МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»
(Новосибирский государственный университет, НГУ)

Физический факультет
Кафедра радиофизики

Согласовано, декан ФФ
_____ Блинов В.Е.
подпись
«04» 04 2026 г.

Рабочая программа дисциплины

ОСНОВЫ ЦИФРОВОЙ СХЕМОТЕХНИКИ

Направление подготовки **03.04.02 Физика**
Направленность (профиль): **Общая и фундаментальная физика**

Направление подготовки **03.04.01 Прикладные математика и физика**
Направленность (профиль): **Космическое и специальное приборостроение**

Форма обучения **Очная**

Семестр	**Общий объем**	**Виды учебных занятий (в часах)**				**Промежуточная аттестация (в часах)**				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Лабораторные занятия	Консультации в период занятий			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	72	32			38				2	
Всего 72 часа / 2 зачётные единицы, из них: - контактная работа 34 часа										
Компетенции ПК-1										

Руководитель программы
д.ф.-м.н. И.Б. Логашенко

Новосибирск, 2026

Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы. 3
Дисциплина нацелена на формирование у обучающегося профессиональной компетенции: 3
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы 4
3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем 4
4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий. 4
5. Перечень учебной литературы 6
6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся 6
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины 6
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образова-тельного процесса по дисциплине 6
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине 7
10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине 7

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Дисциплина «**Основы цифровой схемотехники**» представляет собой начальный курс по современной цифровой схемотехнике, рекомендуемый для обучения студентов-физиков, специализирующихся в области физики современных радиоэлектронных технологий и космического и специального приборостроения.

Цели курса – дать студентам базовые знания об основных функциональных блоках цифровой электроники, умения и навыки по теории разработки цифровых электронных схем на программируемой логике. Умение функциональной классификации электронных схем, понимание принципов построения и функционирования элементов цифрового оборудования необходимы для освоения дисциплин по вычислительной и экспериментальной технике.

Всюду, где это допускается уровнем знаний и подготовки студентов, материал лекционного курса увязывается с современным состоянием дел в цифровой электронике. Специально указываются темы, активно обсуждающиеся в текущей профессиональной научной литературе и планах дальнейших работ в институте, в котором студенты планируют проходить научную практику.

Дисциплина нацелена на формирование у обучающегося профессиональной компетенции:

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
ПК-1 (ОПОП 03.04.02 Физика) Способен использовать специализированные знания в области физики при решении поставленных задач в исследовательской деятельности в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.	**ПК 1.1** Применяет специализированные знания в области физики при решении конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования. **ПК 1.2** Выбирает наиболее эффективные методы решения конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.	**Знать** основные понятия булевой алгебры, устройство и способы производства цифровых схем различных технологий: КМОП, ECL, элементы цифровой схемотехники, способы реализации запоминающих устройств, существующие технические и физические ограничения; основные современные методы обработки цифровой информации, устройство современных программируемых цифровых устройств: ПЛИС и процессоров и области их применения; используемые программные средства для разработки цифровых схем, способы их анализа и симуляции, ограничения этих способов. **Уметь** строить простые цифровые схемы; уметь проводить анализ работы цифровых схем: строить диаграммы состояния, временные диаграммы, таблицы истинности. **Владеть** международной системой обозначения логических элементов; понятиями, используемыми для анализа работы цифровых устройств.
ПК-1 (ОПОП 03.04.01 Прикладные математика и физика) Способен осваивать и применять специализированные знания в области физико-математических и (или) естественных наук в своей профессиональной деятельности.	**ПК 1.1** Применяет специализированные знания естественных и (или) физико-математических наук при решении поставленных задач в специализированной области своей профессиональной деятельности. **ПК 1.2** Применяет классические и новые знания при решении поставленных задач в специализированной области своей профессиональной деятельности..	

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Основы цифровой схемотехники» относится к вариативной части блока 1 программы магистратуры.

Дисциплина «Основы цифровой схемотехники» опирается на следующие дисциплины:

1. Радиоэлектроника.
2. Линейные электронные схемы
3. Программируемые логические устройства

Результаты освоения дисциплины «Основы цифровой схемотехники» используются при изучении дисциплин:

1. Микроконтроллеры

3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем

Трудоемкость дисциплины составляет: 2 зачетных единицы, 72 часа.

Форма промежуточной аттестации: 1 семестр – дифференцированный зачет

№	Вид деятельности	Семестр
		5
1	Лекции, ч	32
2	Практические занятия, ч	
3	Лабораторные занятия, ч	
4	Занятия в контактной форме, ч	34
5	из них ч аудиторных занятий, ч	32
6	в электронной форме, ч	
7	консультаций, час.	
8	промежуточная аттестация, ч	2
9	Самостоятельная работа, час.	38
10	Всего, ч	72

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, практические занятия, контрольные работы, домашние задания, консультации, самостоятельная работа студентов, дифференцированный зачет.

Реализация дисциплины предусматривает практическую подготовку при проведении следующих видов занятий, предусматривающих участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью: лекции, самостоятельная работа студента, текущий контроль успеваемости: задачи для самостоятельного решения.

4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий

Программа и основное содержание лекций (32 часа)

Раздел 1. Основные характеристики ЦИС. Базовые элементы ЦИС (16 часов)

1. Цифровые системы, комбинаторика и простейшие логические элементы, законы булевой алгебры, КДНФ и ККНФ, кодирование, системы счисления, операции с двоичными числами: сложение, вычитание, умножение и деление, код Грея.
2. Временные характеристики логических схем и уровни переключения, допуски на шумы, понятие инверсной логики, передаточные характеристики, построение вентилей на основе ключей: инвертор, totem-pole схема, схема с открытым коллектором, схемы с третьим состоянием.

3. КМОП логика. Устройство NMOS и PMOS транзисторов с изолированным затвором, их характеристики. Схема инвертора, её переходная характеристика. Базовый вентиль И-НЕ, вентиль ИЛИ-НЕ, передаточный вентиль, вентиль с третьим состоянием. Устройство реального вентиля. Свойства КМОП микросхем, энергопотребление.
4. ECL, PECL и LVPECL логика. Устройство вентиля НЕ, устройство вентиля ИЛИ-НЕ. Устройство реального вентиля. Свойства ECL микросхем, область применения, энергопотребление. Дифференциальные стандарты передачи: LVDS, CML.

Раздел 2. Последовательностные схемы - формальное описание и реализация на программируемой логике. Автомат Мили (англ. Mealy machine) Автомата Мура (англ. Moore machine) Элементы цифровой схемотехники (8 часов)

5. Автоматы Мура и Мили. Асинхронные триггеры, способы описания работы: диаграммы состояний, таблицы истинности, диаграммы Карно-Вейча. RS триггер, без учёта и с учётом задержек, запрещённые состояния. D-триггер, временная диаграмма его работы. Управление по фронтам. J-K триггер: одноступенчатая и двухступенчатые схемы. Типы триггеров, способы тактирования.
6. Устройство синхронных автоматов. Синтез автоматов по таблице состояний с помощью диаграммы Карно-Вейча. Временные характеристики синхронных автоматов.
7. Мультиплексоры, демультиплексоры и преобразователи кода. Каскадирование мультиплексоров. Реализация произвольных логических функций при помощи мультиплексоров (LUT). Передача данных по последовательному каналу при помощи мультиплексора (TDMA). Аналоговые мультиплексоры.
8. Счётчики. Асинхронный счётчик, счётчик до N, обратный счётчик. Задержки васинхронных счётчиках, просчёты. Синхронные счётчики, временные характеристики синхронных счётчиков. Сдвиговые регистры, их временные характеристики. Реализация протокола SPI на основе сдвиговых регистров. Счётчик Джонсона. Псевдослучайные последовательности на основе сдвиговых регистров.
9. Двоичная арифметика. Элементарный сумматор. Последовательный сумматор, сумматор с последовательным переносом и сумматор с параллельным переносом, их временные характеристики. Каскадирование сумматоров с параллельным переносом, схема переноса. Устройство АЛУ. Компараторы. Умножители на основе множительно-суммирующих блоков ускоренное умножение.

Раздел 3. Запоминающие устройства: классификация, принципы функционирование памяти произвольного доступа (4 часа)

10. Запоминающие устройства. ROM, PROM. Транзистор с плавающим затвором, EPROM и EEPROM. Flash память: NOR и NAND Flash. RAM память: SRAM, DRAM, временные диаграммы, реализация Non-Volatile памяти. SDRAM, DDRAM. Каскадирование ЗУ.

Раздел 4. ПЛИС и микропроцессоры (4 часа)

11. ПЛИС. Варианты реализации цифровых систем, плюсы и минусы. Современный процесс разработки. LUT на основе ROM, устройство PLA, устройство PAL. Программирование PAL и PLA, JEDEC. Устройство FPGA: логические ячейки, логические блоки, блоки ввода-вывода и программируемые переключатели. Устройство CPLD. Языки программирования ПЛИС.
12. Принципы построения микропроцессоров. Управляющий блок, блок ввода-вывода и операционный блок. Шины адреса и данных.

Самостоятельная работа студентов (68 часов)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Изучение, повторение теоретического материала лекций в течении семестра	14
Решение задач для самостоятельной работы	24

Примеры задач для самостоятельного решения.

1. Оцените энергопотребление 8-битного КМОП счётчика, работающего на частоте 1 МГц и 20 МГц.

2. Разработайте схему входного турникета в метро. Входы — сигналы с трех оптопар, сигнал о срабатывании жетоноприёмника, кнопка сброса у оператора. Выходы — сигнал, управляющий воротами. С какой скоростью должен промчаться нарушитель, чтобы ваша схема не успела отработать?

3. Разработайте схему расчёта поступившей в монетоприёмник суммы. Входы — сигналы о поступлении монет номиналом 50 коп., 1 руб., 2 руб., 5 руб., 10 руб. Выход — 16-битный регистр с полученной суммой с точностью до 50 коп.

4. Разработайте схему восьмибитного порта ввода-вывода для процессора. Интерфейс — процессорная шина типа Avalon A/D шириной 16 бит, ALE, R, W, 8 ножек входа-выхода.

5. Разработайте (насколько сможете детально) схему управления DDR-памятью с автоматическим обновлением ячеек. Входы схемы — тактовая частота, RD, WR, A[16:0], D[16:0]. Обновление производите на каждый второй такт.

5. Перечень учебной литературы

1. *М. Х. Джонс* Электроника – практический курс Москва: ПОСТМАРКЕТ, 1999. – 527 с. (54 экз.)
2. *В. А. Прянишников*, Электроника: Курс лекций / 2-е изд., испр. и доп. СПб.: Корона-Принт, 2000. - 415 с. (4 экз.)

6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся

1. *М. Х. Джонс* Электроника – практический курс Москва: ПОСТМАРКЕТ, 1999. – 527 с. (54 экз.)

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

7.1. Ресурсы сети Интернет

Для освоения дисциплины используются следующие ресурсы:
– электронная информационно-образовательная среда НГУ (ЭИОС);
– образовательные интернет-порталы;
– информационно-телекоммуникационная сеть Интернет.

7.2. Современные профессиональные базы данных

Не используются.

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

8.1. Перечень программного обеспечения

Для обеспечения реализации дисциплины используется стандартный комплект программного обеспечения (ПО), включающий регулярно обновляемое лицензионное ПО Windows и MS Office.

Для обеспечения реализации дисциплины используется СУБД PostgreSQL

8.2. Информационные справочные системы

Не используются.

9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Для реализации дисциплины используются специальные помещения:

1. Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля успеваемости, промежуточной и итоговой аттестации.

2. Помещения для самостоятельной работы обучающихся.

Учебные аудитории укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду НГУ.

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине для обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется согласно «Порядку организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в Новосибирском государственном университете».

10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине

10.1. Порядок проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине

Текущий контроль

Текущий контроль осуществляется в ходе семестра путем опроса в начале каждой лекции по материалам предыдущей лекции, а также решением предложенных задач и ответов на доске совместно преподавателями и студентами.

После изложения каждого нового понятия следует контрольный вопрос к аудитории. Обсуждаются несколько вариантов ответа, оценивается оптимальность и наглядность.

В конце каждой лекции формулируется задача для самостоятельного решения, а в начале следующей лекции обсуждаются и сравниваются полученные результаты и способы решения.

Промежуточная аттестация

Окончательная оценка работы студента в течение семестра происходит во время дифференцированного зачета, который проводится в конце семестра в зачетную сессию по билетам в устной форме. Вопросы билета подбираются таким образом, чтобы проверить уровень сформированности компетенции ПК-1. Билет содержит два вопроса и задачу

Вывод об уровне сформированности компетенций принимается преподавателем. Каждый вопрос билета оценивается от 0 до 5 баллов. Положительная оценка ставится, когда все компетенции освоены не ниже порогового уровня. Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение промежуточной аттестации.

Соответствие индикаторов и результатов освоения дисциплины

Таблица 10.1

Код компетенции	Индикатор	Результат обучения по дисциплине	Оценочное средство
ПК-1 (ОПОП 03.04.02 Физика) Способен использовать специализированные знания в области физики при решении поставленных задач в исследовательской деятельности в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.	**ПК 1.1** Применяет специализированные знания в области физики при решении конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования. **ПК 1.2** Выбирает наиболее эффективные методы решения конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.	**Знать** основные понятия булевой алгебры, устройство и способы производства цифровых схем различных технологий: КМОП, ECL, элементы цифровой схемотехники, способы реализации запоминающих устройств, существующие технические и физические ограничения; основные современные методы обработки цифровой информации, устройство современных программируемых цифровых устройств: ПЛИС и процессоров и области их применения; используемые программные средства для разработки цифровых схем, способы их анализа и симуляции, ограничения этих способов. **Уметь** строить простые цифровые схемы; уметь проводить анализ работы цифровых схем: строить диаграммы состояния, временные диаграммы, таблицы истинности. **Владеть** международной системой обозначения логических элементов; понятиями, используемыми для анализа работы цифровых устройств.	Опрос в начале каждой лекции, задачи для самостоятельного решения, дифференцированный зачёт в устной форме
ПК-1 (ОПОП 03.04.01 Прикладные математика и физика) Способен осваивать и применять специализированные знания в области физико-математических и (или) естественных наук в своей профессиональной деятельности.	**ПК 1.1** Применяет специализированные знания естественных и (или) физико-математических наук при решении поставленных задач в специализированной области своей профессиональной деятельности. **ПК 1.2** Применяет классические и новые знания при решении поставленных задач в специализированной области своей профессиональной деятельности..		

10.2. Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Основы цифровой схемотехники»

Таблица 10.2

Критерии оценивания результатов обучения	Шкала оценивания
Активное участие в обсуждениях и дискуссиях во время семестра. Правильное решение более половины задач для самостоятельного решения. **Дифференцированный зачет**: Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины: – дан подробный ответ на вопросы билета, корректно примененяются термины и понятия – задача решена в полном объеме без недочетов и ошибок – свободно и аргументированно отвечает на дополнительные вопросы, имеющие принципиальное значение для данной дисциплины.	*Отлично*
Дифференцированный зачет: Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Продемонстрированы все основные умения. Допускается несколько негрубых/несущественных ошибок: – даны ответы на все вопросы билета, корректно примененяются термины и понятия. В ответах на вопросы билета допускаются незначительные ошибки; – задача решена в с недочетами или с подсказкой преподавателя; – затрудняется с ответом на дополнительные вопросы, после наводящих вопросов дает правильные ответы;	*Хорошо*
Дифференцированный зачет: Демонстрирует общие знания базовых понятий по темам/разделам дисциплины. Продемонстрированы частично основные умения: – даны ответы на все вопросы билета; – допускается значительное количество негрубых ошибок; – решены типовые задачи с негрубыми ошибками и подсказками преподавателя. – не отвечает на дополнительные вопросы.	*Удовлетвори тельно*
Дифференцированный зачет: Уровень знаний ниже минимальных требований. Имеют место грубые ошибки. Отсутствие минимальных умений: – не даны правильные ответы на вопросы билета; – не умеет решать стандартные задачи; – не отвечает на дополнительные вопросы, имеющие принципиальное значение для данной дисциплины, имеют место грубые ошибки.	*Неудовлетво рительно*

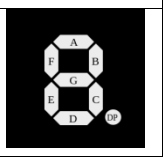
10.3 Типовые контрольные задания и материалы, необходимые для оценки результатов обучения

Вопросы к дифференцированному зачету

1. Законы булевой алгебры. КДНФ и ККНФ. Системы счисления. Сложение, вычитание, умножение и деление двоичных чисел с фиксированной запятой.
2. Устройство PLA, PAL. Принципы устройства FPGA и CPLD.

3. Временные и передаточные характеристики логических схем. Сравнение этих характеристик для серий КМОП и ЭСЛ.
4. Устройство постоянной памяти ROM. PROM, EPROM, EEPROM, Flash-память, её характеристики.
5. КМОП логика. Вентили И-НЕ, ИЛИ-НЕ. Энергопотребление КМОП микросхем.
6. Элементарный сумматор, последовательный сумматор. Сумматор с параллельным переносом.
7. ECL и PECL логика. Вентили НЕ, ИЛИ-НЕ. Энергопотребление ECL логики.
8. Устройство ЗУ типа SDRAM, DDRAM, временные диаграммы.
9. Счётчики синхронные и асинхронные. Способы повышения скорости работы.
10. RS триггер без учета и с учетом задержек. Запрещенные состояния RS триггера.
11. Устройство реального КМОП вентиля.
12. D-триггер, временная диаграмма его работы. J-K триггер.
13. Арифметико-логические устройства.
14. Мультиплексоры и демультиплексоры. LUT на основе мультиплексора.
15. Схема КМОП вентиля с третьим состоянием. Схема КМОП вентиля с «открытым коллектором».
16. Компараторы и умножители.
17. Сдвиговые регистры, скорость их работы. Псевдослучайные последовательности на основе сдвиговых регистров.
18. Триггеры с управлением по фронту. Типы управления по фронту.
19. Характеристики PMOS и NMOS транзисторов, схема totem-pole.
20. Автоматы Мура и Мили. Синхронные автоматы.
21. Дифференциальные стандарты передачи данных: CML, LVDS.

Примеры задач к к дифференцированному зачету

1 Разработайте схему управления светофором (с миганием жёлтым цветом 2 раза). Входы — сигнал от таймера, поступающий раз в 3 секунды. Выходы — Красный, Желтый, Зеленый.
2 Разработайте схему цифровых часов с выводом на четыре семисегментных индикатора, работающих от кварца 32 768 Гц. Декодер из двоичного кода в сигналы, подающиеся на ножки индикатора у вас имеется.
3 Разработайте схему выходного турникета в метро. Входы — сигналы с трех оптопар, кнопка сброса у оператора. Выходы — сигнал, управляющий воротами. С какой скоростью должен промчаться нарушитель, чтобы ваша схема не успела отработать?
4 Разработайте схему термодатчика с SPI выходом. Входы — сигнал с АЦП (8 бит), пропорциональный температуре, сигнал о готовности измерения, шина SCK. Выходы — сигнал CNVST (начало измерения), шина SDA. Длительность измерения — не более двух тактов SCK.
5 На рисунке представлено расположение сегментов семисегментного светодиодного индикатора. С помощью LUT реализуйте декодер из двоичного кода в отображение цифры на индикаторе. 

6

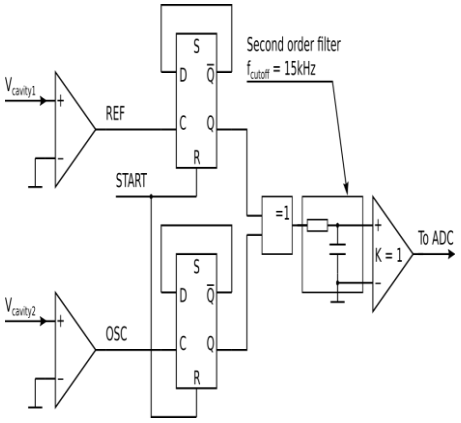
Сигналы FLASH памяти: A[0..N], WR, RD, CS, D[7..0]
Каким образом при помощи четырех микросхем FLASH памяти объёмом 128kx8 бит получить единое адресное пространство 512Kx8бит?
Каким образом организовать двукратное резервирование, необходимое при нахождении в радиационно-опасной зоне, как при этом детектировать ошибки?

7

На входы REF и OSC подаётся меандр одинаковой частоты и скважности, но сигналы сдвинуты по фазе. Нарисуйте временную диаграмму выхода схемы для следующих значений разницы фазы:

1) 45 градусов
2) 90 градусов
3) -90 градусов
4) 180 градусов

Есть ли способ получить аналоговый сигнал, пропорциональный разнице фаз при помощи такой схемы?



8

Разработайте схему, генерирующую на выходе сигнал ШИМ, длительность импульса которого пропорциональна поданному на вход 8-битному значению.

Пример билета для промежуточной аттестации

1. Мультиплексоры и демультиплексоры. LUT на основе мультиплексора.

2. Схема КМОП вентиля с третьим состоянием. Схема КМОП вентиля с «открытым коллектором».

3. Практическое задание: Разработайте (насколько сможете детально) схему управления DDR-памятью с автоматическим обновлением ячеек. Входы схемы — тактовая частота, RD, WR, A[16:0], D[16:0]. Обновление производите на каждый второй такт.