



Проектування мікро- та наноелектронних пристроїв

КУРСОВИЙ ПРОЕКТ

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Другий (магістерський)</i>
Галузь знань	<i>15 Автоматизація та приладобудування</i>
Спеціальність	<i>153 Мікро- та наносистемна техніка</i>
Освітня програма	<i>Мікро- та наносистемна техніка</i>
Статус дисципліни	<i>Нормативна</i>
Форма навчання	<i>очна (денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>1 курс, осінній семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>1,5 кредитів (45 годин)</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>залік</i>
Розклад занять	<i>консультації, http://rozklad.kpi.ua/</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>к.т.н, доцент, Вунтесмері Юрій Володимирович, yv-ee@i11.kpi.ua</i>
Розміщення курсу	<i>Google classroom, електронний кампус КПІ ім. Ігоря Сікорського (https://login.kpi.ua)</i>

Програма навчальної дисципліни

1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Освітній компонент «Проектування мікро- та наноелектронних пристроїв. Курсовий проект» належить до нормативних навчальних дисциплін циклу професійної підготовки. Здобуті знання, навички та досвід є основою для виконання дипломних проектів та магістерських дисертацій.

Метою освітнього компонента є формування у студентів системного підходу до розв'язання завдань схемотехнічного проектування електронних пристроїв; обізнаності у розмаїтті сучасних методів проектування електронних пристроїв; навичок самостійно добирати оптимальні конструкції та елементну базу для розв'язання прикладних задач.

Предметом освітнього компонента є електронні прилади та системи, що вирішують практичні задачі, методика їх конструювання, номенклатура аналогових та цифрових функціональних вузлів та методика їх проектування, в тому числі з використанням засобів автоматизованого проектування та мов опису апаратури.

Дисципліна формує **загальні та фахові компетентності**:

ЗК1 – Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу;

ЗК2 – Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово;

ЗК6 – Здатність генерувати нові ідеї (креативність);

ФК1 – Здатність ефективно використовувати складне контроль-вимірювальне, технологічне та дослідницьке обладнання при дослідженнях та виробництві матеріалів, компонентів, приладів і пристроїв мікро- та наносистемної техніки різноманітного призначення;

ФК3 – Здатність аналізувати та синтезувати мікро- та наноелектронні системи різного призначення;

ФК4 – Здатність розробляти, обґрунтовано вибирати і використовувати сучасні методи обробки та аналізу сигналів в мікро- і наноелектронних приладах та системах;

ФК5 – Здатність аргументувати вибір методів розв'язання складних задач і проблем мікро- та наносистемної техніки, критично оцінювати отримані результати та аргументувати прийняті рішення;

ФК6 – Здатність користуватися сучасними системами пошуку та аналізу науково-технічної інформації, проводити патентний пошук і дослідження та здійснювати захист інтелектуальної власності;

ФК10 – Здатність демонструвати і використовувати знання методів та технологій розробки, тестування та застосування інформаційно-вимірювальних, мікроконтролерних систем, систем обробки, відображення та передачі даних, включаючи біомедичні системи.;

ФК11 – Здатність до участі у розробці та вдосконаленні наукової, проектно-конструкторської, технологічної, метрологічної та організаційно-управлінської документації;

ФК13 – Здатність до системного мислення, розв'язання задач розробки, оптимізації та оновлення конструктивних елементів мікроелектроніки та структурних блоків приладів фізичного та біомедичного призначення.

Програмні результати навчання:

ПРН1 – Формулювати і розв'язувати складні інженерні, виробничі та/або наукові задачі під час проектування, виготовлення і дослідження мікро- та наносистемної техніки різноманітного призначення та створення конкурентоспроможних розробок, втілення результатів у бізнес-проектах;

ПРН2 – Визначати напрями, розробляти і реалізовувати проекти модернізації виробництва мікро- та наносистемної техніки з урахуванням технічних, економічних, правових, соціальних та екологічних аспектів;

ПРН3 – Оптимізувати конструкції систем, пристроїв та компонентів мікро- та наносистемної техніки, а також технології їх виготовлення;

ПРН4 – Застосовувати спеціалізовані концептуальні знання, що включають сучасні наукові здобутки, а також критичне осмислення сучасних проблем у сфері мікро- та нанoeлектроніки, для розв'язування складних задач професійної діяльності;

ПРН5 – Вільно спілкуватися державною та іноземною мовами усно і письмово для обговорення професійних проблем і результатів діяльності у сфері мікро- та нанoeлектроніки, презентації результатів досліджень та інноваційних проектів;

ПРН6 – Розробляти вироби та компоненти мікро- та наносистемної техніки, враховуючі вимоги до їх характеристик, технологічні та ресурсні обмеження; використовувати сучасні інструменти автоматизації проектування.

ПРН7 – Розв'язувати задачі синтезу та аналізу приладів та пристроїв мікро- та наносистемної техніки;

ПРН8 – Збирати необхідну інформацію, використовуючи науково-технічну літературу, бази даних та інші джерела, аналізувати і оцінювати її;

ПРН20 – Проводити проектування, випробування, експериментальні та теоретичні дослідження властивостей матеріалів, наноструктур та технологій, компонентів та пристроїв мікро- та наносистемної техніки, включаючи електронні біомедичні системи.

2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)

Вивчення дисципліни ґрунтується на знаннях та навичках, здобутих під час вивчення кредитних модулів з дисциплін «Теорія електронних кіл», що надає знання та навички аналізу електронних кіл, «Схемотехніка», що надає знання про складові електронних схем та навички їх аналізу, «Твердотільна електроніка», що надає знання про елементну базу електроніки, «Інформатика», «Персональні комп'ютери та основи програмування». що надають базові знання щодо інформаційних систем та навички роботи з ПК для використання прикладних програм та оформлення конструкторської документації.

3. Зміст навчальної дисципліни

Курсовий проект складається з чотирьох розділів.

- 1. Структурне проектування. На цьому етапі здійснюється аналіз вимог технічного завдання, збір інформації щодо предметної області практичної задачі, що розв'язується, формування технічного рішення, декомпозиція задач, синтез структурної схеми та формування вимог до функціональних вузлів.*
- 2. Розрахункова частина. На цьому етапі розв'язуються задачі синтезу та аналізу функціональних вузлів, верифікація їх характеристик щодо раніше*

сформульованих вимог, виконуються процедури схемотехнічного проектування та синтезу алгоритмів обчислювальних платформ.

3. *Моделювання.* На цьому етапі розв'язується задача комплексного схемотехнічного аналізу та створення моделей, придатних до верифікації щодо технічного завдання.
4. *Технологічна частина.* На цьому етапі формуються вимоги до технології виготовлення пристрою, вирішуються питання електроживлення, захисту від впливу зовнішнього середовища та питання ергономіки. Розробляється та виготовляється у технології печатних плат макет обраного модуля чи частини пристрою. За дистанційної форми проведення занять замість макету розробляється його докладний опис та технологічна документація.

Рекомендовані теми курсових проектів наведено у додатку 1:

4. Навчальні матеріали та ресурси

Інформаційні ресурси

- Персональна web-сторінка Ю. В. Вунтсмері <http://ee.kpi.ua/~yv>.
- Електронний кампус КПІ.

Базова рекомендована література

1. Співак В.В., Багрій Жуйков В.Я., Бойко В.І., Гурій А.М., Зорі В.В. Схемотехніка електронних систем: том 2 Цифрова схемотехніка: підручник. – К.: Вища школа 2005 – 320 с.
2. Схемотехніка електронних систем: У 3 кн. Кн. 1. Аналогова схемотехніка та імпульсні пристрої: Підручник / В. І. Бойко, А. М. Гуржій, В. Я. Жуйков та ін. — 2-ге вид., допов. і переробл. — К.: Вища шк., 2004. — 366 с.: іл.
3. Схемотехніка електронних систем: У 3 кн. Кн. 2. Цифрова схемотехніка: Підручник / В. І. Бойко, А. М. Гуржій, В. Я. Жуйков та ін. — 2-ге вид., допов. і переробл. — К.: Вища шк., 2004. — 423 с.: іл.
4. Схемотехніка електронних систем: У 3 кн. Кн. 3. Мікропроцесори та мікроконтролери: Підручник / В. І. Бойко, А. М. Гуржій, В. Я. Жуйков та ін. — 2-ге вид., допов. і переробл. — К.: Вища шк., 2004. — 399 с.: іл.
5. Кучеренко М., Щерба А. Комп'ютерні технології в електроніці та електротехніці (2003). ІВЦ "Видавництво "Політехніка"" НТУУ "КПІ". 50 с.
6. М.М. Прищеп, В.П. Погребняк. Мікроелектроніка. Елементи мікросхем. Київ, "Вища школа" 430 с.
7. VERILOG. Практика проектування цифрових пристроїв на ПЛІС : Навч. посіб. / В.М. Рябенський, О.О. Ушкаренко ; Нац. ун-т кораблебудування ім. адмірала Макарова. - Миколаїв : Іліон, 2007. - 324 с.

Допоміжна рекомендована література

1. M. Kaufman. *Handbook of Electronics Calculations for Engineers and Technicians*. McGraw-Hill, 1979 - *Electronic apparatus and appliances* - 550 pages.
2. J. F. Wakerly. *Digital Design: Principles and Practices*. Prentice Hall, 1990 - *Digital integrated circuits* - 716 pages
3. C. Maxfield. *The Design Warrior's Guide to FPGAs*. Newnes, 2004, 542 p.
4. A. Peyton, V. Walsh. *Analog Electronics with Op-amps: A Source Book of Practical Circuits* Cambridge University Press, Aug 12, 1993 - 281 pages.
5. S. Soclof. *Analog Integrated Circuits*. Prentice-Hall, 1985 - *Linear integrated circuits* - 508 pages..

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Виконання курсового проекту відбувається під час самостійної роботи студента. При цьому він повинен використовувати наявну літературу та інші інформаційні ресурси, які висвітлюють питання, що охоплені завданнями на курсовий проект. Питання, які виникають у студента та потребують пояснення викладача, вирішуються під час консультацій.

Тиждень семестру	Назва етапу роботи	Навчальний час CPC
2	Отримання теми та узгодження завдання	2
3-5	Виконання розділу 1	6
6-7	Виконання розділу 2	12
8-10	Виконання розділу 3	12
11-15	Виконання розділу 4	12
16	Подання курсової роботи на перевірку	
17	Захист курсової роботи	1

Політика та контроль

6. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

- Відвідування консультацій є бажаним. У разі дистанційної форми навчання консультації проводяться у формі онлайн конференцій через Google Classroom.

7. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

Рейтинг студента з кредитного модуля складається з балів, які він отримує за:

- 1) виконання розділів курсового проекту;
- 2) захисту курсового проекту.

Система рейтингових балів

Рейтингова оцінка з курсового проекту матиме дві складові. Перша (стартова) характеризує роботу студента з курсової роботи та її результат – якість пояснювальної записки та графічного матеріалу. Друга складова характеризує якість захисту студентом курсової роботи.

Розмір шкали першої складової дорівнює 40 балів, а другій складової – 60 балів.

1. Стартова складова (r1):

- своєчасність виконання графіку роботи – 5-3 балів;
- сучасність та обґрунтування прийнятих рішень – 12-7 балів;
- правильність застосування методів аналізу і розрахунку – 10-6 балів;
- якість оформлення, виконання вимог нормативних документів – 6-4 балів;
- якість графічного матеріалу і дотримання вимог ДСТУ – 7-4 балів.

2. Складова захисту роботи (r2):

- ступінь володіння матеріалом – 10-6 балів;
- повнота аналізу можливих варіантів – 15-9 балів;
- ступінь обґрунтування прийнятих рішень – 20-12 балів;
- вміння захищати свою думку – 15-9 балів.

Для отримання “зараховано” з першої проміжної атестації (8 тиждень) студент повинен мати не менше ніж 50% від максимальної можливої на час атестації кількості балів.

Для отримання “зараховано” з другої проміжної атестації (14 тиждень) студент повинен мати не менше ніж 50% від максимальної можливої на час атестації кількості балів.

Сума балів двох складових переводиться до залікової оцінки згідно з таблицею:

Значення рейтингу з кредитного модуля $R = r1 + r2$	Оцінка та її визначення
95...100	Відмінно
85...94	Дуже добре
75...84	Добре
65...74	Задовільно
60...64	Достатньо

	(задовольняє мінімальні критерії)
$R \leq 60$	Незадовільно

Умови позитивної проміжної атестації

Календарна атестація студентів (на 8 та 14 тижнях семестрів) з дисциплін проводиться викладачами за значенням поточного рейтингу студента на час атестації. Якщо значення цього рейтингу не менше 50 % від максимально можливого на час атестації, студент вважається задовільно атестованим. В іншому випадку в атестаційній відомості виставляється «незадовільно».

8. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено доцентом кафедри електронної інженерії, к.т.н., Вунтесмері Юрієм Володимировичем.

Ухвалено кафедрою електронної інженерії (протокол № 34 від 22 червня 2022р.)

Погоджено Методичною комісією факультету електроніки (протокол № 06/22 від 29.06.2022р.)

Додаток 1. Рекомендовані теми курсових проектів

Вимірювач діючої напруги.

Розробити пристрій, на вхід якого подається періодично змінна у часі напруга довільної форми а на виході формується напруга, пропорційна діючому значенню вхідної. Пристрій повинен мати гальванічну розв'язку по входу. Вихідна напруга повинна в подальшому бути дискретизована та оброблена у цифровому вигляді.

Умови:

Амплітудне значення вхідної напруги	0..380В
Частота вхідної напруги	20..100Гц
Опорна напруга АЦП	2.56В
Частота дискретизації АЦП	1кГц

Вимірювач змінного струму безконтактний.

Розробити пристрій, що перетворює змінний струм у первинному ланцюгу у пропорційну сталу напругу на виході. Для первинного перетворювання використати електромагнітний перетворювач у вигляді пояса Роговського. Вихідна напруга має бути у подальшому дискретизована та оброблена у цифровому вигляді.

Умови:

Діапазони вимірюваного струму	0..30..100..300А
Частота вимірюваного струму	50Гц
Час встановлення вихідного сигналу, не більше	0.1с
Максимальне перевантаження за вхідним струмом	10кА
Опорна напруга АЦП	2.56В
Частота дискретизації АЦП	1кГц

Вимірювач потужності низькочастотний цифровий.

Розробити пристрій, який під'єднується до трьохфазного електричного кола за допомогою вимірювальних трансформаторів і формує на виході цифрові значення активної та реактивної потужності, що споживається у колі. Результати вимірювання подати на індикаторі.

Умови:

Линійна напруга у вхідному ланцюгу	0..380В
Струм у вхідному ланцюгу	0..5А
Номінальна частота	45..60Гц
Клас точності	0.5

Вимірювач іммітанса.

Розробити пристрій, який вимірює активну та реактивну складові опору поданого навантаження. Рекомендований метод вольтметра-амперметра з детекцією фаз та цифровим поділювачем.

Умови:

Діапазон вимірювання R	0.01Ом..10МОм
Діапазон вимірювання L	1мкГн...1Гн
Діапазон вимірювання C	1пФ..2000мкФ
Частота вимірювання	1кГц

Індикація окремо активного та реактивного опору

Вимірювач хвильового опору двопровідних ліній.

Розробити пристрій, що вимірює хвильовий опір двопровідної лінії передачі. Рекомендований метод автоматичного моста. Результат вимірювання подати на індикаторі.

Умови:

Діапазон вимірюваного опору	0..300Ом
Частота генератора	5..30МГц
Мінімальна довжина лінії	2м

Модель довгої лінії для випробування систем передачі.

Розробити пристрій, який моделює розподілені характеристики двопровідної лінії передачі у фізичному середовищі (еквівалент кабелю). Модель має бути розрахована на кабель з екраном. До налаштувань віднести: тип кабелю, діаметр жили, довжину.

Умови:

Типи кабелів	ТППэп, FTP cat5e
Діаметри жил	0.4, 0.5, 0.64 мм
Діапазон довжин	100м..10км

Вимірювач частоти.

Розробити пристрій, який формує на виході напругу, пропорційну частоті вхідного сигналу. Вихідна напруга має бути у подальшому дискретизована та оброблена у цифровому вигляді.

Умови:

Частота вхідного сигналу	50..1500Гц
Форма вхідного сигналу	синус./прямокут.
Амплітуда вхідного сигналу	1.5..5В
Опорна напруга АЦП	2.56В
Частота дискретизації АЦП	1кГц

Аналізатор часових проміжків.

На вхід розроблюваного пристрою подають послідовність імпульсів із нестабільним періодом. На виходах повинні бути сформовані дві напруги - одна пропорційна середньому значенню, друга - девіації часових проміжків між вхідними імпульсами. Вихідна напруга має бути у подальшому дискретизована та оброблена у цифровому вигляді.

Умови:

Період вхідних імпульсів	1..100мкс
Амплітуда вхідних імпульсів	1.5..3В
Опорна напруга АЦП	2.56В
Частота дискретизації АЦП	1кГц

Фазовий модулятор.

Розробити пристрій для формування фазоманіпульованого сигналу.

Умови:

Тип модуляції	BPSK
Частота несучої	250кГц
Бітрейт	20kbps
Амплітуда цифрового сигналу	1В

Детектор фазоманіпульованого сигналу.

Розробити пристрій для детектування фазоманіпульованого сигналу. Рекомендована схема - петля Костаса.

Умови:

Тип модуляції	BPSK
Частота несучої	250кГц
Бітрейт	20kbps
Амплітуда цифрового сигналу	1В

Визначник кольору.

Розробити пристрій, який взаємодіє із досліджуваним об'єктом за допомогою оптичних датчиків відбиття та формує на виході три сигнали, напруги яких пропорційні червоній, зеленій та синій складовим вимірюваного кольору. Вихідна напруга має бути у подальшому дискретизована та оброблена у цифровому вигляді.

Умови:

Діаметр детектованої площі	3..5мм
Відстань вимірювача до об'єкту	10..100мм
Час вимірювання, не більше	1мс
Опорна напруга АЦП	2.56В
Частота дискретизації АЦП	1кГц

Дозиметр-радіометр електронний.

Розробити пристрій, що складається з аналогової частини, яка обслуговує сенсор іонізуючого випромінювання (трубка Гейгера) та цифрової, яка формує два цифрові сигнали - рівня радіації та дози, накопиченої за час вимірювання з періодом обрахунку 1с.

Вимірювач вологості сипучих речовин.

Розробити пристрій, призначений для неперервного контролю вологості сипучих речовин у потоці. Результати вимірювання подати цифровим інтерфейсом. Забезпечити температурну коррекцію вимірювача, тобто калібрування проводити для кожної вимірюваної величини в діапазоні температур.

Умови:

Діапазон значень вологості	4..80%
Діапазон температур	0..80°C
Дисперсія вимірюваного матеріалу, не більше	10мм
Швидкість потоку, не більше	1м/с

Монітор температури медичний.

Розробити пристрій, призначений для неперервного контролю температури тіла пацієнта двома накожними датчиками з подальшим усередненням. Результати вимірювання подавати у аналоговому вигляді з періодом обрахунку 3с. Вихідний сигнал в подальшому має бути дискретизований та оброблений у цифровому вигляді.

Термостат проточний із малою інерцією.

Розробити пристрій автоматичного регулювання тиску та температури води у змішувачі. На входи змішувача подаються два потоки води різних температур. Стабілізатор повинен забезпечити на виході змішувача заданий тиск та температуру води. Для регулювання тиску застосувати електричні редуктори.

Умови:

Робочий тиск води	1..6 атм
Температура води	0..70°C

Термостат із великою інерцією.

Розробити пристрій для автоматичного регулювання температури габаритного навантаження з великою теплоємністю. Прикладом може слугувати котел з водою об'ємом більше 100м³. Завданням пристрою є втримати температуру теплоносія у заданих межах.

Умови:

Маса теплоносія	100т
Потужність нагрівача	10000Вт
Коридор температур	70±5°C

Коефіцієнти теплопередачі та конвективного теплообміну взяти для випадку плаского нагрівача та води.

Дозатор рідких речовин проточний.

Розробити пристрій для автоматичного дозування рідких речовин у трубах за допомогою електрично керованого клапана та вихрового вимірювача потоку. Урахувати температурне розширення речовини (калібрувати пристрій необхідно у діапазоні температур).

Умови:

Тип сенсору вихрового вимірювача	п'єзоелектричний
Умовна пропускна здатність	0.1..40м ³ /год
Температура речовини	0..100°C

Дозатор сипучих речовин ваговий.

Розробити пристрій для керування процесом навантаження кузовної техніки сипучими речовинами з бункеру. При дозуванні речовини має бути врахована вага та вологість речовини. Від вологості залежить кут природнього відкосу насипу. Керування клапаном бункера бінарне за допомогою реле. Для вимірювання ваги використовуються платформенні автомобільні ваги.

Умови:

Максимальна вага насипу речовини	10т
Максимальний об'єм насипу	10м ³

Співвідношення вологості речовини та куту природнього насипу взяти для піску щільністю 1800 кг/м³, щебня щільністю 1300 кг/м³ та зерна щільністю 800 кг/м³.

Випробувач кислотних акумуляторів.

Розробити пристрій, для прямого вимірювання внутрішнього опору кислотних (автомобільних) акумуляторів з визначенням ступеня сульфідації пластин. Вимірювання проводити при розряді акумулятора імпульсним струмом. Результати вимірювання подати у цифровому вигляді.

Умови:

Робоча напруга акумулятора	12В
Ємність акумулятора	12..120А/год
Максимальний час вимірювання	5с
Вимірювана ступінь сульфідації	>30%

Свіп-генератор.

Розробити генератор частоти, що качається, для вимірювання частотних характеристик. Верхня та нижня границі качання мають бути задані двома рівнями сталої напруги.

Умови:

Діапазон частот	0.2..30МГц
Вихідна потужність	1..10Вт
Період розгортки	50..100Гц

Підсилювач з автоматичним підлаштуванням підсилення.

Розробити мікрофонний підсилювач з глибоким АРП для підвищеної розбірливості мови оператора в умовах завад.

Умови:

Контрольований рівень вихідного сигналу	180..220мВ
Полоса підсилення на рівні -3дБ	300..6300Гц
Тип мікрофону	динамічний
Імпеданс мікрофону на частоті 1кГц	160..240 Ом

Селектор імпульсів.

Розробити пристрій для виділення з послідовності імпульсів амплітудою 30..70мВ і довжиною 10..100мс, імпульсів, довжиною менше заданої. Рівень порогової довжини змає задаватись сталою напругою. На вихід подавати нормовані імпульси.

Умови:

Діапазон регулювання порогової довжини	10..100мс
Мінімальна пауза між імпульсами	0.1мс
Амплітуда нормованого імпульсу	5В
Довжина нормованого імпульсу	10мкс

Синтезатор частот.

Розробити керований синтезатор частот з петлею ФАПЧ.

Умови:

Діапазон частот	135..145МГц
-----------------	-------------

Шаг перелаштування частоти

1кГц..1МГц

Аналоговий параметричний еквалайзер.

Розробити аналоговий параметричний еквалайзер на 3 полоси частот з незалежним регулюванням центральної частоти, коефіцієнта підсилення та добротності по кожному каналу.

Умови:

Рівень сигналу по входу		0.5В
Вхідний опір		10кОм
Вихідний опір		1кОм
Нижня полоса:	частота зрізу	100Гц..1кГц
	підсилення	2..10
Середн полоса:	середня частота	1кГц
	підсилення	2..10
	добротність	2
Верхня полоса	частота зрізу	3.3..10кГц
	підсилення	2..10

Випробувач біполярних транзисторів

Розробити пристрій, призначений для перевірки працездатності біполярних транзисторів малої потужності та вимірювання $h_{21э}$. Пристрій повинен визначати структуру провідності транзистора, діагностувати розриви та закорочення у них.

Умови:

Діпазон вимірювання статичного коефіцієнта передачі	10..690
Максимальна напруга колектор-емітер	5В
Максимальний струм колектора	5мА