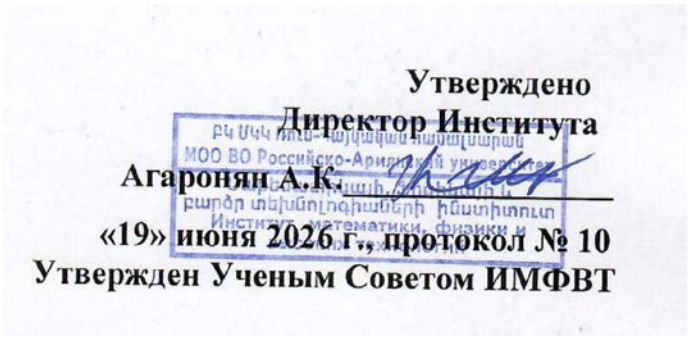
Межгосударственная организация высшего образования
«Российско-Армянский университет»



Утверждено
Директор Института
Агаронян А.К. _____
«19» июня 2026 г., протокол № 10
Утвержден Ученым Советом ИМФВТ

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование дисциплины: Б1.В.02 «Проектирование микроэлектронных средств с низким энергопотреблением»

Автор ***Бабаян Давид Робертович, к.т.н.***

Направление подготовки: 11.04.04 «Электроника и наноэлектроника»
Наименование образовательной программы: «Микроэлектронные схемы и системы»

Согласовано:

Зав. Кафедрой Микроэлектронных схем и систем

Меликян В.Ш.



(подпись)

1. АННОТАЦИЯ

1.1. Краткое описание содержания данной дисциплины;

Целью изучения дисциплиныявляется получение теоретических знаний и практических навыков проектирования, анализа, моделирования и оптимизации микроэлектронных средств с низким энергопотреблением.

1.2. Трудоемкость в академических кредитах и часах, формы итогового контроля (экзамен/зачет); **180ч., лек.16ч., пр.16ч., СР 94, экзамен 54. з.е.5**

1.3. Взаимосвязь дисциплины с другими дисциплинами учебного плана специальности (направления)

Дисциплина «Проектирование микроэлектронных средств с низким энергопотреблением» тесно взаимосвязан с такими дисциплинами учебного плана, как «Проектирование электронных систем смешанного сигнала», «Тестопригодное проектирование микроэлектронных средств», «Передовые методы проектирования интегральных схем».

1.4. Результаты освоения программы дисциплины:

Код компетенции *(в соответствии рабочим с учебным планом)*	**Наименование компетенции** *(в соответствии рабочим с учебным планом)*	**Код индикатора достижения компетенций** *(в соответствии рабочим с учебным планом)*	**Наименование индикатора достижений компетенций***(в соответствии рабочим с учебным планом)*
ПК-1	Способен разработать функциональные описания и технические задания на систему на кристалле (СнК)	ПК-1.1	Знает методы контроля за соблюдением технологических процессов в цехах и правильной эксплуатацией технологического оборудования
		ПК-1.2	Умеет обеспечивать технологический участок необходимыми оборудованием, расходными материалами и контролировать параметры

		ПК-1.3	технологической операции Владеет навыками разработки и реализации мероприятий по устранению причин брака выпускаемой продукции; навыками обработки поступающих рекламаций на выпускаемую организацией продукцию

2. УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА

2.1. Цели и задачи дисциплины

Целью изучения дисциплиныявляется получение теоретических знаний и практических навыков проектирования, анализа, моделирования и оптимизации микроэлектронных средств с низким энергопотреблением.

2.2. Трудоемкость дисциплины и виды учебной работы (в академических часах и зачетных единицах) ***(удалить строки, которые не будут применены в рамках дисциплины)***

Виды учебной работы	**Всего, в акад. часах**	**Распределение по семестрам**					
		I сем	**___ сем**	**___ сем**	**___ сем.**	**___ сем**	**____ сем.**
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
1. Общая трудоемкость изучения дисциплины по семестрам, в т. ч.:	**180/5кр**						
1.1. Аудиторные занятия, в т. ч.:	**32**						
1.1.1. Лекции	**16**						
1.1.2. Практические занятия, в т. ч.	**16**						
1.2. Самостоятельная работа, в т. ч.:	**94**						
1.2.1. Подготовка к экзаменам							
Итоговый контроль (**Экзамен**, Зачет, диф. зачет - указать)	**54**						

2.3. Содержание дисциплины

2.3.1. Тематический план и трудоемкость аудиторных занятий (модули, разделы дисциплины и виды занятий) по рабочему учебному плану

Разделы и темы дисциплины	Всего (ак. часов)	Лекции(ак. часов)	Практ. Занятия (ак. часов)	Семинары (ак. часов)	Лабор. (ак. часов)
1	2=3+4+5+6+7	3	4	5	6
Раздел 1. Современные тенденции проектирования СБИС. Источники и компоненты потребляемой мощности.	**16**	**8**	**8**		
Тема 1.1. Введение	**4**	**2**	**2**		
Тема 1.2. Источники питания СБИС	**6**	**2**	**4**		
Тема 1.3. Потребление мощности в КМОП-схемах	**6**	**4**	**2**		
Модуль 2.					
Раздел 2. Способы уменьшения потребления мощности в СБИС	**18**	**10**	**8**		
Тема 2.1. Емкости в КМОП-схемах	**2**	**2**			
Тема 2.2. Способы уменьшения динамической мощности	**4**	**2**	**2**		
Тема 2.3. Способы уменьшения статической мощности	**6**	**2**	**4**		
Тема 2.4. Автоматизация проектирования с низким энергопотреблением	**4**	**2**	**2**		
ИТОГО	**32**	**16**	**16**		

2.3.2. Краткое содержание разделов дисциплины в виде тематического плана

Тема 1. (Вписать название темы)

Раздел 1. Современные тенденции проектирования СБИС. Источники и компоненты потребляемой мощности.

Тема 1.1. Введение

Транзисторная революция в микроэлектронике. Современный уровень развития технологии СБИС. Закон Мура. Масштабирование размера СБИС. Масштабирование рабочих

частот СБИС. Проблемы и вызовы проектирования глубоко-субмикронных КМОП СБИС. Рассеивание мощности в КМОП СБИС. Масштабирование напряжения источников питания. Влияние масштабирования на потребляемый ток. Влияние масштабирования напряжения питания на задержку КМОП-элементов. Современные тенденции изменения параметров аккумуляторов.

Тема 2. (Вписать название темы)

Источники питания СБИС

Увеличение длительности жизни аккумуляторов. Преимущества схем с низким энергопотреблением. Области применения электронных средств с низким энергопотреблением. Классификация аккумуляторов. Аккумуляторы без возможности перезарядки. Аккумуляторы с возможностью перезарядки. Неидеальности аккумуляторов. Типовые характеристики современных аккумуляторов.

Тема 3. (Вписать название темы)

Потребление мощности в КМОП-схемах

Потребление мощности в современных СБИС. Динамическая мощность КМОП-схемы, мощность короткого замыкания, мощность токов утечки, статическая мощность. Зарядка конденсатора. Энергия, затрачиваемая на одно переключение. Зависимость мощности короткого замыкания от емкости. Влияние технологических параметров на ток короткого замыкания. Ток утечки затвора. Подпороговый ток утечки.

Тема 4. (Вписать название темы)

Модуль 2

Раздел 2. Способы уменьшения потребления мощности в СБИС

Емкости в КМОП-схемах

Внутренние емкости МОП-структур. Внешние емкости МОП-структур. Емкость межсоединений. Емкости канала МОП-транзистора, Диффузионные емкости МОП-транзистора. Емкость обратно-смещенного диода в структуре МОП-транзистора. Емкостная модель МОП-транзистора. Эффет Миллера. Емкость параллельных пластин межсоединений. Краевая емкость. Диэлектрическая проницаемость в современных технологиях.

Тема n. (Вписать название темы)

Способы уменьшения динамической мощности

Минимизация вероятности переключений. Корреляции между сигналами. Реструктуризация логики, упорядочение входов схемы. Понижение напряжения питания. Устранение ложных переключений. Стробирование синхросигнала. Проектирование с различными напряжениями питания. Динамическое масштабирование напряжения питания и частоты.

Тема 2.3. Способы уменьшения статической мощности

Использование элементов с различными пороговыми напряжениями (MTCMOS, VTCMOS). Формирование многоуровневой системы транзисторов (stacking). Отключение питания у неактивной части схемы (power gating, SCCMOS, ZSCCMOS).

Тема 2.4. Автоматизация проектирования с низким энергопотреблением

Традиционный маршрут проектирования. Маршрут проектирования с учетом требований к мощности СБИС. Формат UPF. Пример проектирования с использованием UPF.

2.3.3. Краткое содержание семинарских/практических занятий/лабораторного практикума

(Кратко изложить форму/формы проведения семинарских занятий).

- **Знакомство с САПР** (Micro-Cap v12, Sentaurus TCAD, ADS):
  - Физико-математическое моделирование структуры;
  - Построение схем: RC-цепи, усилители, диоды и транзисторы;
  - Частотный и спектральный анализ (SPICE-аналоги, гармонический баланс).
- **Исследование активных и пассивных компонентов:**
  - Вольтамперные характеристики диодов, транзисторов, операционных усилителей;
  - Анализ влияния паразитиков и температурных факторов на потребление • **Методы экономии энергии в цифровых схемах:**
  - Падение питания (V_dd scaling), динамический и статический анализ потребления;
  - Использование библиотек с разными порогами V_th, множественные регистры (multibit registers);
  - Разные схемы синхронизации (стробирование.
- **Проектирование IP-блоков:**

- Цифровые: инверторы, комбинационные логические функции, регистры, счётчики, мультиплексоры
- Аналоговые: источники тока/напряжения, токовые зеркала, усилители.

- **Оптимизация на физическом уровне:**

  - Снижение V_dd на этапе физического проектирования с оценкой результатов;
  - Исследование эффективности применения различных библиотек V_th, тактирования, мультирегистров

2.3.4. Материально-техническое обеспечение дисциплины

(Кратко представить перечень материально-технического оснащения, информационно-технических средств).

Компьютерный класс для проведения практических занятий по предмету “Проектирование микроэлектронных средств с низким энергопотреблением” обеспечен персональными компьютерами с установленным на них необходимым пакетом программных инструментариев компании Synopsys. Необходимая учебно-методическая литература доступна в библиотеке учебного центра.

2.4. Модульная структура дисциплины с распределением весов по формам контролей

Формы контролей	**Вес формы (форм) текущего контроля в результирующей оценке текущего контроля (по модулям)**		**Вес формы промежуточного контроля в итоговой оценке промежуточного контроля**		**Вес итоговой оценки промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей**		**Вес итоговой оценки промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей (семестровой оценке)**	**Веса результирующей оценки промежуточных контролей и оценки итогового контроля в результирующей оценке итогового контроля**
Вид учебной работы/контроля	**M1** [1]	**M2**	**M1**	**M2**	**M1**	**M2**		

[1] Учебный Модуль

Контрольная работа *(при наличии)*		1		1		1		
Устный опрос *(при наличии)*								
Тест *(при наличии)*								
Лабораторные работы *(при наличии)*								
Письменные домашние задания *(при наличии)*								
Реферат *(при наличии)*								
Эссе *(при наличии)*								
Проект *(при наличии)*								
Другие формы (при наличии)								
Веса результирующих оценок текущих контролей в итоговых оценках промежуточных контролей								
Веса оценок промежуточных контролей в итоговых оценках промежуточных контролей								
Вес итоговой оценки 1-го промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей							0.5	
Вес итоговой оценки 2-го промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей							0.5	
Вес результирующей оценки промежуточных контролей в результирующей оценке итогового контроля								0.4
Вес итогового контроля (Экзамен/зачет) в результирующей оценке итогового контроля								0.6
	$\sum = \mathbf{1}$	$\sum = \mathbf{1}$	$\sum = \mathbf{1}$	$\sum = \mathbf{1}$	$\sum = \mathbf{1}$	$\sum = \mathbf{1}$	$\sum = \mathbf{1}$	$\sum = \mathbf{1}$

3. Теоретический блок ***(указываются материалы, необходимые для освоения учебной программы дисциплины)***

3.1. Материалы по теоретической части курса

3.1.1.Учебник(и)

1. R.Chadha, J. Bhasker. “An ASIC Low Power Primer: Analysis, Techniques and Specification”. Springer, 2013
2. J. D. Glover, M. S. Sarma, T. Overbye. “Power System Analysis and Design”. Cengage Learning, 6th edition; 2016
3. A. Tajalli, Y. Leblebici. “Extreme Low-Power Mixed Signal IC Design: Subthreshold Source-Coupled Circuits”. Springer; 2010.
4. D. Flynn, R. Aitken, A. Gibbons, K. Shi. Low Power Methodology Manual: For System-on-Chip Design. Springer. 2010.
5. J. Rabaey. Low Power Design Essentials. Springer; 1 edition. 2009.
6. A. Chandrakasan, R. Brodersen. Low Power Digital CMOS Design. Springer; 1 edition. 2006.
7. C. Piguet. Low-Power CMOS Circuits: Technology, Logic Design and CAD Tools. CRC. 2005.

4. Фонды оценочных средств ***(указываются материалы, необходимые для проверки уровня знаний в соответствии с содержанием учебной программы дисциплины).***

4.1. Планы практических и семинарских занятий

4.2. Планы лабораторных работ и практикумов

4.3. Материалы по практической части курса

4.3.1. Учебно-методические пособия;

4.3.2. Учебные справочники;

4.3.3. Задачники (практикумы);

4.3.4. Наглядно-иллюстративные материалы;

4.3.5. др. виды материалов.

4.4. Вопросы и задания для самостоятельной работы студентов

4.5. Тематика рефератов, эссе и других форм самостоятельных работ

4.6. Образцы вариантов контрольных работ, тестов и/или других форм текущих и промежуточных контролей

4.7. Перечень экзаменационных вопросов

Перечень экзаменационных вопросов

1. Современный уровень развития технологии СБИС. Закон Мура.
2. Источники питания СБИС. Характеристики аккумуляторов.

3. Энергия, сохраняемая в конденсаторах.
4. Динамическая мощность.
5. Влияние напряжения питания на потребляемую мощность.
6. Влияние ёмкости нагрузки на потребляемую мощность.
7. Расчет паразитных ёмкостей КМОП-транзистора.
8. Эффект Миллера.
9. Расчет паразитных ёмкостей межсоединений.
10. Минимизация вероятности переключений.
11. Корреляции между сигналами.
12. Устранение ложных переключений.
13. Мощность короткого замыкания.
14. Статическая мощность.
15. Ток утечки затвора.
16. Подпороговый ток утечки.
17. Стробирование синхросигнала.
18. Динамическое масштабирование напряжения питания и частоты.
19. Методы снижения потребляемой мощности неактивной части СБИС.
20. Автоматизация проектирования с низким энергопотреблением.

4.8. Образцы экзаменационных билетов

4.9. Образцы экзаменационных практических заданий

4.10.Банк тестовых заданий для самоконтроля

4.11.Методики решения и ответы к образцам тестовых заданий

5. Методический блок

5.1. Методика преподавания

5.1.1. Методические рекомендации для студентов по подготовке к семинарским, практическим или лабораторным занятиям, по организации самостоятельной работы студентов при изучении конкретной дисциплины.

- Решать типовые задачи с изменением параметров (напряжение, температура, пороговые напряжения) .
- Отвечатз на контрольные вопросы, формулируя ответы письменно или устно перед группой.
- Использовать тесты на понимание при подготовке.