

**Министерство науки и высшего образования РФ**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

---

Направление подготовки/специальность: 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

Наименование образовательной программы: Микроэлектроника и твердотельная электроника

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Очная


**Рабочая программа дисциплины**  
**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ**

|  |   |
|--|---|
| <b>Блок:</b>                             | <b>Блок 1 «Дисциплины (модули)»</b>                             |
| <b>Часть образовательной программы:</b>  | <b>Часть, формируемая участниками образовательных отношений</b> |
| <b>№ дисциплины по учебному плану:</b>   | <b>Б1.Ч.01.15</b>   |
| <b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b> | <b>8 семестр - 5;</b>   |
| <b>Часов (всего) по учебному плану:</b>  | <b>180 часов</b>  |
| <b>Лекции</b>                            | <b>не предусмотрено учебным планом</b>                          |
| <b>Практические занятия</b>              | <b>8 семестр - 70 часов;</b>                                    |
| <b>Лабораторные работы</b>               | <b>не предусмотрено учебным планом</b>                          |
| <b>Консультации</b>                      | <b>проводится в рамках часов аудиторных занятий</b>             |
| <b>Самостоятельная работа</b>            | <b>8 семестр - 109,7 часов;</b>                                 |
| <b>в том числе на КП/КР</b>              | <b>не предусмотрено учебным планом</b>                          |
| <b>Иная контактная работа</b>            | <b>проводится в рамках часов аудиторных занятий</b>             |
| <b>включая:</b>                          |   |
| <b>Контрольная работа</b>                |   |
| <b>Промежуточная аттестация:</b>         |   |
| <b>Зачет с оценкой</b>                   | <b>8 семестр - 0,3 часа;</b>                                    |

**Москва 2024**

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**


Преподаватель

|   |   |                            |
|---|---|----------------------------|
|  | <b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b> |                            |
|   | <b>Сведения о владельце ЦЭП МЭИ</b>                       |                            |
|   | Владелец  | Зезин Д.А.                 |
|   | Идентификатор   | Re7522a00-ZezinDA-ba8dbd73 |

Д.А. Зезин


**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель  
образовательной программы

|   |   |                              |
|---|---|------------------------------|
|  | <b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b> |                              |
|   | <b>Сведения о владельце ЦЭП МЭИ</b>                       |                              |
|   | Владелец  | Баринов А.Д.                 |
|   | Идентификатор   | Ra98e1318-BarinovAD-f138ec4f |

А.Д. Баринов

Заведующий выпускающей  
кафедрой

|   |   |                            |
|---|---|----------------------------|
|  | <b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b> |                            |
|   | <b>Сведения о владельце ЦЭП МЭИ</b>                       |                            |
|   | Владелец  | Зезин Д.А.                 |
|   | Идентификатор   | Re7522a00-ZezinDA-ba8dbd73 |

Д.А. Зезин

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** состоит в углублённом изучении физических основ и разновидностей полупроводниковых приборов и компонентов интегральных схем, их принципа действия, основных параметров и характеристик, области применения

### Задачи дисциплины

- развитие способности учитывать физические основы работы полупроводниковых приборов и интегральных схем, применяемых в приборах и устройствах электроники и нанoeлектроники, современные тенденции развития электроники;
- освоение способности строить простейшие физические и математические модели полупроводниковых приборов и интегральных схем, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования;
- развитие способности аргументированно выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик полупроводниковых приборов и интегральных схем;
- развитие готовности анализировать и систематизировать результаты исследований, представлять материалы в виде научных отчётов.

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

| Код и наименование компетенции  | Код и наименование индикатора достижения компетенции  | Запланированные результаты обучения   |
|---|---|---|
| ПК-1 Способен участвовать в проектировании интегральных схем  | ИД-1 <sub>ПК-1</sub> Использует средства автоматизации схемотехнического проектирования   | знать:<br>- методы оптимизации параметров полупроводниковых интегральных схем.<br><br>уметь:<br>- экстрагировать параметры моделей из эксперимента.                                       |
| ПК-2 Способен осуществлять расчет и проектирование полупроводниковых приборов и устройств, проводить моделирование и анализ с использованием средств автоматизации проектирования | ИД-1 <sub>ПК-2</sub> Демонстрирует знание принципов работы, физических и математических моделей основных полупроводниковых приборов | знать:<br>- методы оптимизации параметров полупроводниковых полевых транзисторов.<br><br>уметь:<br>- оптимизировать конструкцию полевых транзисторов для достижения требуемых параметров. |

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Микроэлектроника и твердотельная электроника (далее – ОПОП), направления подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника, уровень образования: высшее образование - бакалавриат.

Базируется на уровне среднего общего образования.

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.



### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц, 180 часов.

| № п/п | Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации                              | Всего часов на раздел | Семестр | Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы |     |    |              |   |     |    |    |                   |                                   | Содержание самостоятельной работы/ методические указания   |   |   |
|-------|---|-----------------------|---------|--|-----|----|--------------|---|-----|----|----|-------------------|-----------------------------------|--|---|---|
|       |   |                       |         | Контактная работа  |     |    |              |   |     | СР |    |                   |                                   |  |   |   |
|       |   |                       |         | Лек  | Лаб | Пр | Консультация |   | ИКР |    | ПА | Работа в семестре | Подготовка к аттестации /контроль |  |   |   |
| КПР   | ГК  | ИККП                  | ТК      |  |     |    |              |   |     |    |    |                   |                                   |  |   |   |
| 1     | 2   | 3                     | 4       | 5  | 6   | 7  | 8            | 9 | 10  | 11 | 12 | 13                | 14                                | 15   |   |   |
| 1     | Фундаментальные уравнения физических процессов в объёме полупроводниковой структуры | 35.7                  | 8       | -  | -   | 14 | -            | - | -   | -  | -  | 21.7              | -                                 | <p><b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b> [1], с. 133-190, 410-428</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b><br/>[1], с. 133-190, 410-428</p> |   |   |
| 1.1   | Фундаментальные уравнения физических процессов в объёме полупроводниковой структуры | 35.7                  |         | -  | -   | 14 | -            | - | -   | -  | -  | -                 | 21.7                              |  | - |   |
| 2     | Модели полевых элементов ИС   | 36                    |         | -  | -   | 16 | -            | - | -   | -  | -  | -                 | 20                                |  | - | <p><b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b> [1], с. 301-367 [2], с. 2-26</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b><br/>[1], с. 301-367<br/>[2], с. 2-26<br/>[4], с. 2-26</p> |
| 2.1   | Модели полевых элементов ИС   | 36                    |         | -  | -   | 16 | -            | - | -   | -  | -  | -                 | 20                                |  | - |   |
| 3     | Модели короткоканальных полевых ИС  | 36                    |         | -  | -   | 16 | -            | - | -   | -  | -  | -                 | 20                                |  | - | <p><b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b> [1], с. 301-367</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b><br/>[1], с. 191-249<br/>[3], с. 25-36, 223-233</p>                     |
| 3.1   | Модели короткоканальных полевых ИС  | 36                    |         | -  | -   | 16 | -            | - | -   | -  | -  | -                 | 20                                |  | - |   |
| 4     | Транзисторы на основе широкозонных полупроводников и гетеропереходов. Особенности   | 36                    |         | -  | -   | 12 | -            | - | -   | -  | -  | -                 | 24                                |  | - | <p><b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b> [1], с. 191-249 [3], с. 25-36, 223-233</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b><br/>[1], с. 301-367</p>                         |

|     |  |              |   |   |           |   |   |   |   |            |              |   |  |
|-----|--|--------------|---|---|-----------|---|---|---|---|------------|--------------|---|--|
|     | функционально ориентированных ИС   |              |   |   |           |   |   |   |   |            |              |   |  |
| 4.1 | Транзисторы на основе широкозонных полупроводников и гетеропереходов. Особенности функционально ориентированных ИС | 36           | - | - | 12        | - | - | - | - | -          | 24           | - |  |
| 5   | Перспективные транзисторы  | 36           | - | - | 12        | - | - | - | - | -          | 24           | - | <b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b> [3], с. 25–36, 223–233<br><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b><br>[3], с. 25–36, 223–233 |
| 5.1 | Перспективные транзисторы  | 36           | - | - | 12        | - | - | - | - | -          | 24           | - |  |
|     | Зачет с оценкой  | 0.3          | - | - | -         | - | - | - | - | 0.3        | -            | - |  |
|     | <b>Всего за семестр</b>  | <b>180.0</b> | - | - | <b>70</b> | - | - | - | - | <b>0.3</b> | <b>109.7</b> | - |  |
|     | <b>Итого за семестр</b>  | <b>180.0</b> | - | - | <b>70</b> | - | - | - | - | <b>0.3</b> | <b>109.7</b> | - |  |

**Примечание:** Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПП – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ГК- групповые консультации по разделам дисциплины; СР – самостоятельная работа студента; ИКР – иная контактная работа; ТК – текущий контроль; ПА – промежуточная аттестация

## 3.2 Краткое содержание разделов

### 1. Фундаментальные уравнения физических процессов в объёме полупроводниковой структуры

1.1. Фундаментальные уравнения физических процессов в объёме полупроводниковой структуры

Классификация интегральных схем по элементной базе, полупроводниковому материалу, технологии и схемо-топологическим решениям. Основные базовые элементы и компоненты полупроводниковых интегральных схем. Общие положения математической формулировки задач моделирования физических процессов в элементах интегральных схем. Фундаментальные уравнения физических процессов в объёме полупроводниковой структуры. Кинетическое уравнение Больцмана, основные приближения и допущения в моделях элементов ИС. Представление о физико-топологическом и схмотехническом уровнях моделирования ИС..

### 2. Модели полевых элементов ИС

2.1. Модели полевых элементов ИС

ИС на основе полевых транзисторов с управляющим р-n переходом. Модель полевого транзистора с произвольным профилем легирования канала. Элементы ИС с МОП - структурой. Полевые транзисторы для МОП ИС. Модель МДП транзистора. Подпороговые характеристики МДП транзисторов. Эффекты сильного поля в канале МДП транзисторов..

### 3. Модели короткоканальных полевых ИС

3.1. Модели короткоканальных полевых ИС

МОС-структура с протяженными областями. Короткоканальные полевые транзисторы для МОП ИС. Подпороговые характеристики короткоканальных МДП транзисторов. Короткоканальные эффекты в МДП транзисторах. Подпороговые токи, эффект модуляции барьера истока стоковым напряжением, изменение порогового напряжения. Умножение носителей и зарядка окисла в МДП транзисторах. Инжекционный пробой. Эффект «защёлки» (тиристорный эффект) в КМОП ИС, методы его подавления. Масштабная миниатюризация в МДП ИС и её пределы. Эффекты горячих носителей в короткоканальных МДП приборах и методы подавления этих эффектов. Баллистический режим..

### 4. Транзисторы на основе широкозонных полупроводников и гетеропереходов. Особенности функционально ориентированных ИС

4.1. Транзисторы на основе широкозонных полупроводников и гетеропереходов. Особенности функционально ориентированных ИС

Биполярные интегральные схемы на основе гетеропереходов. Особенности ИС на основе GaAs. Барьер Шоттки. Инжекция неосновных носителей. Полевые транзисторы с гетеропереходами. Основные типы конструкций. Нелинейные резисторы в ИС на основе GaAs. Особенности полевых транзисторов на основе широкозонных полупроводников (GaAs, SiC, AlGaN) по сравнению с транзисторами на основе кремния (Si)..

### 5. Перспективные транзисторы

5.1. Перспективные транзисторы

Модель двух областей, модель с полностью насыщенной скоростью. Полевые транзисторы с высокой подвижностью электронов Приборы с зарядовой связью, физические

основы работы. Основные характеристики, верхняя и нижняя рабочие частоты, эффективность переноса. Физика элементов статической памяти на основе структур металл-диэлектрик-(диэлектрик)-полупроводник. Элементы памяти с лавинной инжекцией заряда. Элементы памяти с двухслойным диэлектриком. Проблемы элементной базы аналоговых ИС, интегральных схем ЦАП-АЦП. Методы экспериментального исследования элементов ИС на стадии разработки и производства. Принципы и приёмы разработки тестовых структур элементов, узлов и микросистем. Представления об автоматизированных системах экспериментальных исследований элементов тестовых структур..

### **3.3. Темы практических занятий**

1. Эффекты горячих носителей в короткоканальных МДП приборах и методы подавления этих эффектов.;
2. Проблемы элементной базы аналоговых ИС, интегральных схем ЦАП-АЦП.;
3. Классификация интегральных схем по элементной базе, полупроводниковому материалу, технологии и схемо-топологическим решениям.;
4. Общие положения математической формулировки задач моделирования физических процессов в элементах интегральных схем.;
5. Основные базовые элементы и компоненты полупроводниковых интегральных схем.;
6. Инжекционный пробой. Эффект «защёлки» (тиристорный эффект) в КМОП ИС, методы его подавления.;
7. Принципы и приёмы разработки тестовых структур элементов, узлов и микросистем. Представления об автоматизированных системах экспериментальных исследований элементов тестовых структур.;
8. Элементы ИС с МОП - структурой. Полевые транзисторы для МОП ИС. Модель МДП транзистора.;
9. Подпороговые токи, эффект модуляции барьера истока стоковым напряжением, изменение порогового напряжения.;
10. Короткоканальные эффекты в МДП транзисторах.;
11. Подпороговые характеристики короткоканальных МДП транзисторов.;
12. Короткоканальные полевые транзисторы для МОП ИС.;
13. МОС-структура с протяженными областями.;
14. Умножение носителей и зарядка окисла в МДП транзисторах.;
15. Модель полевого транзистора с произвольным профилем легирования канала.;
16. Баллистический режим. Биполярные интегральные схемы на основе гетеропереходов.;
17. ИС на основе полевых транзисторов с управляющим р-п переходом. .;
18. Особенности полевых транзисторов на основе широкозонных полупроводников (GaAs, SiC, AlGaN) по сравнению с транзисторами на основе кремния (Si).;
19. Представление о физико-топологическом и схемотехническом уровнях моделирования ИС.;
20. Кинетическое уравнение Больцмана, основные приближения и допущения в моделях элементов ИС.;
21. Фундаментальные уравнения физических процессов в объёме полупроводниковой структуры.;
22. Подпороговые характеристики МДП транзисторов.;
23. Методы экспериментального исследования элементов ИС на стадии разработки и производства..

### **3.4. Темы лабораторных работ**

не предусмотрено



### **3.5 Консультации**

### **3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ**

Курсовой проект/ работа не предусмотрены

### 3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

| Запланированные результаты обучения по дисциплине<br>(в соответствии с разделом 1)  | Коды<br>индикаторов | Номер раздела дисциплины<br>(в соответствии с п.3.1) |   |   |   |   | Оценочное средство<br>(тип и наименование) |
|---|---------------------|--|---|---|---|---|--|
|   |                     | 1  | 2 | 3 | 4 | 5 |  |
| <b>Знать:</b>   |                     |  |   |   |   |   |  |
| методы оптимизации параметров полупроводниковых интегральных схем                   | ИД-1ПК-1            |  | + |   | + | + | Контрольная работа/Опрос № 2               |
| методы оптимизации параметров полупроводниковых полевых транзисторов                | ИД-1ПК-2            | +  |   | + |   |   | Контрольная работа/Опрос № 1               |
| <b>Уметь:</b>   |                     |  |   |   |   |   |  |
| экстрагировать параметры моделей из эксперимента                                    | ИД-1ПК-1            |  |   |   | + | + | Контрольная работа/Опрос № 4               |
| оптимизировать конструкцию полевых транзисторов для достижения требуемых параметров | ИД-1ПК-2            | +  | + | + |   |   | Контрольная работа/Опрос № 3               |

#### **4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)**

##### **4.1. Текущий контроль успеваемости**

**8 семестр**

Форма реализации: Защита задания

1. Опрос № 4 (Контрольная работа)

Форма реализации: Проверка задания

1. Опрос № 1 (Контрольная работа)
2. Опрос № 2 (Контрольная работа)
3. Опрос № 3 (Контрольная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

##### **4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине**

*Зачет с оценкой (Семестр №8)*

Оценка выставляется по результатам текущего контроля в соответствии с БАРС

В диплом выставляется оценка за 8 семестр.

**Примечание:** Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

#### **5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

##### **5.1 Печатные и электронные издания:**

1. Твердотельная электроника : учебное пособие для вузов по направлению "Электроника и микроэлектроника" / Э. Н. Воронков, [и др.] . – М. : АКАДЕМИЯ, 2009 . – 320 с. – (Высшее профессиональное образование) . - ISBN 978-5-7695-4618-1 .;
2. Шалимова, К. В. Физика полупроводников : учебник / К. В. Шалимова . – 4-е изд., стер . – М. : Лань-Пресс, 2010 . – 400 с. – (Учебники для вузов. Специальная литература) . - ISBN 978-5-8114-0922-8 .;
3. Старосельский, В. И. Физика полупроводниковых приборов микроэлектроники : учебное пособие для вузов по направлению 210100 "Электроника и микроэлектроника" / В. И. Старосельский . – М. : Юрайт, 2014 . – 463 с. – (Основы наук) . - ISBN 978-5-9916-0808-4 .;
4. Шалимова К. В.- "Физика полупроводников", (4-е изд., стер.), Издательство: "Лань", Санкт-Петербург, 2021 - (384 с.)  
<https://e.lanbook.com/book/167840>.

##### **5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:**

1. Office / Российский пакет офисных программ;
2. ОС Linux.

##### **5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:**

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>

2. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" -

[http://biblioclub.ru/index.php?page=main\\_ub\\_red](http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red)

3. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>

#### 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

| Тип помещения   | Номер аудитории, наименование                                  | Оснащение   |
|---|--|---|
| Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля | К-105/1, Компьютерный класс                                    | стол, стол для оргтехники, стол компьютерный, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, компьютер персональный, кондиционер |
| Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП          | К-105/1, Компьютерный класс                                    | стол, стол для оргтехники, стол компьютерный, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, компьютер персональный, кондиционер |
| Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации               | К-105/1, Компьютерный класс                                    | стол, стол для оргтехники, стол компьютерный, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, компьютер персональный, кондиционер |
| Помещения для самостоятельной работы                                    | НТБ-302, Читальный зал отдела обслуживания учебной литературой | стул, стол письменный, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный   |
| Помещения для консультирования  | К-109/2, Кабинет сотрудников каф. "ЭиН"                        | стол, стул, шкаф для документов, шкаф для хранения инвентаря, стол письменный, дипломные и курсовые работы студентов            |
| Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря                | К-115, Склад каф. "ЭиН"  | стеллаж, инвентарь учебный  |

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

## Проектирование элементов интегральных схем

(название дисциплины)

## 8 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

КМ-1 Опрос № 1 (Контрольная работа)

КМ-2 Опрос № 2 (Контрольная работа)

КМ-3 Опрос № 3 (Контрольная работа)

КМ-4 Опрос № 4 (Контрольная работа)

Вид промежуточной аттестации – Зачет с оценкой.

| Номер раздела | Раздел дисциплины  | Индекс КМ: | КМ-1 | КМ-2 | КМ-3 | КМ-4 |
|---------------|--|------------|------|------|------|------|
|               |  | Неделя КМ: | 2    | 8    | 12   | 16   |
| 1             | Фундаментальные уравнения физических процессов в объёме полупроводниковой структуры                                |            |      |      |      |      |
| 1.1           | Фундаментальные уравнения физических процессов в объёме полупроводниковой структуры                                |            | +    |      | +    |      |
| 2             | Модели полевых элементов ИС  |            |      |      |      |      |
| 2.1           | Модели полевых элементов ИС  |            |      | +    | +    |      |
| 3             | Модели короткоканальных полевых ИС   |            |      |      |      |      |
| 3.1           | Модели короткоканальных полевых ИС   |            | +    |      | +    |      |
| 4             | Транзисторы на основе широкозонных полупроводников и гетеропереходов. Особенности функционально ориентированных ИС |            |      |      |      |      |
| 4.1           | Транзисторы на основе широкозонных полупроводников и гетеропереходов. Особенности функционально ориентированных ИС |            |      | +    |      | +    |
| 5             | Перспективные транзисторы  |            |      |      |      |      |
| 5.1           | Перспективные транзисторы  |            |      | +    |      | +    |
| Вес КМ, %:    |  |            | 10   | 20   | 20   | 50   |