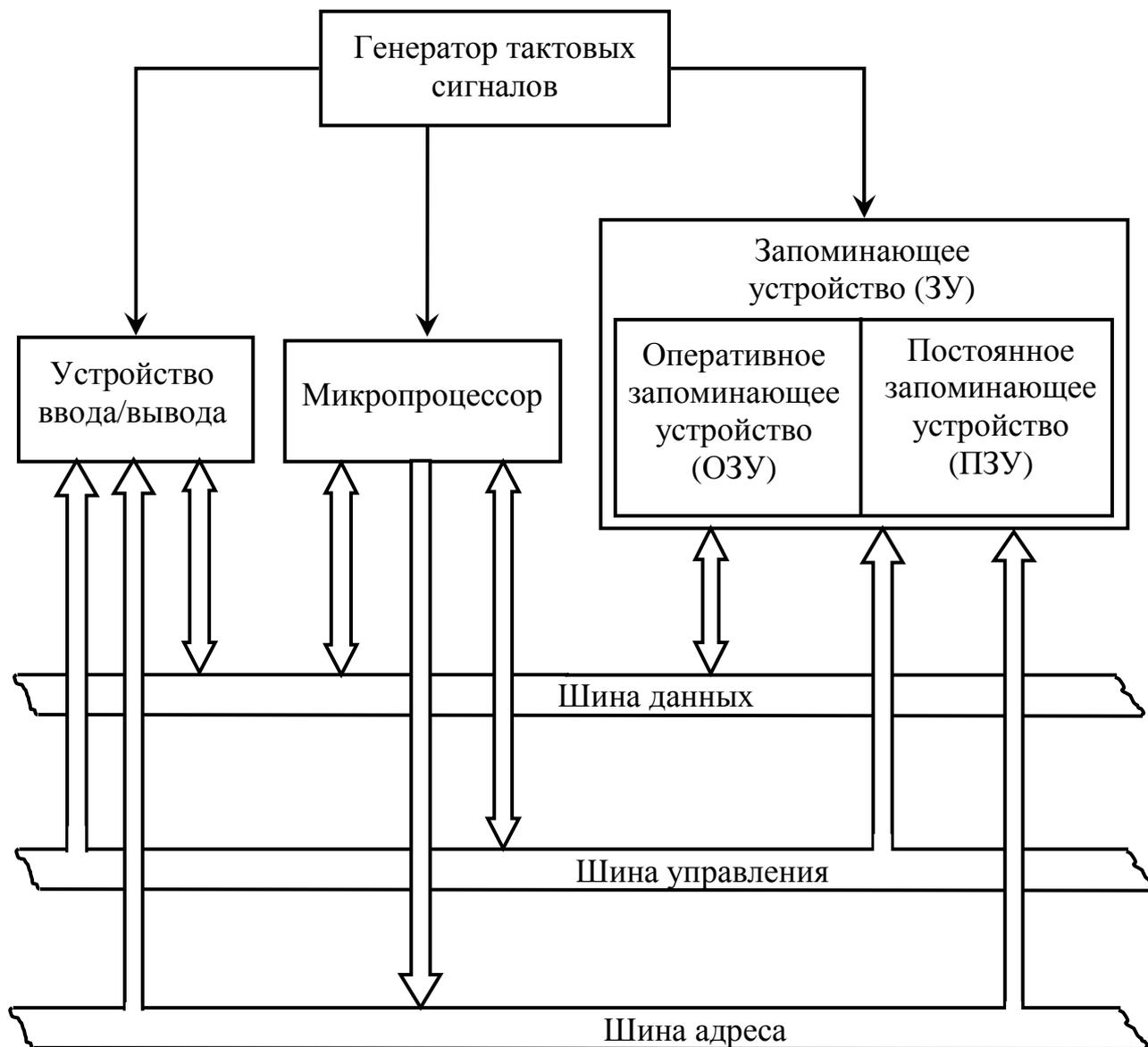
Электрическая схема	
Основные соотношения	$I_0 = \frac{U_{\text{оп}}}{R},$ $I_{\Sigma} = I_0 \cdot 2^0 \cdot X_0 + I_0 \cdot 2^1 \cdot X_1 + \dots + I_0 \cdot 2^n \cdot X_n = I_0 \sum_{i=0}^n 2^i X_i,$ $U_{\text{вых}} = R_{\text{ооc}} I_{\Sigma} = R_{\text{ооc}} I_0 \sum_{i=0}^n 2^i X_i = (2^0 \cdot X_0 + 2^1 \cdot X_1 + \dots + 2^n \cdot X_n) \frac{R_{\text{ооc}}}{R} U_{\text{оп}}$

5.2. Аналого-цифровые преобразователи (АЦП)

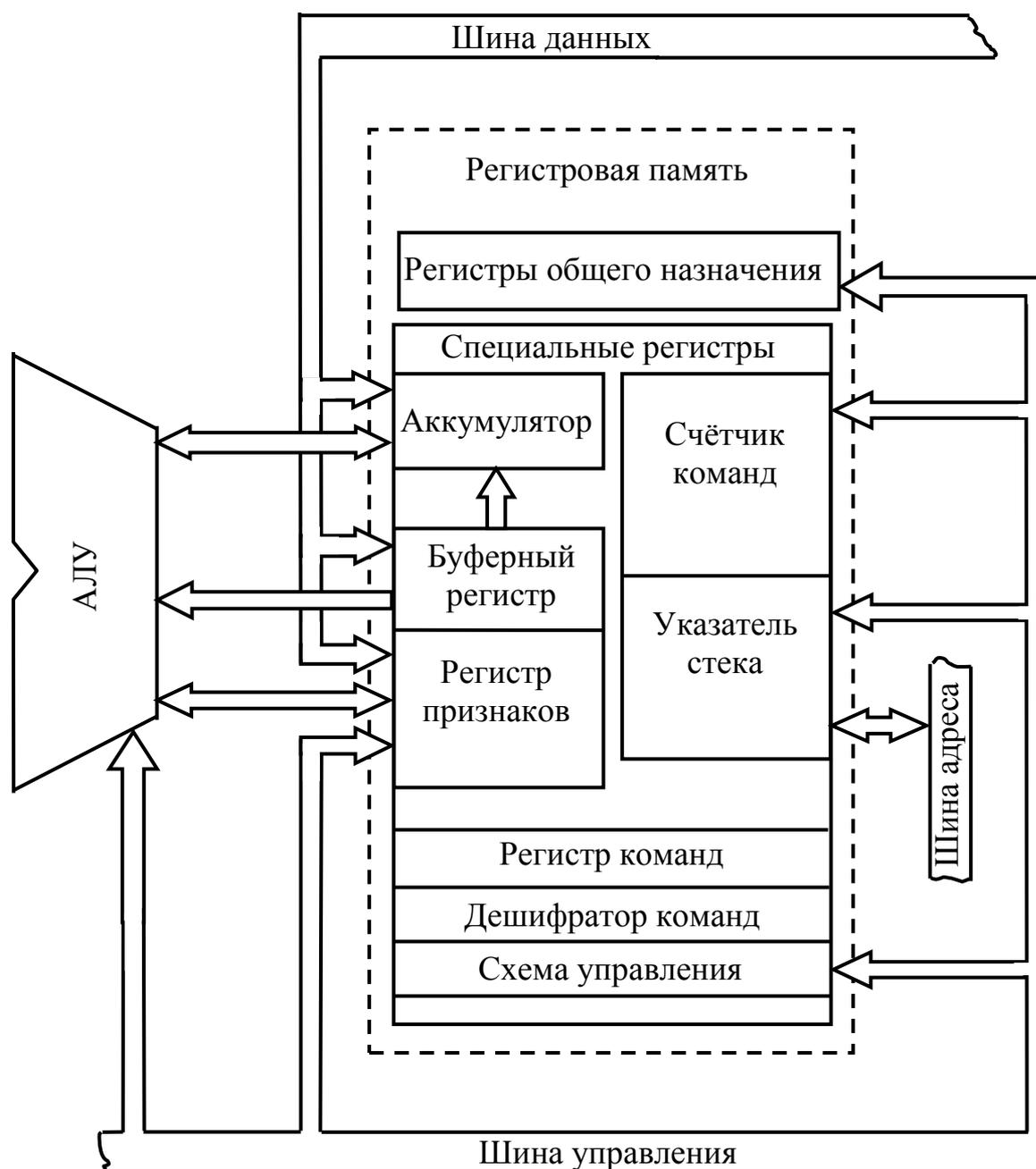
Функциональная схема	Временные диаграммы

6. МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ ТЕХНИКА

6.1. Структурная схема микроЭВМ



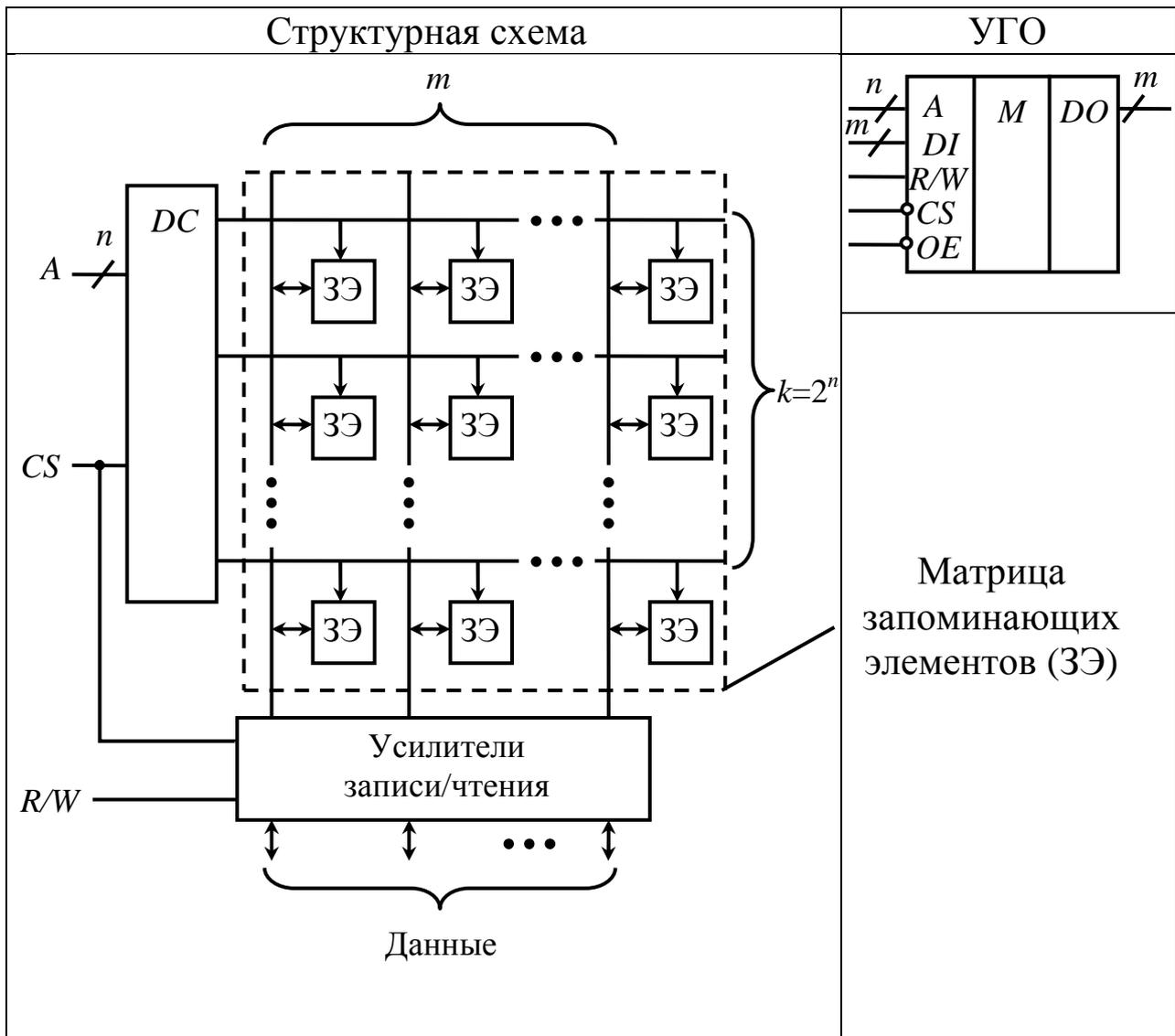
6.2. Структурная схема микропроцессора



6.2.1. Арифметико-логическое устройство (АЛУ)

УГО		Перечень выполняемых операций					
		s3	s2	s1	s0	Логические функции (M=1)	Арифметико-логические функции (M=0)
		0	0	0	0	\bar{A}	$A + C_i$
		0	0	0	1	$\overline{A \vee B}$	$A \vee B + C_i$
		0	0	1	0	$\bar{A}B$	$A \vee \bar{B} + C_i$
		0	0	1	1	0	$1 + C_i$
		0	1	0	0	\overline{AB}	$A + \bar{A}B + C_i$
		0	1	0	1	\bar{B}	$A \vee B + \bar{A}\bar{B} + C_i$
		0	1	1	0	$A \oplus B$	$A + \bar{B} + C_i$
		0	1	1	1	$A\bar{B}$	$A\bar{B} + 1 + C_i$
		1	0	0	0	$\bar{A} \vee B$	$A + AB + C_i$
		1	0	0	1	$\overline{A \oplus B}$	$A + B + C_i$
		1	0	1	0	B	$A \vee \bar{B} + AB + C_i$
		1	0	1	1	AB	$AB + 1 + C_i$
		1	1	0	0	1	$A + A + C_i$
		1	1	0	1	$A \vee \bar{B}$	$A \vee B + A + C_i$
		1	1	1	0	$A \vee B$	$A \vee \bar{B} + A + C_i$
		1	1	1	1	A	$A + 1 + C_i$

6.2.2. Запоминающее устройство



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Опадчий Ю. Ф., Глудкин О. П., Гуров А. И. Аналоговая и цифровая электроника (полный курс): учебник для вузов. Под ред. О. П. Глудкина. – М: Горячая линия–Телеком, 2007. – 768 с.

2. Лачин В. И., Савелов Н. С. Электроника: учебное пособие. – 8-е изд.– Ростов-н/Д.: Изд-во Феникс, 2010. – 703 с.

3. Миловзоров О. В., Панков И. Г. Электроника: учебник для бакалавров – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во Юрайт, 2015. – 407с.

4. Волович Г. И. Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств. – 5-е изд. – М.: Додэка-XXI, 2011. – 528с.

5. Новожилов О. П. Электротехника и электроника: учебник для бакалавров – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Изд-во Юрайт, 2014. – 653с.

Составители: АХМАДЕЕВ Рашит Вадутович
КРЫМСКАЯ Татьяна Махмутовна
МЕЛЬНИЧУК Ольга Васильевна

ОПОРНЫЙ КОНСПЕКТ ПО РАЗДЕЛУ «ЭЛЕКТРОНИКА»
КУРСА «ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА»

Методические рекомендации
к изучению дисциплины «Электротехника и электроника»

Подписано в печать 20.12.16. Формат 60×84 1/16.
Бумага офсетная. Печать плоская. Гарнитура Times New Roman.
Усп. печ. л. 2,9. Уч.-изд. л. 2,8. Тираж 100 экз. Заказ № 847.
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный
технический университет»
Редакционно-издательский комплекс УГАТУ
450008, г. Уфа, ул. К. Маркса, 12.