

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ МИХАЙЛА ОСТРОГРАДСЬКОГО
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ
ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ



МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ЩОДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОГО ПРОЄКТУ
З НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
«ЦИФРОВА СХЕМОТЕХНІКА»
ДЛЯ СТУДЕНТІВ ДЕННОЇ ФОРМИ НАВЧАННЯ
ЗІ СПЕЦІАЛЬНОСТІ 171 – «ЕЛЕКТРОНІКА»
ОСВІТНЬО-ПРОФЕСІЙНОЇ ПРОГРАМИ «ТЕХНОЛОГІЯ,
ОБЛАДНАННЯ ТА ВИРОБНИЦТВО ЕЛЕКТРОННОЇ ТЕХНІКИ»
ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ «БАКАЛАВР»

КРЕМЕНЧУК 2023

Методичні вказівки щодо виконання курсового проєкту з навчальної дисципліни «Цифрова схемотехніка» для студентів денної форми навчання зі спеціальності 171 – «Електроніка» освітньо-професійної програми «Технологія, обладнання та виробництво електронної техніки» освітнього ступеня «Бакалавр»

Укладачі: к. т. н., доц. Д. В. Мосьпан;
старш. викл. С. В. Саньков

Рецензент к. т. н., доц. О. О. Юрко

Кафедра комп'ютерної інженерії та електроніки

Затверджено методичною радою Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського

Протокол № 1 від 07 09 2023 року 

Голова методичної ради



проф. В. В. Костін

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Мета та призначення курсового проєкту.....	5
2 Структура курсового проєкту.....	8
3 Склад пояснювальної записки.....	9
3.1 Оформлення титульної сторінки.....	10
3.2 Заповнення листа технічного завдання.....	10
3.3 Оформлення реферату.....	10
3.4 Складання змісту.....	11
3.5 Загальні правила оформлення	11
3.6 Оформлення вступу.....	12
3.7 Аналіз технічного завдання.....	12
3.8 Опис структурної схеми пристрою.....	13
3.9 Розробка електричної принципової схеми.....	21
3.10 Розрахункова частина.....	22
4 Висновки.....	47
5 Перелік використаної літератури.....	47
6 Додатки до курсового проєкту.....	47
7 Захист курсового проєкту.....	48
8 Критерії оцінювання курсового проєкту.....	47
Список літератури.....	52
Додаток А Зразок оформлення титульної сторінки пояснювальної записки.....	54
Додаток Б Лист технічного завдання до курсового проєкту.....	55
Додаток В Величини коефіцієнтів впливу α для різного типу елементів...	57

ВСТУП

Широке розповсюдження цифрової техніки потребує переходу на розробку цифро-аналогових перетворювачів (ЦАП) та аналого-цифрових перетворювачів (АЦП) у вигляді великих і надвеликих інтегральних схем. Це відкрило нові можливості, для розширення галузей використання перетворювачів, вивчення їх основних електричних параметрів, що розповсюджуються і на технічні характеристики апаратури, удосконалення методів проєктування, схемотехнічних і конструкторсько-технологічних рішень.

Необхідність у прийманні, обробці та передаванні великого обсягу інформації в реальному масштабі часу під час розв'язання завдань радіолокації, телебачення, дослідження швидкоплинних процесів у різних установках призвела до створення швидкодієвих мікросхем ЦАП і АЦП. Розв'язання проблем зв'язку потребувало розробки багатоканальних перетворювачів. Створення приладів прецизійних вимірювань, пристроїв медичної діагностики, автоматизованих систем керування верстатами, унікального технологічного та випробувального устаткування, апаратури високоякісного звукозапису і звуковідтворення, багатьох медичних приладів було б неможливе без використання інтегральних схем АЦП і ЦАП з високою роздільною здатністю.

Жорсткі вимоги до енергоспоживання і масогабаритних показників до радіоелектронної апаратури (РЕА) задовольняються завдяки функціонально закінченим перетворювачом, що не потребують для своєї роботи додаткових зовнішніх дискретних елементів і мікросхем. Також паралельно існує номенклатура дешевих перетворювачів, які не мають рекордних значень електричних параметрів і експлуатаційних характеристик для розв'язання різних побутових завдань.

1 МЕТА ТА ПРИЗНАЧЕННЯ КУРСОВОГО ПРОЄКТУ

Метою курсового проєкту є закріплення теоретичних знань, отриманих під час вивчення навчального курсу «Цифрова схемотехніка», щодо основних розрахункових формул і співвідношень для визначення параметрів і номіналів елементів електричних схем, схемотехніки та особливостей функціонування таких схем, електричних характеристик напівпровідникових елементів.

У результаті курсового проєктування студенту необхідно спроектувати прилад із застосуванням мікросхем АЦП або ЦАП. У процесі проєктування обґрунтовується вибір типу мікросхеми, а саме: роздільна здатність АЦП або ЦАП, час перетворення, число розрядів та інші параметри, які визначають можливості приладу, що розробляється.

У процесі виконання курсової роботи студент зобов'язаний виконати такі дії:

1. Вивчити правила оформлення конструкторської документації згідно з ЄСКД.
2. Вивчити вимоги ЄСКД до виконання структурної схеми, схеми електричної принципової, загальної схеми, схеми розташування.
3. Ознайомитися з правилами оформлення відомості специфікацій.
4. Провести необхідні розрахунки, що дозволяють обґрунтовано довести правильність вибору типу застосованих перетворювачів.

Слід зазначити, що завдання потребує відповідних знань студентів, уміння працювати з довідковою технічною літературою та застосовувати на практиці теоретичні знання, отримані під час вивчення навчального курсу «Цифрова схемотехніка».

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти повинні набути:

знання:

- ЗН2. Знання способів і методів навчання, методів самоосвіти, підвищення професійної кваліфікації у електроніці та споріднених галузях;

– ЗН3. Знання методів, способів і технологій збирання, контент-аналізу й обробки інформації з різних джерел;

– ЗН4. Знання міжнародних стандартів у галузі електроніки, методів забезпечення якості електронних пристроїв і систем;

– ЗН5. Знання основ філософії, політології, історії, релігії та культури, що сприяють розвитку загальної культури та соціалізації особистості, дотриманню етичних цінностей, розуміння причинно-наслідкових зв'язків розвитку суспільства й уміння використовувати їх у професійній і соціальній діяльності;

– ЗН9. Знання основних властивостей провідникових, напівпровідникових, діелектричних та інших матеріалів електроніки;

– ЗН10. Знання про будову, принципи дії, основні характеристики, методи аналізу та синтезу компонентів і пристроїв електронної техніки;

– ЗН12. Знання про сучасні комп'ютерні технології та інструменти інженерних і наукових розрахунків, обробки даних, графіки, моделювання та оптимізації, сучасні засоби інформаційних технологій;

– ЗН13. Знання основ аналогової та цифрової схемотехніки, мікропроцесорної техніки, вимірювальних засобів, основ автоматизації процесів у технології, проектуванні та виробництві;

уміння:

– У2. Оцінювати предмет навчальної діяльності, визначати загальну мету і конкретні завдання, вибирати адекватні засоби їх розв'язання для досягнення результату, здійснювати необхідний самоконтроль, використовувати довідкову літературу й технічну документацію, розвивати та застосовувати у професійній діяльності свої творчі та організаційні здібності, організовувати робоче місце, планувати робочий час;

– У4. Аналізувати проблемні ситуації, ставити певні цілі щодо розв'язання професійних завдань і свідомо домагатися їх реалізації, вибирати шлях для майбутніх дій, визначати засоби для досягнення мети, приймати обґрунтовані рішення;

– У7. Вибирати компоненти та засоби електронної техніки для виконання заданих функцій; діагностувати працездатність і налагоджувати електронні пристрої та системи;

– У8. Розв'язати завдання оптимізації, модифікації та оновлення технології та виробництва електронних пристроїв і систем; розрахунку, моделювання та проектування структури пристроїв електронної техніки;

– У9. Аналізувати науково-технічну літературу (у тому числі іноземну) щодо стану, тенденцій та розвитку електронної техніки, технічної, технологічної та конструкторської документації, використовувати нові технічні рішення;

– У10. Проводити випробування, експериментальні дослідження властивостей матеріалів, компонентів і пристроїв електронної техніки; проводити вимірювання параметрів матеріалів та компонентів електронної техніки, розроблення програм випробувань електронної техніки;

– У12. Оцінювати функціонування електронних приладів, пристроїв і систем, визначати відхилення від норми параметрів та режимів функціонування електронних пристроїв, здійснювати регулювання відповідних електронних приладів і пристроїв для досягнення нормальних режимів функціонування.

2 СТРУКТУРА КУРСОВОГО ПРОЄКТУ

Курсовий проєкт (КП) являє собою комплект документів, який складається з:

- а) пояснювальної записки (ПЗ);
- б) графічного матеріалу.

Завдання до курсового проєкту і розрахункову частину оформляють у вигляді розрахунково-пояснювальної записки. Графічна частина містить креслення і графіки, які необхідні студенту для захисту курсового проєкту. Графічну частину курсового проєкту виконують після виконання всіх необхідних розрахунків з використанням їх результатів і ескізів, які виконувалися в процесі розробки рішення курсового проєкту. Загальний обсяг графічної частини курсового проєкту складає два аркуші формату А1.

Графічна частина курсового проєкту містить такі креслення:

- структурної схеми розробленого пристрою – формат А2;
- принципової схеми розробленого пристрою – формат А2;
- функціональної схеми застосованого АЦП – формат А2;
- часових діаграм роботи застосованого АЦП – формат А2.

Вибір технічного завдання для курсового проєкту здійснюють залежно від спеціалізації, і відповідно до певного номера варіанта всі необхідні параметри видає керівник курсового проєкту.

3 СКЛАД ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ

Пояснювальна записка до курсового проєкту повинна у стислій формі розкривати задум курсового проєкту, містити прийняті методи розрахунків і самі розрахунки. У ній описують порядок виконання роботи, тобто аналіз завдання, складання електричної принципової схеми пристрою, розробку окремих елементів схеми, необхідні розрахунки, а також перелік елементів, з яких складається схема пристрою. Пояснювальна записка також може містити необхідні ілюстрації, ескізи, графіки, діаграми, схеми, таблиці, які використовувалися в процесі проєктування.

Пояснювальна записка налічує такі складові:

- титульна сторінка;
- лист з технічним завданням (ТЗ);
- реферат;
- перелік скорочень;
- зміст;
- вступ;
- аналіз технічного завдання;
- опис структурної схеми пристрою;
- опис принципової схеми пристрою:
 - а) аналогової частини;
 - б) цифрової частини;
- розрахункова частина:
 - а) розрахунок застосованого у схемі АЦП;
 - б) додаткові електричні розрахунки схеми пристрою (за необхідності);
 - в) розрахунок надійності розробленого пристрою;
- висновок;
- список літератури;
- додатки:
 - а) перелік елементів.

3.1 Оформлення титульної сторінки

Титульна сторінка повинна містити інформацію про вид виконуваної роботи про навчальну дисципліну, з якої виконується робота, прізвище, ім'я, по батькові та групу виконавця, а також прізвище викладача, який перевіряв роботу.

Також на титульній сторінці повинна бути назва закладу вищої освіти кафедри, на якій виконана робота, і рік написання роботи.

Приклад оформлення титульної сторінки наведений у додатку А.

3.2 Заповнення листа технічного завдання

Лист технічного завдання до курсового проєкту заповнюється на типовому бланку від час видачі завдання і містить:

- назву університету і кафедри;
- прізвище, ім'я і по батькові студента;
- повну назву теми курсового проєкту;
- дату видачі завдання;
- дату здачі студентом закінченого проєкту;
- вихідні дані до проєкту;
- перелік питань, які підлягають розробці;
- зміст пояснювальної записки;
- перелік графічного матеріалу.

Приклад листа технічного завдання наведений у додатку Б.

3.3 Оформлення реферату

Реферат є третьою сторінкою ПЗ. Він повинен містити інформацію про кількість сторінок у ПЗ, про наявність у ній рисунків, таблиць, додатків та їх кількості. Реферат повинен пояснювати, про що йдеться в роботі, що мав на меті автор, розглядаючи цю проблему.

У рефераті також потрібно дати перелік ключових слів, тобто слів, які частіше за інші зустрічаються в ПЗ. Ключові слова пишуть великими друкованими літерами. Їх кількість не повинна перевищувати 8–12 слів.

Реферат до курсового проєкту пишуть трьома мовами у такій послідовності: українська, англійська.

Загальний обсяг реферату – одна сторінка.

3.4 Складання змісту

На сторінці зі змістом знаходиться перелік розділів, пунктів і підпунктів, із яких складається ПЗ. Навпроти кожного з них повинен бути номер сторінки, з якого даний розділ, пункт або підпункт починається.

Зміст відображає структуру ПЗ, тому послідовність його складових повинна бути такою, як і послідовність елементів ПЗ. Складові структури ПЗ, розміщені перед аркушем зі змістом, не відображаються в ньому.

Нумерація сторінок починається з титульної, але номери сторінок проставляють, починаючи зі змісту. На сторінці номер розміщують під текстом від правого краю у відведеному місці рамки.

Пояснювальна записка налічує чотири основні розділи з підрозділами:

- аналіз технічного завдання;
- опис структурної схеми пристрою;
- опис принципової схеми пристрою:
 - в) аналогової частини;
 - г) цифрової частини;
- розрахункова частина:
 - а) розрахунок застосованого у схемі АЦП;
 - б) додаткові електричні розрахунки схеми пристрою;
 - в) розрахунок надійності розробленого пристрою.

3.5 Загальні правила оформлення

Розділи в пояснювальній записці позначають арабськими цифрами. У межах кожного розділу можуть бути підпункти, які також позначають арабськими цифрами. Наприклад, номер підпункту 2.3 означає, що цей підпункт належить до другого розділу і є третім у цьому розділі.

Окрім того, у межах одного пункту може бути кілька підпунктів, які теж позначають арабськими цифрами. Наприклад, номер підпункту 2.3.4 означає,

що цей підпункт належить до третього підпункту другого розділу і є четвертим.

Кожний розділ повинен починатися з нової сторінки. Підпункт може продовжуватися на тій самій сторінці, де закінчився попередній підпункт.

Між підпунктами потрібно пропускати один порожній рядок. Назва підпункту відокремлюється від тексту одним порожнім рядком.

На кожній сторінці повинні бути відступи від краю: зверху – 15 мм, справа – 10 мм, зліва і знизу – 20 мм. Стандартна рамка заввишки 15 мм обов'язкова на всіх аркушах пояснювальної записки, починаючи з вступу та закінчуючи переліком використаної літератури. Рамка на аркуші зі змістом та аркушах з розташуванням елементів і провідників повинна бути заввишки 40 мм.

3.6 Оформлення вступу

У вступі необхідно:

- розкрити стан справ з тематики, яка висвітлюється в роботі на сьогодні;
- викласти, у якому напрямі відбувається розвиток НТП у питаннях, пов'язаних із завданням, яке розв'язується у даному КП;
- розглянути загальні підходи до розв'язання подібних завдань.

На першій сторінці вступу повинна бути рамка і скорочений штамп (заввишки 40 мм). Штамп повинен бути заповнений.

Обсяг вступу – одна – дві сторінки.

3.7 Аналіз технічного завдання

У цьому розділі потрібно викласти найбільш загальні принципи проектування конкретного пристрою та надати послідовність етапів роботи.

Ці принципи і можливі варіанти розв'язання проблеми формулюють на підставі аналізу тексту технічного завдання. Скорочений опис кожного з етапів виконання роботи – обов'язковий.

Обсяг розділу – дві сторінки.

3.8 Опис структурної схеми пристрою

На цьому етапі відбувається складання структурної, або так званої блок–схеми проєктованого пристрою з урахуванням усіх змін у його електричній схемі, які відбулися внаслідок виконання технічного завдання. Структурна схема має вигляд довільної кількості блоків, на які поділено проєктований пристрій, визначених за їх функціональним призначенням. На кресленні структурні блоки зображують у вигляді прямокутників довільного розміру з написом усередині функціонального призначення цього блока, наприклад: блок фільтрів, блок живлення, блок реєстрації сигналу та ін. Електричні зв'язки між блоками показують у вигляді стрілок. Така схема пояснює деякі зв'язки між блоками та величини і типи сигналів, що надходять з одного блока на інший. Структурна схема розробленого пристрою є першим кресленням та повинна бути зображена на першому плакаті. Опис структурної схеми пристрою наводять у відповідному розділі ПЗ, він має вигляд стисло закінченого пояснення щодо роботи схеми без детального опису призначень і функціонування окремих радіоелементів. Також структурну схему наводять у цьому розділі ПЗ або у додатках.

Оскільки одним з основних завдань на КП є проєктування приладу із застосуванням мікросхем АЦП або ЦАП, то постає питання їх застосування та місця у схемах радіоелектронної апаратури (РЕА). Інтегральні мікросхеми ЦАП і АЦП мають безліч варіантів використання в різних класах РЕА. Розгляд декількох наведених прикладів допоможе студентам визначити місце перетворювачів у структурних схемах розроблюваних пристроїв, їх вузлів і блоків.

Особливості проєктування пристроїв медичного призначення

Для розробки вимірювальної системи медичного призначення, що передбачає вибір датчиків – перетворювачів первинної інформації (ДПП), вибір структурної побудови і складу вимірювального каналу, методу вимірювання, алгоритмів отримання і подальшого використання вимірювальної інформації з урахуванням заданих метрологічних характеристик, необхідно

заздалегідь класифікувати систему, що розробляється, оскільки це значною мірою визначає її склад і структуру. Класифікація ґрунтується на цілях використання вимірювальних систем і передбачає такі напрями:

- діагностика станів живого організму (поточна, що проводиться в реальному масштабі часу, і диференціальна, що здійснюється у процесі апостеріорної обробки медико-біологічної інформації);
- керування станом організму для його нормалізації (методами дискретної або безперервної корекції);
- тимчасова або тривала компенсація втрачених функцій органів або фізіологічних систем живого організму;
- протезування і корекція функцій сенсорних систем або рухового апарату;
- різні медико-біологічні дослідження і лікувальні процедури, пов'язані із застосуванням приладів активної дії.

До того ж, усю медико-біологічну інформацію, що надходить від пацієнта (або оператора), поділяють на процеси, що швидко змінюються, і процеси які змінюються повільно. До процесів, що змінюються повільно, належать процеси, частота зміни яких нижче 1 Гц, а миттєві значення можуть бути виражені цифрою, наприклад, частота серцевих скорочень, частота дихання, температура тіла і т. д. До процесів, що швидко змінюються, належать здебільшого електрофізіологічні процеси, що характеризуються зміною електричних потенціалів на поверхні шкіри або на окремих ділянках організму під її покривами, наприклад, електрокардіосигнал, електроенцефалограма, електроміограма і т. д. До них також належать і інші характеристики фізіологічних функцій організму, які вимірюють за допомогою спеціальних датчиків-перетворювачів і характеризуються кривою зміни процесу в часі, наприклад, плетизмографа, крива зміни об'ємної швидкості кровотоку, крива пульсації артеріального тиску і т. д. Частотні спектри процесів, що швидко змінюються, знаходяться у діапазоні від 1 до 1000 Гц.

Для медичних вимірювачів повільних процесів узагальнена структурна схема може мати такий вигляд (рис. 3.1):

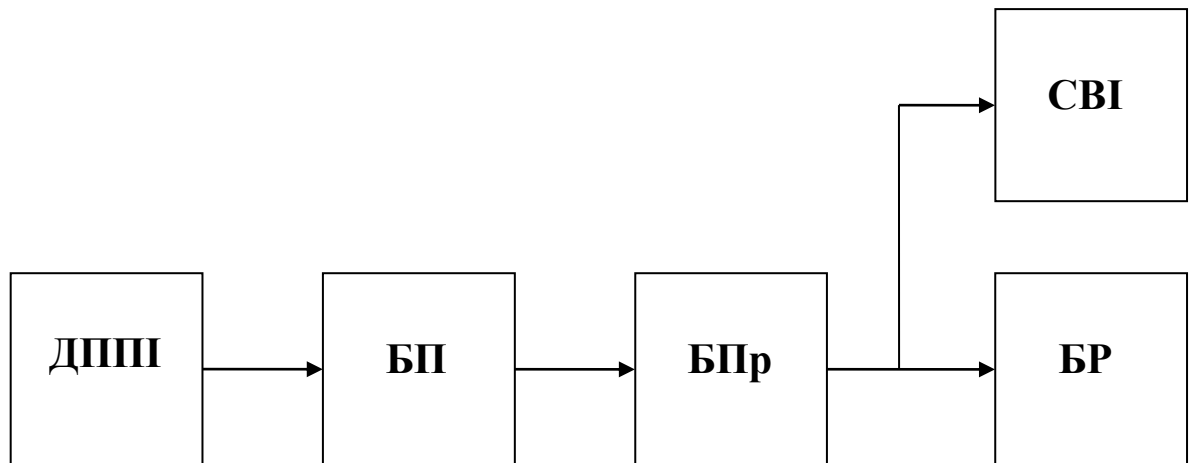


Рисунок 3.1 – Спрощена структурна схема вимірювача повільних біологічних процесів

Уся медико-біологічна інформація про процеси в організмі, що повільно змінюються, надходить у вигляді електричних сигналів від датчиків-перетворювачів первинної інформації (ДППІ), які підсилюються в блоці підсилення (БП) і перетворюються на цифрову форму в блоці перетворення (БПр) зазвичай у двійково-десятковий код для введення в блок реєстрації (БР). При цьому можливе також виведення інформації для демонстрації на спеціальне табло або екран дисплея системи відображення інформації (СВІ).

Структурна побудова вимірювача швидкоплинних процесів (рис. 3.2) відрізняється від структурної побудови вимірювача повільних процесів наявністю блоків стиснення інформації (БСІ) і виділення інформативних ознак (БВІО). Ці блоки реалізуються на мікропроцесорах або мікроконтролерах з відповідними жорсткими програмами.

Після проведення класифікації за описаним вище принципом, що спирається на цільове призначення вимірювача і характерні частоти процесів, медико-біологічна інформація яких підлягає вимірюванню, проектування рекомендується почати з первинного (вхідного) вимірювального перетворювача за такою схемою.

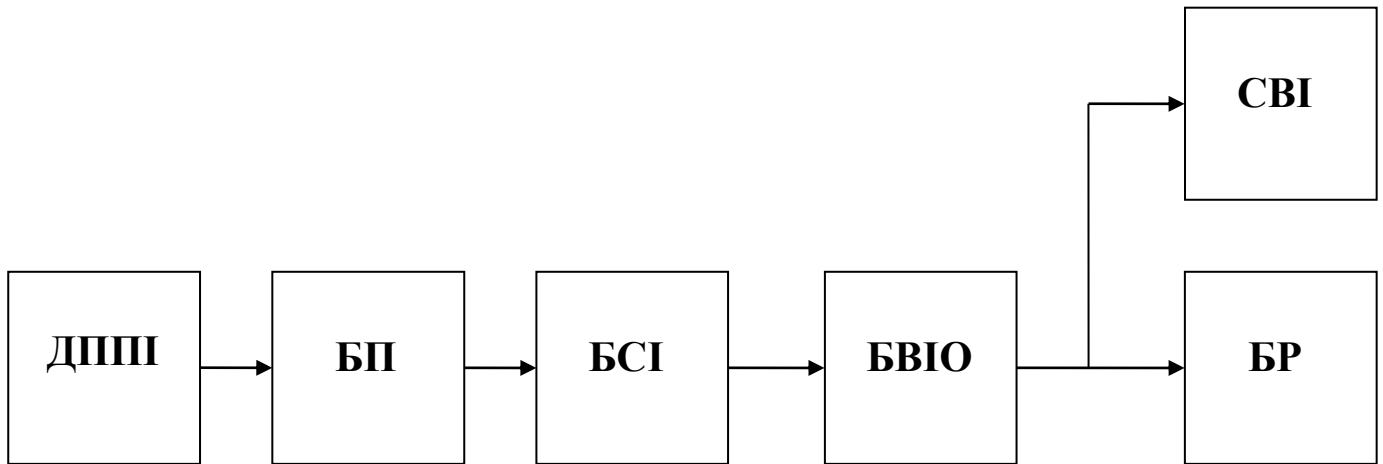


Рисунок 3.2 – Спрощена структурна схема вимірювача швидкоплинних біологічних процесів

1. Вибір типу вимірювального перетворювача (генераторного або параметричного):

а) вибір з наявних типових перетворювачів, якщо він забезпечує необхідний діапазон перетворення, точність, швидкодію і відповідність вимірюваної фізичної величини основному інформативному параметру перетворювача;

б) використання наявного типового перетворювача, але зі зміною основного інформативного параметра або з використанням синтезу схеми його включення у вимірювальний канал, якщо характеристики типового перетворювача не в повному обсязі відповідають поставленому завданню (за чутливістю, рівнем шумів, лінійністю характеристики і т. д.).

2. Вибираючи тип вимірювального перетворювача, необхідно використовувати таку інформацію:

- вимоги до вимірювального приладу: яку фізичну величину він повинен вимірювати, у якому діапазоні, із якою точністю;
- довідкові літературні дані щодо наявних перетворювачів з урахуванням установлених для них інформативних параметрів;

– вимоги, передбачені відповідними стандартами (ГОСТами або ДСТУ) до точності вимірювань інформативного параметра в даному виді вимірювань (ці вимоги надалі використовують для обґрунтування кількості діапазонів вимірювача).

Особливості проектування пристроїв побутового та спеціального призначення

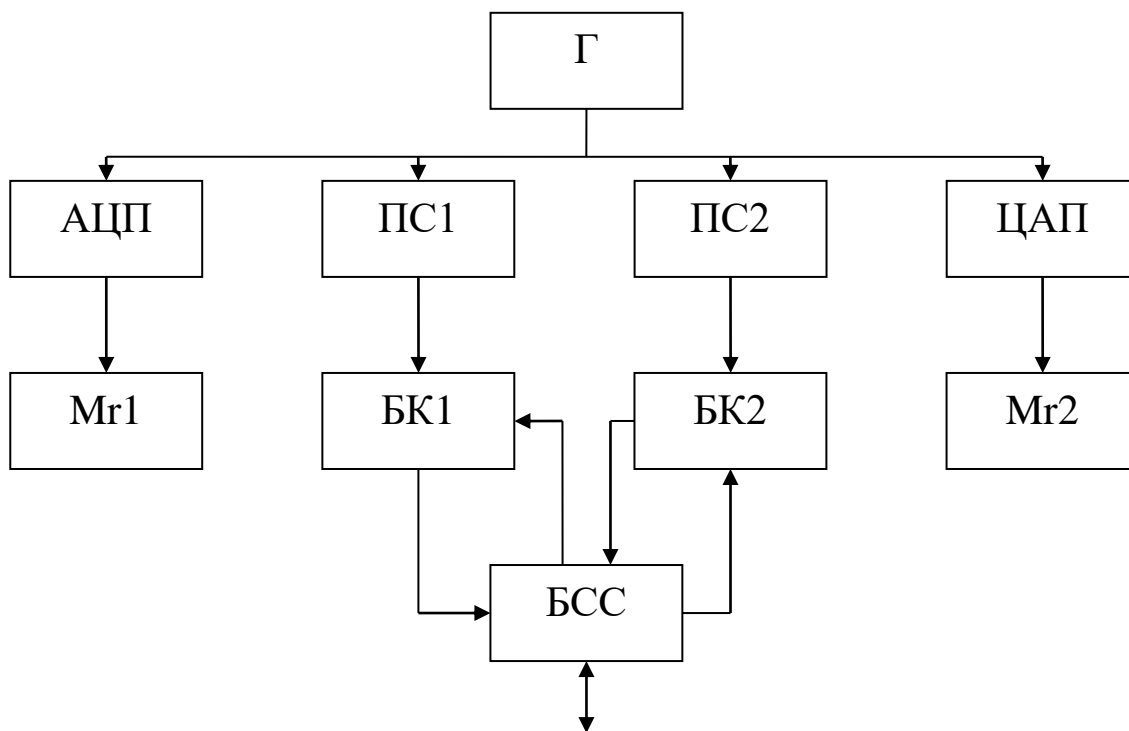


Рисунок 3.3 – Пристрій сполучення сигналів звукового мовлення

За допомогою ЦАП і АЦП розв’язують завдання організації обміну інформацією сигналів звукового мовлення з ЕОМ у реальному масштабі часу. На рис. 3.3 показано структурну схему терміналу на базі ЕОМ, що включає перетворювачі аналогової інформації. Із виходу магнітофона Mr1 аналоговий сигнал звукового мовлення надходить на входи 10–14–розрядного АЦП, де перетворюється на цифровий код, який подається на вхід пристрою сполучення (ПС1). У ПС1 сигнали з виходу АЦП синхронізуються й узгоджуються із сигналами блока керування БК1, який дає команду про проходження інформації в оперативний запам’ятовувальний пристрій (ОЗП) ЕОМ, а потім – у пам’ять ЕОМ на жорстких дисках. Виведення обробленого цифровими методами

сигналу звукового мовлення з ЕОМ на Mr2 здійснюється за допомогою ЦАП. Інформація зчитується з пам'яті ЕОМ в ОЗП, звідки надходить на вхід блока стандартного сполучення (БСС). Після реалізації команд керування інформація надходить на вивідний ПС2, а потім за командою БК2 – на вхід ЦАП. Сигнал з виходу ЦАП записується на Mr2. Сукупність АЦП, ЦАП, ПС1, ПС2 і генератора Г утворює пристрій сполучення сигналів звукового мовлення (ПССЗМ).

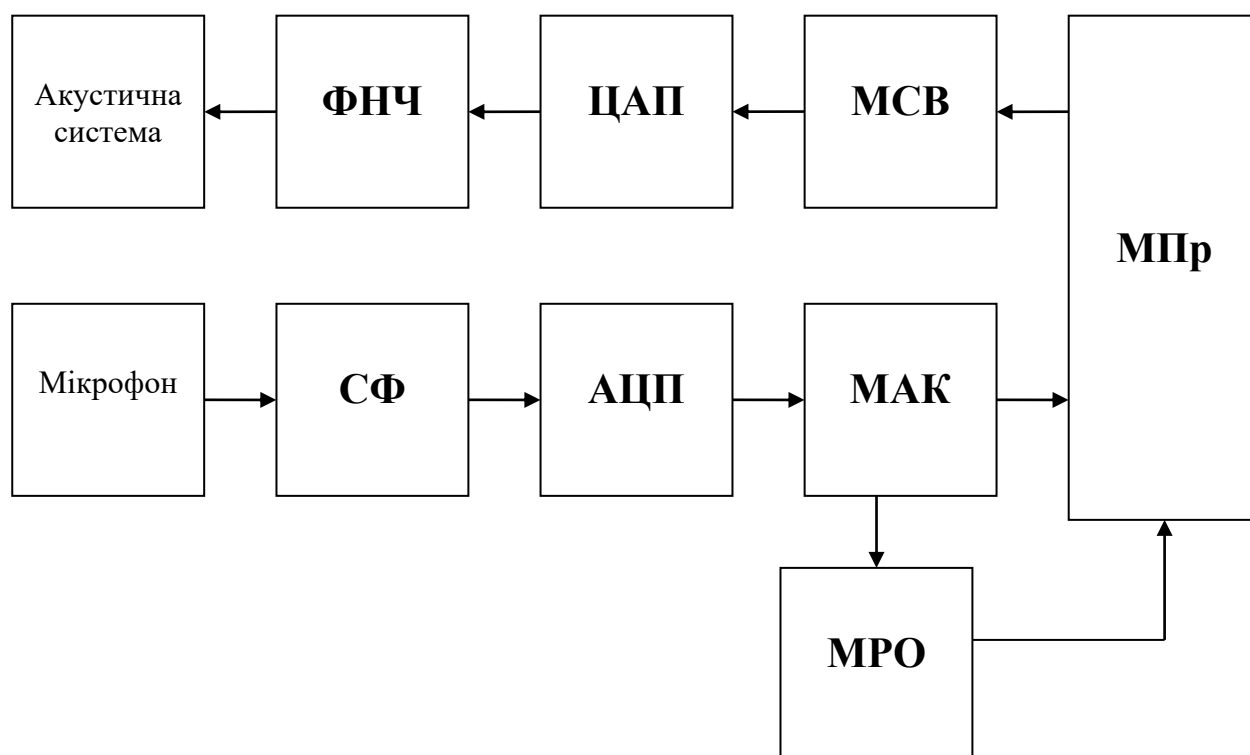


Рисунок 3.4 – Структурна схема мовного терміналу

Мікросхеми ЦАП і АЦП широко застосовуються в інтерактивних засобах обміну інформацією між оператором і ЕОМ, а також базою даних інформаційних систем. До таких засобів належать мовні термінали (МТ), у яких АЦП використовуються для організації введення – виведення інформації в підсистемі розпізнавання слухових образів, а ЦАП – у підсистемі синтезу мови (рис. 3.4). Окрім АЦП, ЦАП, фільтра низької частоти (ФНЧ) і смугового фільтра (СФ), на схемі показано п'ять модулів на основі мікропроцесорів (МПр). У модулі аналізу і кодування (МАК) мовного сигналу цифрова обробка сигналу

виконується методами диференціальної імпульсно-кової модуляції та виділення параметрів на базі лінійного прогнозу. У модулі синтезу і відновлення (МСВ) здійснюється зворотна операція – декодування мовного сигналу відповідно до заданої процедури. Модуль розпізнавання образу (МРО) виконує паралельну обробку вектора параметрів мовного сигналу. Для підключення МТ до інформаційної системи використовуються модулі протоколів (МПр) для передавання в цифровій формі образів мови або команд.

Перетворювачі, які працюють з опорною напругою, що змінюється за значенням, формою і знаком, називають помножувальними (ПЦАП). У ПЦАП відбувається перемноження вхідного двійкового числа на значення опорної напруги.

Помножувальні ЦАП широко застосовують у пристроях вимірювання, контролю, регулювання, керування і т. д. На рис. 3.5 показано структурну схему для автоматичного вимірювання коефіцієнта підсилення (K_u) до підсилювачів ретрансляцій телефонних мереж. Вхідна напруга використовується як опорна напруга ЦАП і одночасно подається на один з входів пристрою порівняння (ПП). На цифрові входи ЦАП надходить паралельний цифровий код від реверсивного лічильника, який фіксує імпульси з виводів генератора керованої напруги (ГКН). Керування рахунком і напрямом задаються сигналом з виходу ПП, який порівнює опорну напругу ЦАП із напругою на виході підсилювача. За рівності цих напруг ПП виробляє сигнал зупинки ГКН. Лічильник фіксує відповідну кількість імпульсів і формує цифровий код, пропорційний $1/K_u$. Цей код надходить на цифрові входи ЦАП, із виходу якого на вхід випробовуваного підсилювача надходить аналогова напруга, також пропорційна $1/K_u$. Підсилювач повинен збільшити його в K_u разів до первинного значення. Розглянута схема може бути використана для автоматизованого вимірювання K_u підсилювачів будь-якого класу, у тому числі інтегральних схем операційних підсилювачів (ОП).

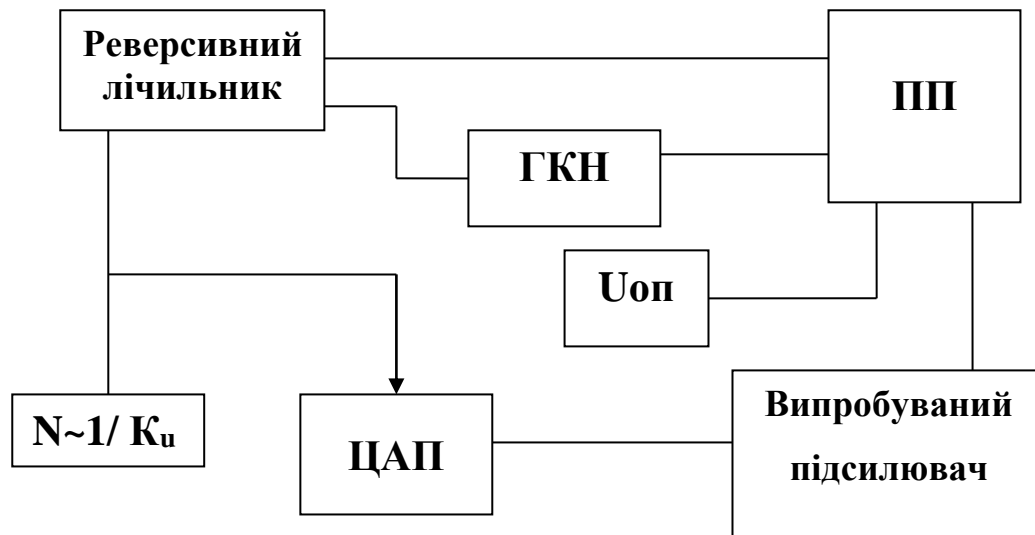


Рисунок 3.5 – Структурна схема пристрою для автоматичного вимірювання коефіцієнта підсилення

ЦАП використовуються для регулювання положення ротора синусно-косинусного трансформатора (СКТ) – електротехнічного пристрою, що містить роторну і дві взаємно перпендикулярні обмотки статорів. Коли на роторну обмотку подається синусоїдальна напруга, в обмотках статорів наводяться напруги, пропорційні синусу і косинусу кута повороту ротора. Якщо ж напруги, прикладені до обмоток статора, пропорційні синусу і косинусу деякого кута, ротор повертається на відповідний кут. Ці пристрої широко застосовують для побудови перетворювачів кут–код.

У генераторі лінійної розгортки (рис. 3.6) із двійкового лічильника на вхід ЦАП надходить цифровий код, який з кожним тактовим імпульсом збільшується на один молодший розряд (МР). На вході ЦАП з'являється напруга, висота кожної сходинки якої відповідає МР ЦАП, що східчато змінюється. Чим більша роздільна здатність перетворювача, тим більше напруга на його виході наближується до лінійної. У разі використання 12-розрядного ЦАП спільно з 12-розрядним лічильником кінцева кількість сходинок на висхідній частині напруги розгортки складе 4096, що забезпечує лінійність на рівні 0,012 % від повної шкали перетворення за власної нелінійності ЦАП $\pm 0,5$ МР. Період повторення пилкоподібної напруги

задається частотою проходження тактових імпульсів (ТІ). Розглянутий варіант схеми генератора розгортки може бути використаний в індикаторах радіолокацій кругового огляду (РКО) для забезпечення опорної пилоподібної напруги ЦАП.

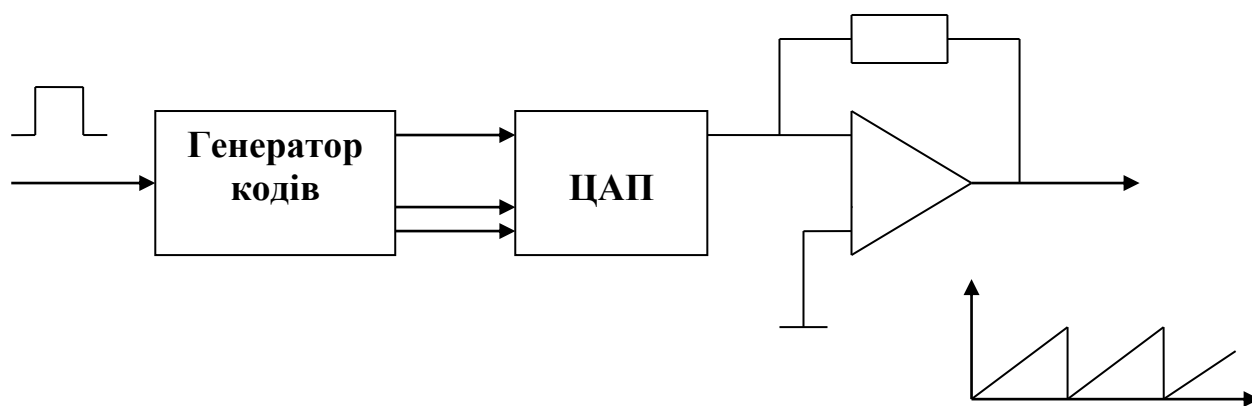


Рисунок 3.6 – Структурна схема генератора лінійної розгортки

Загальний обсяг розділу з опису структурної схеми пристрою повинен становити дві–три сторінки.

3.9 Розробка електричної принципової схеми

Принципова схема визначає повний склад елементів і зв'язків між ними. Вона надає детальне уявлення про принципи роботи схеми. Елементи на ній подані у вигляді умовно-графічних зображень (УГЗ) дискретних елементів, мікросхем і ліній зв'язку, які з'єднують такі елементи. Схема повинна бути створена в графічному модулі редактора Visio, AutoCAD, sPlan або іншому відповідно до норм ЄСКД та ДСТУ.

Принципову схему розробленого пристрою складають на підставі схеми структурної після усіх проведених, відповідно до ТЗ, змін, обрання застосованих радіоелементів і узгодження між собою їх параметрів. Принципова схема є другим кресленням і повинна бути зображена на першому плакаті. Опис принципової схеми пристрою наводять у відповідному розділі ПЗ. Він має вигляд розгорнутого пояснення роботи схеми з детальним описом призначень та функціонування окремих радіоелементів.

Загальний обсяг розділу з опису принципової схеми пристрою повинен становити три–чотири сторінки.

3.10 Розрахункова частина

Розрахунок застосованого у схемі АЦП

Якість систем збирання та обробки інформації значною мірою визначається типом аналого-цифрового перетворювача (АЦП). Відомі різні методи аналого-цифрового перетворення, які істотно відрізняються потенційною точністю, швидкістю перетворення, складністю апаратної реалізації та вартістю. Найбільш розповсюдженими типами АЦП є:

- АЦП паралельного перетворення;
- АЦП послідовного підрахунку;
- АЦП подвійного інтегрування;
- сигма – дельта АЦП;
- АЦП послідовного наближення.

АЦП паралельного перетворення використовують у тих випадках, коли необхідна висока швидкість перетворення. У таких АЦП вхідний сигнал порівнюється одночасно з усіма пороговими рівнями за допомогою компараторів. Недоліком таких перетворювачів є мала перешкодостійкість та обмежене розділення.

В АЦП послідовного підрахунку час перетворення є змінним і визначається вхідною напругою. Його максимальне значення відповідає максимальній вхідній напрузі. АЦП такого типу без пристрою вибірки–зберігання придатні для роботи з постійними або повільно змінюваними напругами. Позитивним моментом є простота побудови, яка визначається послідовним перетворенням. Недоліком таких АЦП є невелика частота дискретизації.

АЦП подвійного інтегрування забезпечують ряд переваг, головна з яких – відмінні шумові характеристики. Оскільки вхідна напруга інтегрується протягом певного часу, високочастотні шуми, накладені на вхідний сигнал унаслідок інтегрування, компенсуються. До недоліків належать знижені

перешкодопригнічувальні властивості, більша кількість зовнішніх елементів, а також інтегральна нелінійність характеристики перетворення через нелінійність перехідної статичної характеристики інтегратора на ОП. Для зменшення цього впливу АЦП виконують інтегрування за декілька тактів.

АЦП послідовного наближення інтегрують на одному кристалі декілька допоміжних пристроїв (у тому числі і джерело опорної напруги, яке може керуватися програмно), що дозволяє спростити та здешевити конструкцію. Входи можна конфігурувати для однополярного, диференціального та псевдодиференціального сигналу. В АЦП послідовного наближення вихідні дані, що відповідають дискретному вхідному сигналу, формуються у кінці відповідного інтервалу перетворення. Завдяки такій архітектурі АЦП послідовного наближення допускають будь-яку швидкість повторення однократного перетворення від 0 до максимальної швидкодії перетворювача. До позитивних моментів таких АЦП належать відсутність конвеєрної затримки, мінімальний час затримки, можливість роботи у режимі однократного перетворення, можливість роботи у мультиплексованих системах збирання даних.

Сигма-дельта АЦП мають у своєму складі блоки суматора та інтегратора. Завдяки усередненню результатів вимірювання на великому інтервалі часу такі перетворювачі дозволяють зменшити похибку, що вноситься шумами, і збільшити роздільну здатність. Такі перетворювачі мають ряд істотних переваг: добру диференціальну та інтегральну лінійність, високу роздільну здатність, високу внутрішню швидкість перетворення. Переважно вони ґрунтуються на принципах цифрової фільтрації сигналів, що дозволяє знизити вимоги до аналогової фільтрації сигналів. Завдяки додатковим бітам сигма-дельта АЦП забезпечується достатня кількість розрядів у потрібній смузі частот, тобто перебивається динамічний діапазон вхідного сигналу. Отже, з'являється можливість повністю відмовитися від фільтрів високої частоти (ФВЧ) з їх великогабаритними високостабільними конденсаторами: програмним засобом реалізується набір якісних цифрових ФВЧ, або робота взагалі може відбуватися

з нульовою нижньою частотою. Також можливі програмні рішення інтелектуальної прив'язки нульової лінії на основі цифрових нелінійних ФВЧ для забезпечення мінімального перекручування низькочастотних складових сигналу і одночасно для утримання його у середині діапазону пристрою відображення. У сигма-дельта АЦП частота дискретизації у багато разів більша за подвоєну верхню граничну частоту аналогового сигналу, що дозволяє збільшити кількість значущих розрядів АЦП, покращити шумові характеристики перетворення. В останні роки такі АЦП високого розділення широко застосовують у комерційних розробках: кодах аналогового сигналу, програвачах лазерних дисків, аудіоапаратурі, у вимірювальних і пристроях, які потребують широкого динамічного діапазону за швидкості вибірки відліків. Однак пряме використання сигма-дельта АЦП не розв'язує проблему нелінійності аналогових детекторів.

Недоліки таких перетворювачів такі: більший час затримки (час очікування вихідного сигналу), важкість мультиплексування входів через часові затрати на встановлення цифрового фільтра (швидкість переключення аналогового мультиплексора обмежена часом устанавлення внутрішнього фільтра).

Сигма-дельта АЦП (або АЦП із двоступеневим конвеєром) можуть мати більше двох тактів затримки залежно від архітектури. Наприклад, можливе виконання перетворення за три, чотири та більшу кількість конвеєрних ступенів, що викликає додаткову затримку вихідних даних. Конвеєрна затримка або очікування можуть створити проблеми в додатках з мультиплексуванням даних. Окрім того деякі конвеєрні перетворювачі розраховані на певну мінімально допустиму швидкість перетворення і повинні безперервно підтримуватися у робочому стані для запобігання насиченню внутрішніх вузлів.

Метрологічні дослідження вибраного за проєктом аналого-цифрового перетворювача

Аналіз статичної характеристики перетворення вибраного АЦП.

1. Порівняння статичної характеристики перетворення з характеристикою номінальною, завдяки чому потрібно встановити:

- а) кількість діапазонів;
- б) верхнє і нижнє значення вимірюваної величини в кожному діапазоні;
- в) статичну складову похибки перетворення в кожному діапазоні.

2. Аналіз динамічної характеристики перетворення (аперіодична або коливальна).

3. Із урахуванням з динамічної характеристики та статичної складової похибки, заданої повної похибки перетворення, слід визначити:

- допустимий рівень динамічної складової похибки;
- знаючи рівень динамічної складової похибки і характерні частоти зміни вимірюваних процесів (що визначені на етапі класифікації перетворювача), визначити постійну часу перетворювача T .

У результаті проектування вимірювального перетворювача повинні бути визначені:

- 1) тип перетворювача (якщо є, типові, якщо ні, то синтезована схема);
- 2) інформативний параметр перетворювача;
- 3) діапазон значень вимірюваної величини – нижнє та верхнє значення (X_H , X_B) або необхідна кількість діапазонів із зазначенням верхніх і нижніх значень вимірюваної величини у кожному діапазоні;

4) похибка вимірювань у кожному діапазоні як різниця між реальною і номінальною статичними характеристиками (статична складова похибки);

5) динамічна складова похибки;

6) стала часу перетворювача T ;

7) повна похибка перетворення як сума статичної та динамічної складових похибки;

8) з'єднання вимірювального перетворювача з блоками вимірювального каналу вимірювача.

З урахуванням шумів, взаємних наведень, чутливості перетворювача, характеристик його вихідного сигналу необхідно вибрати схему інтерфейсу для

перетворення інформативного параметра перетворювача (його вихідного сигналу) на необхідний сигнал (струм, напруга). Сформувати з цього сигналу вхідний сигнал вимірювального каналу з необхідними характеристиками.

Основні розрахункові співвідношення для визначення параметрів застосованого АЦП

За послідовного збільшення значень вхідного аналогового сигналу $U_{вх}(t)$ від 0 до величини, відповідної повній шкалі АЦП $U_{пш}$, вихідний цифровий сигнал $D(t)$ утворює східчасту шматково-сталу лінію. Таку залежність за аналогією з ЦАП називають характеристикою перетворення АЦП. За відсутності апаратних похибок середні точки сходинок розташовано на ідеальній прямій 1 (рис. 3.7), якій відповідає ідеальна характеристика перетворення. Реальна характеристика перетворення може істотно відрізнятись від ідеальної розмірами і формою сходинок, а також розташуванням на площині координат. Для кількісного опису цих відмінностей існує цілий ряд параметрів.

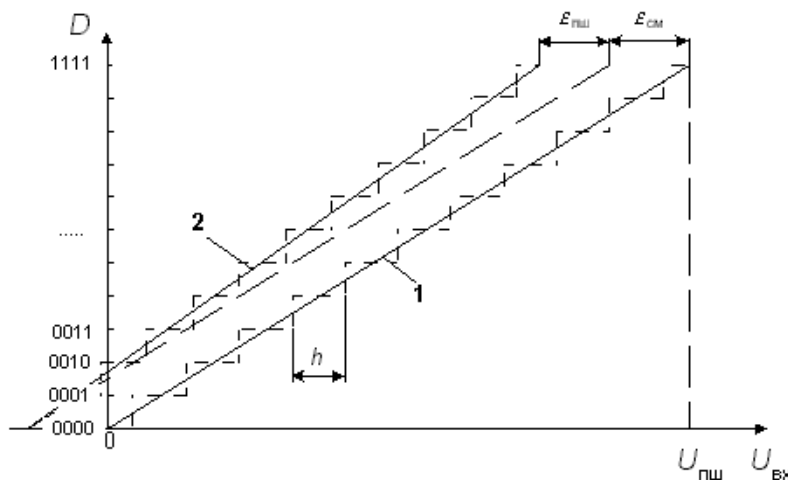


Рисунок 3.7 – Статична характеристика перетворення АЦП

Роздільна здатність – величина, обернена максимальному числу кодових комбінацій на виході АЦП. Роздільна здатність виражається у відсотках, розрядах або децибелах характеризує потенційні можливості АЦП щодо досяжної точності. Наприклад, 12-розрядний АЦП має роздільну здатність $1/4096$, або $0,0245\%$ від повної шкали, або $-72,2$ дБ.

Роздільній здатності відповідає приріст вхідної напруги АЦП $U_{вх}$ за зміни D_j на одиницю молодшого розряду (ОМР). Цей приріст є кроком квантування. Для двійкових кодів перетворення номінальне значення кроку квантування

$$h = U_{нм} / (2^m - 1), \quad (3.1)$$

де $U_{нм}$ – номінальна максимальна вхідна напруга АЦП (напруга повної шкали), відповідна максимальному значенню вихідного коду; m – розрядність АЦП. Чим більше розрядність перетворювача, тим вище його роздільна здатність.

Відношення сигнал/шум. Для оцінювання якості аналогового сигналу в каналі збирання даних в умовах накладення шумів, визначення мінімального можливого шуму в цифрових аналізаторах сигналів та інших пристроях використовується відношення сигнал/шум (С/Ш), яке емпірично пов'язане з роздільною здатністю (числом розрядів) і нелінійністю АЦП, що використовується. Збільшення числа розрядів m перетворювача призводить у загальному випадку до підвищення його роздільної здатності, тобто чутливості до рівня вхідного аналогового сигналу, і безпосередньо впливає на збільшення відношення С/Ш:

$$C/Ш = 6,02 m + 1,76, \text{ дБ}. \quad (3.2)$$

Це справедливо для ідеального АЦП з розподілом власного шуму, наближеним до нормального. Для реального АЦП відношення С/Ш може бути визначено рівнянням:

$$C/Ш = 6,02 m + 1,76 - \Delta, \text{ (С/Ш)}, \quad (3.3)$$

де $\Delta(\text{С/Ш}) = 10 \log^2 (1 + 12\sigma_{д.н.}^2)$ – девіаційна зміна відношення, виражена через дисперсію диференціальної нелінійності перетворювача $\sigma_{д.н.}^2$.

Вимоги до якості сигналів, що задаються, у каналі збирання даних можуть бути відправною точкою для вибору типів і характеристик перетворювачів.

Зазвичай перетворення фіксованого постійного вхідного сигналу, що повторюються, повинні давати один і той самий вихідний код. Проте внаслідок неминучого шуму в схемах АЦП існує деякий діапазон вихідних кодів для заданої вхідної напруги. Якщо подати на вхід АЦП постійний сигнал і записати велике число перетворень, то в результаті буде деякий розподіл кодів. Якщо

застосувати гаусівський розподіл до отриманої гістограми, то стандартне відхилення буде приблизно еквівалентне середньоквадратичному значенню вхідного шуму АЦП.

Нелінійність – максимальне відхилення реальної характеристики перетворення $D(U_{вх})$ від оптимальної (лінія 2 на рис. 3.8). Оптимальна характеристика знаходиться емпірично так, щоб мінімізувати значення похибки нелінійності. Нелінійність зазвичай визначається у відносних одиницях, але в довідкових даних наводиться також і в ОМР. Для характеристики, наведеної на рис. 3.8:

$$\sigma_n = \frac{\varepsilon_j}{U_{пш}} \cdot 100\% . \quad (3.4)$$

Диференціальною нелінійністю АЦП в даній точці k характеристики перетворення називають різниця між значенням кванта перетворення h_k і середнім значенням кванта перетворення h . У специфікаціях на конкретні АЦП значення диференціальної нелінійності виражають у частках ОМР або відсотках від повної шкали. Для характеристики, наведеної на рис. 3.8:

$$\sigma_{д.н.} = \frac{h_k - h}{U_{пш}} \cdot 100\% . \quad (3.5)$$

Похибка диференціальної лінійності визначає дві важливі властивості АЦП: непропадання кодів і монотонність характеристики перетворення.

Непропадання кодів – властивість АЦП видавати всі можливі вихідні коди зі зміною вхідної напруги від початкової до кінцевої точки діапазону перетворення. Приклад пропадання коду $i+1$ наведений на рис. 3.8. У разі нормування непропадання кодів указується еквівалентна розрядність АЦП – максимальна кількість розрядів АЦП, для яких не пропадають відповідні їм кодові комбінації.

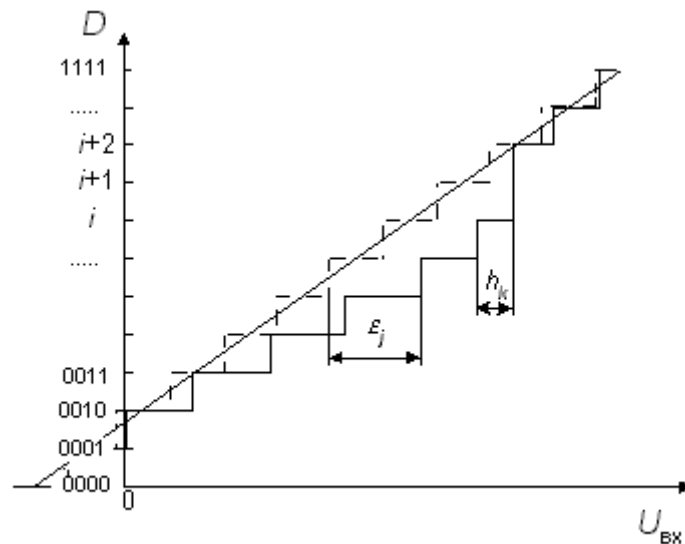


Рисунок 3.8 – Похибки лінійності характеристики перетворення АЦП

Монотонність характеристики перетворення – це незмінність знака приросту вихідного коду D за монотонної зміни вхідного перетворюваного сигналу. Монотонність не гарантує малих значень диференціальної нелінійності та непропадання кодів.

Час перетворення (T_{np}) – це час, відлічуваний від початку імпульсу дискретизації або початку перетворення до появи на виході стійкого коду, відповідного цій вибірці. Для одних АЦП, наприклад послідовного підрахунку або багатотактної інтеграції, ця величина є змінною та залежною від значення вхідного сигналу, для інших, таких як паралельні або послідовно-паралельні АЦП, а також АЦП послідовного наближення, приблизно постійною. Під час роботи АЦП без УВХ час перетворення є апертурним часом.

Для АЦП послідовного типу розгортального врівноваження час перетворення визначаємо за формулою:

$$T_{np\ max} = (2^m - 1) \cdot \tau_0, \quad (3.6)$$

де m – кількість розрядів двійкового лічильника; τ_0 – період слідування лічильних імпульсів.

Для АЦП послідовного типу порозрядного врівноваження час перетворення визначаємо за формулою:

$$T_{np} = m \cdot \tau_0. \quad (3.7)$$

Для АЦП послідовно-паралельного типу повний час перетворення визначаємо за формулою:

$$T_{np} = n \cdot t_{np \cdot zp}, \quad (3.8)$$

де n – кількість груп перетворення; $t_{np \cdot zp}$ – час перетворення однієї групи.

Для АЦП з двотактним інтегруванням у першому такті (фаза інтегрування) за допомогою аналогового інтегратора на операційному підсилювачі вхідна напруга U_{ex} інтегрується за фіксований інтервал часу:

$$T_{int} = N_{max} \cdot \tau_0, \quad (3.9)$$

де N_{max} – ємність лічильника, яку визначають за формулою:

$$N_{max} = 1000 \left(\frac{V_{in} + V_{\epsilon}}{V_{ref}} \right), \quad (3.10)$$

де V_{in} – вхідна аналогова напруга, В; V_{ϵ} – джерело напруги зсуву, В; V_{ref} – величина опорної напруги, В.

При цьому на інтегровальному конденсаторі накопичується заряд:

$$q_1 = \frac{U_x T}{RC}, \quad (3.11)$$

де U_x – середня вхідна напруга за час T .

У другому такті відбувається розряд конденсатора від джерела опорної напруги U_{on} , який має полярність, протилежну вхідній напрузі, та підключається до аналогового інтегратора за допомогою аналогового ключа. Цей процес продовжується до повернення конденсатора у початкові умови, що фіксується компаратором. При цьому видалений з конденсатора заряд:

$$q_1 = \frac{U_{on} t}{RC}, \quad (3.12)$$

де $t = T_{int}$, оскільки $q_1 = q_2$, то час розряду може бути визначений

$$t = \frac{U_x T}{U_{on}}. \quad (3.13)$$

Для АЦП з двотактним інтегруванням фаза інтегрування вхідної напруги за діаграмою роботи може бути визначена так:

$$T_{int} = 1 / f_{clk}, \quad (3.14)$$

де f_{clk} – тактова частота, яку часто беруть кратною частоті мережі (50, 100 або 200 кГц).

Час вибірки (стробування) – час, протягом якого відбувається утворення одного вибіркового значення. При роботі без пристрою вибірки – зберігання (ПВЗ) дорівнює часу перетворення АЦП.

Максимальна частота дискретизації (перетворення) – це найбільша частота, з якою відбувається утворення вибірових значень сигналу, за якої вибраний параметр АЦП не виходить за задані межі. Вимірюється кількістю вибірок за секунду. Вибраним параметром може бути, наприклад, монотонність характеристики перетворення або похибка лінійності.

$$f_d = 1 / T_{np.max}. \quad (3.15)$$

Пропускна здатність каналу збирання й обробки даних Q оцінюється за кількістю розрядів і часом перетворення АЦП, що використовується:

$$Q = m / T_{np}. \quad (3.16)$$

Максимальна частота перетворення сигналу в системі збирання даних (за умови підтримки похибки перетворення на рівні роздільної здатності входить до складу системи m -розрядного АЦП) визначається так:

$$f_{np.max} = (1/2^{(m+1)})\pi / T_{np}. \quad (3.17)$$

У щитових цифрових вимірювальних приладах використовуються АЦП, які відслідковують аналоговий сигнал із заданою точністю, доки швидкість його зміни не перевищить швидкість слідкування перетворювача, тобто час слідкування:

$$t_{cm} = 2^{-m} \cdot U_{n.u.} / T_{np}, \quad (3.18)$$

де $U_{n.u.}$ – напруга повної шкали перетворення, відповідна діапазону вхідного аналогового сигналу АЦП. Унаслідок цього вводиться обмеження на використання перетворювачів за рівнем технічних характеристик і виявляється необхідність використання зовнішнього пристрою вибірки-зберігання (ПВЗ). Тоді швидкість зміни аналогового сигналу на вході каскаду ПВЗ – АЦП обмежуватиметься в основному апертурним часом t_a :

$$t_{cm} = 2^{-m} \cdot U_{n.u.} / t_a. \quad (3.19)$$

Якщо для n -розрядного АЦП з роздільною здатністю $(1/2)^m$ апертурна похибка не перевищує розрахункового значення кроку квантування, то для оцінювання динамічної похибки, що вноситься перетворювачем з нормованим t_a , справедливе співвідношення

$$t_a = (1/2^{(m+1)})\pi / f_x \quad (3.20)$$

де f_x – частота проходження вхідного сигналу.

Максимально допустима частота опитування каналів у системі перетворення даних (за умови однакового часу, що відводиться на опитування кожного з каналів) залежить від частоти перетворення системи і, відповідно, від частоти перетворення – входить до складу каналу тактованого АЦП:

$$f_{on} = f_{np}/n, \quad (3.21)$$

де n – кількість каналів системи.

Властивості амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) каналу обробки аналогової інформації здебільшого визначаються значенням часу аперттури t_a АЦП. Якщо t_a АЦП нормоване, то коефіцієнт спадання АЧХ для гармонічного вхідного сигналу, що досягає амплітуди у момент подавання імпульсу на тактовий вхід перетворювача, визначається рівнянням

$$K_s = 20 \lg [1 + (\cos \pi t_a)/t_x]/2, \quad (3.22)$$

де K_s – коефіцієнт спадання АЧХ; t_x – період проходження вхідного сигналу.

Похибка повної шкали – відносна різниця між реальним та ідеальним значеннями межі шкали перетворення за відсутності зсуву нуля

$$\delta_{пш} = \frac{\varepsilon_{пш}}{U_{пш}} \cdot 100\% . \quad (3.23)$$

Ця похибка є мультиплікативною складовою повної похибки. Іноді вказується відповідним числом ОМР.

Похибка зсуву нуля – значення $U_{зс}$, коли вхідний код ЦАП дорівнює нулю. Є адитивною складовою повної похибки. Зазвичай визначається за формулою:

$$\varepsilon_{зс} = U_{вх.01} - h/2, \quad (3.24)$$

де $U_{вх.01}$ – значення вхідної напруги, за якої відбувається перехід вихідного коду з 0 в 1. Часто вказують у мілівольтах або у відсотках від повної шкали:

$$\delta_{zc} = \frac{\varepsilon_{zc}}{U_{\text{пш}}} \cdot 100\% . \quad (3.25)$$

Похибки повної шкали і зсуву нуля АЦП можуть бути зменшені підстроюванням аналогової частини схеми або корекцією обчислювального алгоритму цифрової частини пристрою.

Похибки лінійності характеристики перетворення не можуть бути усунені такими простими засобами, тому вони є найважливішими метрологічними характеристиками АЦП.

Температурна нестабільність АЦП характеризується *температурними коефіцієнтами* похибки повної шкали і похибки зсуву нуля.

Статичну похибку для АЦП послідовного типу визначають так:

$$\Delta U = \frac{U_{X \max}}{2^m} , \quad (3.26)$$

де $U_{X \max}$ – максимальна величина вхідного аналогового сигналу.

Додаткові електричні розрахунки схеми пристрою

Додаткові електричні розрахунки виконують для визначення певних електричних параметрів, сумісності блоків пристрою, визначення режимів роботи каскадів, номіналів певних елементів тощо, відповідно до індивідуального завдання до курсового проєкту. Варіанти деяких електричних розрахунків з описаними методиками наведено у методичних вказівках щодо виконання розрахунково-графічних завдань з навчальної дисципліни «Цифрова схемотехніка». Також нижче наведено два приклади розрахунків ключа на біполярному транзисторі та автоколивального блокінг-генератора.

Розрахунок ключа на біполярному транзисторі

Розрахувати елементи схеми ключа на біполярному транзисторі, наведеної на рисунку 3.9. Початкові дані необхідні для розрахунку: $U_{\text{вх}}$, $t_{\text{и}}$, $R_{\text{вн}}$, $U_{\text{вихmin}}$, $R_{\text{н}}$, $C_{\text{н}}$.

Методика розрахунку

1. Визначимо напругу джерела живлення E_{κ} за умовою:

$$E_{\kappa} = (1,1 \dots 1,2) \cdot U_{\text{вихmin}} . \quad (3.27)$$

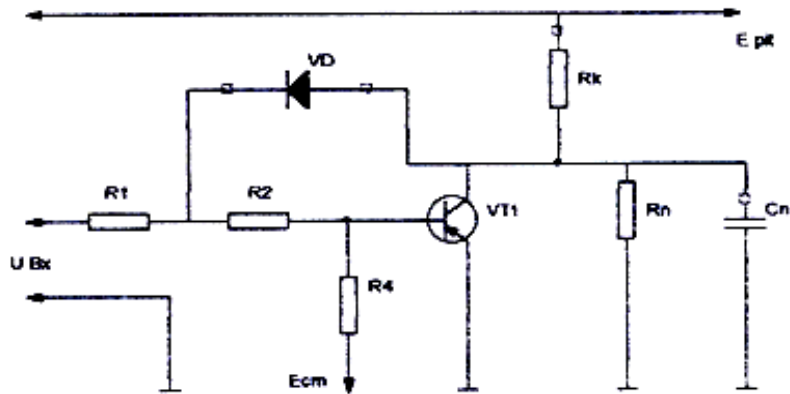


Рисунок 3.9 – Схема ключа на біполярному транзисторі

де $U_{вих\min}$ – мінімально допустима амплітуда вихідної напруги.

2. Вибираємо опір резистора R_k за умовою: $R_k \ll R_n$;

$$R_k = \frac{E_k \cdot U_{вих\min}}{I_{кб0\max} + \frac{U_{вих\min}}{R_n}}. \quad (3.28)$$

Спочатку вибираємо значення R_k за умовою (3.28) і використовуємо для розрахунку величини струму колектора в режимі насичення (п. 3).

3. Струм колектора:

$$I_{кc} = \frac{E_k}{R_k}. \quad (3.29)$$

4. Вибираємо транзистор, ураховуючи необхідний запас (1,5 – за напругою, 2 – за струмом) для забезпечення надійності. Критерії вибору:

$$\left. \begin{aligned} U_{к\max} &\geq 1,5E_k \\ I_{к\max} &\geq 2I_{кc} \\ f_{h21\delta} &\geq \frac{5 \dots 8}{t_u} \end{aligned} \right\} \quad (3.30)$$

Для вибраного типу транзистора за таблицями визначаємо значення максимального зворотного струму $I_{кбз\max}$ і перевіряємо виконання умови (3.28).

5. Визначаємо необхідну величину базового струму за умовою насичення:

$$I_{\delta} = \frac{S \cdot E_{\kappa}}{h_{21e} \cdot R_{\kappa}}; \quad \text{****} I_{\delta c} = \frac{E_{\kappa}}{h_{21e} \cdot R_{\kappa}}. \quad (3.31)$$

6. Вибираємо величину напруги зсуву з умови:

$$|E_{зс}| = (0,1 \dots 0,3) \cdot E_{\kappa}. \quad (3.32)$$

7. Розраховуємо величину опору резистора R_{δ} :

$$R_{\delta} = \frac{|E_{зс}|}{I_{\kappa \delta \delta_{\max}}}. \quad (3.33)$$

Вибираємо найближче менше стандартне значення опору і розраховуємо розсіювану на ньому потужність:

$$P_{R_{\delta}} = I_{\kappa \delta \delta_{\max}}^2 \cdot R_{\delta}.$$

де $I_{\kappa \delta \delta_{\max}}$ беруть для цього типу транзистора за максимальної температури.

8. Визначаємо сумарний опір резисторів R_1 і R_2 , що забезпечують необхідний ступінь насичення транзистора у сталому режимі та відповідно до вибраного значення R_{δ} :

$$R_1 + R_2 = \frac{U_{\text{ex}} - U_{\delta \text{нас}}}{\frac{S \cdot E_{\kappa}}{h_{21\beta} \cdot R_{\kappa}} + \frac{E_{зс} - U_{\delta \text{нас}}}{R_{\delta}}} - R_{\text{вн}}. \quad (3.34)$$

9. За умовою форсованого відмикання транзистора великим базовим струмом, що протікає через розряджений конденсатор C ($I_{\delta c} \approx 0,5 I_{\delta \text{дон}}$), де $I_{\delta \text{дон}}$ – максимально допустимий струм бази, визначаємо опір резистора R_1 :

$$R_1 = \frac{2U_{\text{ex}}}{I_{\delta \text{дон}}}. \quad (3.35)$$

Вибираємо стандартне значення R_1 і розраховуємо потужність, розсіювану в ньому:

$$P_{R_1} = 0,25 \cdot I_{\delta \text{дон}}^2 \cdot R_1.$$

10. Визначаємо t_{ϕ}^+ , t_{ϕ}^- і t_{pac} без впливу форсувального конденсатора C :

$$t_{\phi}^+ = \tau_{\delta} \cdot \ln \left(\frac{I_{\delta c}}{I_{\delta} - \frac{I_{\kappa c}}{h_{21e}} \cdot 0,9} \right). \quad (3.36)$$

$$t_{\phi}^- = 2,3 \tau_{\delta}, \quad (3.37)$$

$$t_{pac} = \tau_{\delta} \cdot \ln \left(\frac{I_{\delta c} + I_{3c}}{I_{3c} - \frac{I_{kc}}{h_{21e}}} \right), \quad (3.38)$$

де $\tau_{\delta} = \frac{h_{21e}}{2 \pi \cdot f_{h21\delta}}$.

11. Розрахуємо ємність прискорювального конденсатора:

$$C = \frac{\tau_{\delta}}{R_1 \cdot \left| 1 + \frac{I_{kc}}{I_{\delta c}} - \frac{R_2}{R_{\delta} \cdot (R_1 + R_2)} \right|}. \quad (3.39)$$

Вибираємо найближче стандартне значення.

12. Визначаємо t_{ϕ}^+ , t_{ϕ}^- і t_{pac} за наявності C . Для цього у формули (3.36), (3.37), (3.38) п. 10 замість τ_{δ} підставимо:

$$\tau_c = \frac{R_1 - R_2}{R_1 + R_2} \cdot C.$$

13. Для схеми з нелінійним зворотним зв'язком опори резисторів R_1 і R_2 вибираємо зі співвідношень:

$$\left. \begin{aligned} R_1 + R_2 &= \frac{U_{\delta c}}{5I_{\delta c}} \\ R_2 &= \frac{h_{21e_{\min}} \cdot R_{\kappa} \cdot R_{\delta} \cdot U_{кнас}}{E_{\kappa} \cdot R_{\delta} + h_{21e_{\min}} \cdot R_{\kappa} \cdot E_{3c}} \end{aligned} \right\}, \quad (3.40)$$

де $U_{кнас}$ – напруга колектора насиченого транзистора, зазвичай беруть $U_{кнас} = 0,5...0,8$ В.

14. Оцінити вплив C_n на часові параметри схеми можна аналітично, підставивши до формули п. 10 замість I_{δ} :

$$\tau' - \tau_{\delta} + [C_{\kappa} \cdot (1 + h_{21e}) + C_n] \cdot (R_n + R_{\kappa}). \quad (3.41)$$

Розрахунок автоколивального блокінг-генератора

Розрахувати автоколивальний блокінг-генератор на біполярному транзисторі, схему якого наведено на рис. 3.10. Параметри генератора, необхідні для розрахунку: R_n , $U_{вих}$, t_u , Q . Температура навколишнього середовища не перевищує 30°C.

Методика розрахунку.

1 Вибираємо тип транзистора, виходячи з умов швидкодії та надійності.

1.1 Для забезпечення малих тривалостей фронту і спаду вихідного сигналу необхідно, щоб

$$f_a \geq \frac{3 \div 10}{t_u}; \quad (3.42)$$

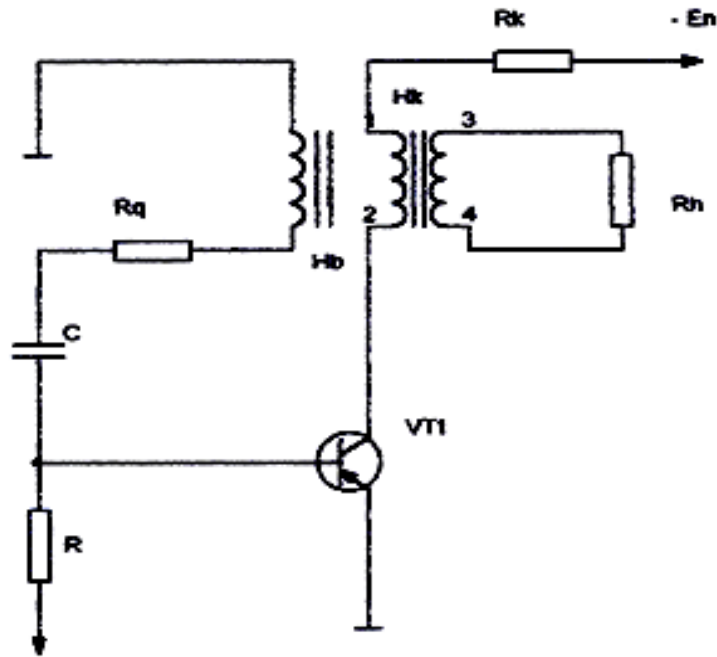


Рисунок – 3.10 Автоколивальний блокінг-генератор на біполярному транзисторі

1.2 Допустима напруга на колекторі транзистора має відповідати співвідношенню:

$$U_{к\delta.дон} \geq (E_k + \Delta U_{км}) \cdot (1 + n_\delta), \quad (3.43)$$

де $n_\delta = \frac{W_\delta}{W_k}$ (3.44) лежить у межах $0,1 \dots 0,7$;

$\Delta U_{км}$ – амплітуда викиду. Оскільки викид сильно спотворює форму сигналу, то його амплітуда не повинна перевищувати $10 \div 30 \%$ від амплітуди напруги колектора, тобто

$$\Delta U_{\dot{\sigma}} = (0,1 \div 0,3) \cdot U_{\dot{\sigma}},$$

де $U_{\kappa} = U_{\text{вих}} = \frac{U_{\text{вих}}}{n_n}$, (3.45) $n_n = \frac{W_n}{W_{\kappa}}$ зазвичай беруть рівним $n_n = 1$.

Величину напруги живлення вибирають за умовою:

$$E_{\kappa} = (1,1 \div 1,2) \cdot U_{\kappa} - (1,1 \div 1,2) \cdot \frac{U_{\text{вих}}}{n_n}. \quad (3.46)$$

За отриманими значеннями f_a і $U_{\text{кб.дон.}}$ вибираємо тип транзистора і визначаємо його параметри: β ; $I_{\text{кбз}}$; f_a ; $U_{\text{кб.дон.}}$; $I_{\text{кбз}\mu}$; C_{κ} ; r_{δ} ; τ_{α} .

2. Визначимо оптимальне значення коефіцієнта трансформації:

$$n_{\delta \text{opt}} = \sqrt{\frac{r_{\delta}}{R'_n} + \frac{r_{\delta} \cdot C_{\kappa}}{\tau_{\alpha}}}, \quad (3.47)$$

де r_{δ} – опір бази транзистора; $R'_n = \frac{R_n}{n_n^2}$ – опір навантаження, приведений до

обмотки колектора; C_{κ} – ємність переходу колектора транзистора; $\tau_{\alpha} = \frac{\tau_{\beta}}{\beta} = \frac{\tau_{\kappa}}{\beta}$,

де $\tau_{\kappa} = \tau_{\beta}$ – стала часу кола зворотного зв'язку на високій частоті біполярного транзистора. Майже в усіх випадках $n_{\delta \text{opt}} < 1$

3. Визначимо тривалості негативного і позитивного фронтів напруги колектора. Уважаючи, що фронти формуються приблизно в одних і тих самих умовах і приблизно дорівнюють один одному, отримаємо:

$$t_{\phi}^+ \approx t_{\phi}^- = 2,3n_{\delta} \cdot \left(\frac{\tau_{\alpha} \cdot (1 + r_{\delta})}{R_n + C_{\kappa} \cdot r_{\delta}} \right), \quad (3.48)$$

де $n_{\delta} = n_{\delta \text{opt}}$; $r'_{\delta} = \frac{r_{\delta}}{n_{\delta}^2}$ – опір бази, приведений до обмотки колектора.

4. Визначаємо опір резистора R , ураховуючи такі аспекти:

4.1. Під час формування імпульсу коло резистора R повинне мало впливати на струм у базовому колі транзистора. Для цього необхідно, щоб $R \gg r_{\delta}$.

4.2. Протікання зворотного струму закритого транзистора через резистор R не повинне створювати помітного спаду напруги, тобто $R \leq \frac{E_{\delta}}{10I_{\text{кбз}}}$.

Ураховуючи, що $E_{\delta} = |I \dots 2| B$, виберемо величину резистора R , яка відповідає наведеним вище умовам.

5. Визначимо необхідну тривалість паузи за заданої шпаруватості:

$$t_n = t_u \cdot (Q - 1). \quad (3.49)$$

6. Перевіривши, що $E_{\delta} \gg I_{кбзmax} \cdot R$ і $\Delta U_{кн} \ll E_{\delta}$, визначимо ємність конденсатора C :

$$C = \frac{t_n}{R \cdot \ln \left(1 + \frac{n_{\delta} \cdot E_{к}}{E_{\delta}} \right)}. \quad (3.50)$$

7. Для визначення індуктивності трансформатора визначаємо:

$$v_c = \frac{r_{\delta} \cdot C}{\tau_{\beta}}, \quad (3.51)$$

$$v_u = \frac{t_u}{\tau_{\beta}}, \quad (3.52)$$

Якщо $v_c > 4$ і $v_u > 3$, то

$$L \approx \frac{(R_{\delta} + r_{\delta}) \cdot t_u \cdot e^{(t_u/\tau_c)}}{\beta n_{\delta,onn.}}, \quad (3.53)$$

де $\tau_c = r_{\delta} C$ і $R_{\delta} = (100 \div 300) \text{ Ом}$ (опір додаткового резистора).

Якщо $v_c < 0,2$; $v_u > 2$, то

$$L = \tau_{\alpha} \cdot \frac{t_u}{C \cdot n_{\delta,onn.}}. \quad (3.54)$$

Перевіримо умову відсутності впливу навантаження на тривалість імпульсу:

$$L \ll (t_u + t_{\beta}) \cdot R_{n_{\min}}. \quad (3.55)$$

8. Процес формування викиду буде аперіодичним, якщо виконується умова:

$$\sqrt{\frac{L}{C_0}} > 2R_n, \quad (3.56)$$

де $C_0 = n_{\delta}^2 \cdot C_e + (1 + n_{\delta}) \cdot C_{к}$ – еквівалентна ємність емітерного і колектора переходів.

9. Амплітуда зворотного викиду напруги колектора:

$$\Delta U_{кт} \approx \frac{0,75 \cdot E_{\kappa} \cdot t_u \cdot n_{\delta \cdot \text{дон.}}}{\tau_{\beta}}, \quad (3.57)$$

де $\tau_{\beta} = \frac{L}{R_{\mu}}$ – стала часу викиду. (3.58)

10. Тривалість викиду $t_{\beta} = 2,5\tau_{\beta}$. (3.59)

11. Перевіряємо допустимість амплітуди викиду для вибраного типу транзистора за умови:

$$U_{\kappa\delta} = (E_{\kappa} + \Delta U_{кт})(1 + n_{\delta}) \leq U_{\kappa\delta \cdot \text{дон.}} \quad (3.60)$$

Якщо ця умова не виконується, то для зменшення амплітуди викиду до значення:

$$\Delta U_{кт} = 0,75 \cdot \frac{E_{\kappa} \cdot t_u}{L} \cdot (R_{\mu} // R_{\mu\mu}), \quad (3.61)$$

необхідно встановити коло із шунтувальних діода $VD_{\mu\mu}$ і резистора $R_{\mu\mu}$.

Для визначення параметрів цього кола обчислимо допустиму амплітуду викиду:

$$\Delta U_{кт \cdot \text{дон.}} \leq \frac{U_{\kappa\delta \cdot \text{дон.}} - E_{\kappa}}{1 + n_{\delta}}, \quad (3.62)$$

тоді: $(R_{\mu} // R_{\mu\mu}) = \frac{\Delta U_{кт \cdot \text{дон.}} \cdot L}{0,75 E_{\kappa} \cdot t_u}$. Отже: $R_{\mu\mu} = \frac{(R_{\mu} // R_{\mu\mu})}{R_{\mu}}$.

Вибраний тип діода $VD_{\mu\mu}$ повинен задовольняти умови:

$$I_{VD_{\max}} = I_{\mu_{\max}} = \frac{E_{\kappa} \cdot t_u}{L} < I_{\delta \cdot \text{дон.}} \quad (3.63)$$

$$|U_{VD \cdot \text{дон.}}| > |E_{\kappa}|.$$

Основні положення щодо розрахунку надійності функціонального вузла

Надійність – властивість виробу виконувати задані функції, зберігаючи експлуатаційні показники в заданих межах, протягом необхідного проміжку часу. Надійність так само можна визначити як фізичну властивість виробу, яка залежить від кількості та якості його елементів, а також від умов експлуатації. Надійність характеризується відмовою.

Відмова – порушення працездатності виробу. Відмови можуть бути поступові та раптові. Поступова відмова виявляється у поступовій зміні параметрів елементів схеми і конструкції. Раптова відмова виявляється у вигляді стрибкоподібної зміни параметрів радіоелементів (РЕ). Усі вироби поділяються на відновлювані та невідновлювані.

У роботі виробу існують три періоди.

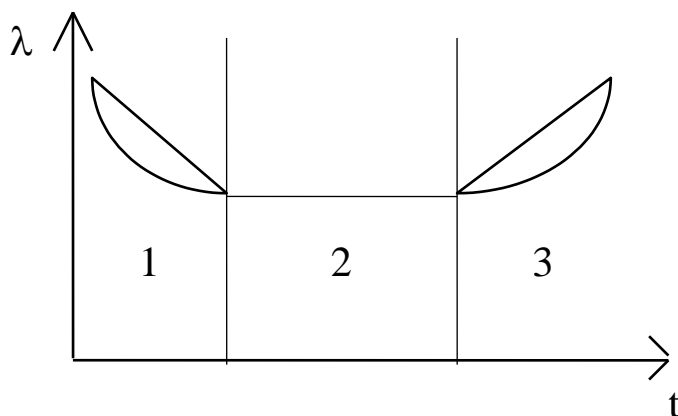


Рисунок 3.11 – Графік залежності інтенсивності відмов від часу експлуатації

На рис. 3.11 показано графік залежності інтенсивності відмов від часу експлуатації, де:

- 1 – період припрацювання, характеризується припрацювальними відмовами.
- 2 – період нормальної експлуатації, характеризується раптовими відмовами.
- 3 – період зносу – раптові та зносіві відмови.

Поняття надійності включає у себе якісні та кількісні характеристики.

Якісні:

– безвідмовність – властивість виробу безперервно зберігати працездатність протягом деякого часу або деякого напрацювання;

– ремонтпридатність – властивість виробу, його пристосованість до попередження можливих причин виникнення відмови, виявлення причин виниклої відмови або пошкодження, усунення наслідків виниклої відмови або пошкодження унаслідок ремонту чи технічного обслуговування;

– довговічність – властивість виробу зберігати працездатність до настання граничного стану (стан, за якого його подальше використання або відновлення неможливе);

– збережність – збереження працездатності протягом зберігання та транспортуванні.

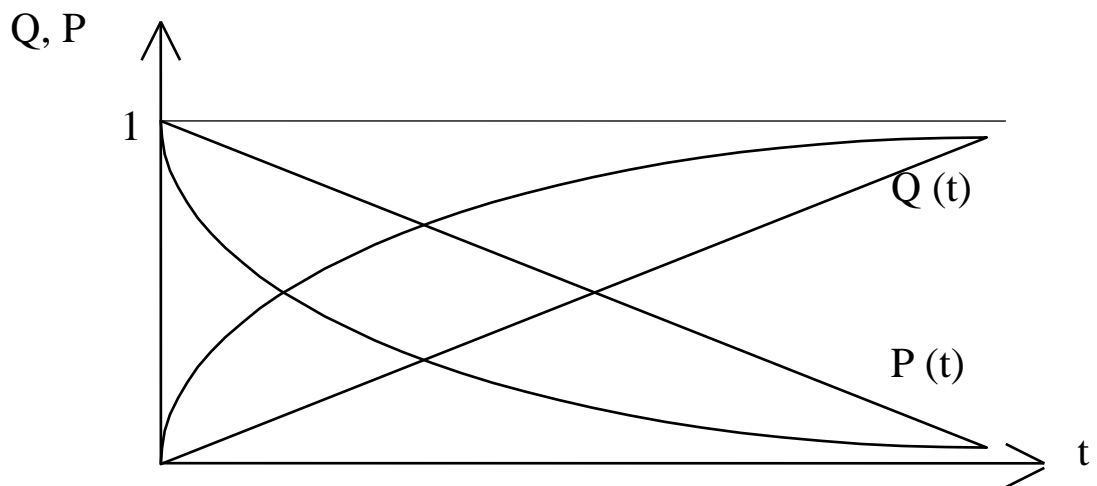


Рисунок 3.12 – Графіки ймовірностей безвідмовної роботи ($P(t)$) та відмови ($Q(t)$)

Інтенсивність відмов залежить також від коефіцієнта навантаження (K_n) і від температури навколишнього середовища ($t_{окр}$), яка впливає на коефіцієнт впливу α .

Розрахунок параметрів надійності розробленого пристрою

Надійність апаратури визначається надійністю і кількістю елементів, що використовуються в ній. Оскільки надійність є одним з основних параметрів виробу, то проєктована апаратура повинна оцінюватися разом з іншими параметрами, і на підставі цих розрахунків можна зробити висновки про правильність вибраної схеми та конструкції виробу.

На етапі проєктування, коли ще точно не визначені режими роботи схеми пристрою, проводять орієнтовний розрахунок за орієнтовними даними, що визначають умови роботи. Так, температурою навколишнього середовища для кожного з елементів може бути середнє значення температури всередині блока,

визначене на підставі даних про кількість теплоти, що виділяється всередині блока, його габаритних розмірів, умов тепловіддачі та температури середовища навколо блока.

Розрахована таким чином температура не враховує місцевого перегрівання, створюваного окремими елементами, що виділяють значну кількість теплоти.

Для зручності розрахунку однотипні компоненти, що знаходяться за однакових (наближених) температурах і працюють за однакових (наближених) електричних навантажень, можна об'єднувати в одну групу.

Дані, необхідні для розрахунку параметрів надійності: схема електрична принципова розробленого пристрою (ЕЗ), перелік елементів ПЕ і ЕЗ, використовуваних у схемі пристрою, температура навколишнього середовища, фактичне значення параметра (K_n), значення інтенсивностей відмов для кожного типу застосованих радіокомпонентів (λ_o), конструктивні особливості радіокомпонентів.

За даними, що містяться в технічних умовах до радіокомпонент, розраховуємо значення параметра, що визначає надійність, а також структурну характеристику радіокомпонента (для транзистора – кремнієвий, для конденсатора – керамічний і т. д.).

Надійність елементів функціонального модуля є одним з чинників, що істотно впливає на інтенсивність відмови виробу в цілому. Інтенсивність відмов елементів залежить від конструкції, якості виготовлення, від умов експлуатації і від електричних навантажень у схемі.

Визначаємо коефіцієнт навантаження для різних типів радіоелементів:

– для транзисторів

$$K_n = P_c / P_{c \max}, \quad (3.64)$$

де P_c – фактична потужність, розсіювана на колекторі; $P_{c \max}$ – максимально допустима потужність розсіювання на колекторі;

– для діодів

$$K_n = I / I_{\max}, \quad (3.65)$$

де I – фактично випрямлений струм; I_{max} – максимально допустимий випрямлений струм;

– для конденсаторів

$$K_n = U / U_n, \quad (3.66)$$

де U – фактична напруга; U_n – номінальна напруга конденсатора;

– для резисторів і трансформаторів

$$K_n = P / P_n, \quad (3.67)$$

де P – фактична потужність розсіювання на радіокомпоненті; P_n – номінальна потужність.

Зі збільшенням коефіцієнта навантаження інтенсивність відмови збільшується. Також вона збільшується, якщо радіокомпонент експлуатується в більш жорстких умовах: за підвищеної температури навколишнього повітря і вологості, збільшених вібраціях, ударах і т. д. Однак найбільше впливають на надійність пристрою температура та коефіцієнт навантаження.

Вплив на надійність фактичного значення коефіцієнта навантаження і температури враховуємо за допомогою коефіцієнта впливу, значення якого для деяких груп радіокомпонентів наведені у таблиці 1 (додаток В), за якою визначаємо значення коефіцієнта α , для цього використовуємо температуру навколишнього середовища і обчислений коефіцієнт навантаження.

За таблицями, у яких наведені орієнтовні значення інтенсивностей відмов для деяких груп радіокомпонентів [6], вибираємо значення λ для необхідних елементів. Ці значення інтенсивностей відмов отримані для випадку, коли коефіцієнт навантаження $K_n = 1$ і температура $t = 20^\circ\text{C}$ і позначаються λ_0 . За таблицею В.1 (додаток В) визначаємо значення коефіцієнта α , для цього використовуємо температуру навколишнього середовища і розрахований коефіцієнт навантаження K_n для різних типів елементів

$$\lambda_i = \lambda_0 \cdot \alpha. \quad (3.68)$$

Визначаємо інтенсивність відмов за заданого значення температури навколишнього середовища і навантаження для кожної групи радіокомпонентів, залежно від кількості елементів цього типу:

$$\Lambda_i = \lambda_i \cdot m_i, (1/\text{ч}), \quad (3.69)$$

де m_i – кількість елементів, які належать до одного типу і працюють в однакових умовах; λ_i – інтенсивність відмов цього типу елементів.

Інтенсивність відмов функціонального вузла або приладу в цілому:

$$\Lambda' = \sum \Lambda_i, (1/\text{ч}), \quad (3.70)$$

де Λ' – інтенсивності відмов першого, другого, n -го елемента з урахуванням усіх впливаючих чинників. Визначаємо значення для всього функціонального вузла, для цього підсумовуємо всі цифри інтенсивностей відмов Λ_i .

Для спрощення розрахунків та зменшення їхніх обсягів останні два параметри можуть бути розраховані та записані у вигляді таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Показники інтенсивностей відмов функціонального вузла

Тип елемента	Інтенсивність відмов 1-го елемента, λ_i (1/ч)	Кількість елементів, m_i (шт)	Сумарна інтенсивність відмов, Λ_i (1/ч)

Інтенсивність відмов елементів залежно від умов експлуатації виробу визначаємо за формулою:

$$\lambda_{y.e.} = \Lambda_i K_1 K_2 K_3 K_4 Q, \quad (3.71)$$

де Λ_i – номінальна інтенсивність відмов для кожного типу елементів; K_1 і K_2 – поправкові коефіцієнти, які залежать від дії механічних чинників. Для стаціонарної апаратури беремо рівними $K_1 = 1,04$; $K_2 = 1,03$. K_3 – поправковий коефіцієнт, який описує залежність від дії вологості та температури. Для вологості 60–70 % і температури $T = 20 - 40^\circ\text{C}$ $K_3 = 1$. K_4 визначає залежність від атмосферного тиску, за нормальних умов дорівнює $K_4 = 1,14$. Q – залежність від температури поверхні елемента і коефіцієнта навантаження (K_n, T) визначають за графіками [6].

Визначаємо номінальну інтенсивність відмов елементів Λ_i за таблицею розрахованих значень та обчислюємо інтенсивність відмов елементів залежно від умов експлуатації виробу, $\lambda_{y.e.}$

Імовірність безвідмовної роботи для системи без резервування дорівнює:

$$P(t_p) = \exp(-t \Lambda'), \quad (3.72)$$

де \exp – основа натурального логарифма; Λ' – інтенсивність відмов схеми; t – заданий час безвідмовної роботи схеми; t_p – час безвідмовної роботи.

Визначаємо ймовірність безвідмовної роботи за формулою для декількох довільно взятих часових точок (наприклад: $t_1 = 100$ год, $t_2 = 500$ год, $t_3 = 1000$ год, $t_4 = 5000$ год, $t_5 = 10000$ год). За результатами розрахунків будемо графік залежності безвідмовної роботи від часу.

Визначаємо середній час напрацювання на відмову:

$$T = \frac{1}{\Lambda'}. \quad (3.73)$$

Кількість відмов за рік знаходимо за формулою:

$$n_0 = \Phi_D \Lambda', \quad (3.74)$$

де Φ_D – дійсний фонд річної роботи (год).

У середньому для приладу, що працює в одну зміну (не більше 8 годин за добу) беремо значення 2015 годин/рік (у три зміни – 5960 годин/рік).

Імовірність відмови для розрахованих значень часу безвідмовної роботи $P(t_p)$ визначаємо за формулою:

$$q = 1 - P(t_p). \quad (3.75)$$

За результатами розрахунків будемо графік залежності ймовірностей відмови від часу.

4 ВИСНОВКИ

Висновки – це частина пояснювальної записки, у якій підбивають підсумки виконаної роботи, указують переваги та недоліки використаного в процесі проектування аналого-цифрового перетворювача, аналізують можливі способи удосконалення електричної схеми пристрою, підвищення продуктивності, збільшення переліку потенційних можливостей.

Обсяг цієї частини ПЗ – одна–дві сторінки.

5 ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

У цій частині роботи наводять перелік літературних джерел, які були використані для виконання курсового проекту. Зазначають автора, назву, місто видання, назву видавництва, рік видання і кількість сторінок. У тексті пояснювальної записки обов’язково роблять посилання на кожне літературне джерело, яке є в переліку. Посилання має вигляд цифри (у квадратних дужках), що відповідає номеру цього джерела в переліку.

6 ДОДАТКИ ДО КУРСОВОГО ПРОЄКТУ

Першим додатком у ПЗ є відомість специфікацій. Цей документ, оформлений за стандартами, повинен містити інформацію про перелік елементів, з яких складається принципова схема, а також про позиційне позначення, назву і кількість дискретних елементів схеми.

На першій сторінці відомості обов’язковий штамп заввишки 40 мм, на наступних сторінках висота штампу – 15 мм.

Окрім цього додатка, можуть бути й інші. Наприклад, зображення друкованої плати, графіки, таблиці, а також різна довідкова інформація.

У кожному додатку в правому верхньому кутку вказують «Додаток № ...». Посередині аркуша додатка повинна бути його назва.

7 ЗАХИСТ КУРСОВОГО ПРОЄКТУ

Захист курсового проєкту відбувається у термін, зазначений у технічному завданні та затверджений керівником курсового проєкту. Перед захистом курсового проєкту необхідно надати керівникові пояснювальну записку та креслення у повному обсязі для перевірки правильності розрахунків, послідовності та наповнення необхідних розділів, правильності складання схем електричних структурної та принципової. Після перевірки керівником курсового проєкту креслення та пояснювальна записка повинні бути перевірені фахівцем кафедри на відповідність вимогам ЄСКД та ДСТУ. Після усунення всіх недоліків курсовий проєкт допускають до захисту.

На захист курсової роботи необхідно подати пояснювальну записку, графічний матеріал і всю роботу в електронному вигляді. Захист відбувається у присутності керівника курсового проєкту та викладача-лектора з навчальної дисципліни. Для захисту обов'язковою для студента, який захищає даний курсовий проєкт, є доповідь (тривалістю 5–7 хвилин), що стосується проблематики теми КП та технічних засобів її розв'язання, які застосовано у роботі.

8 КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ

Запропонований курсовий проєкт дозволяє встановити відповідність рівнів засвоєння студентами основних розділів навчального курсу «Цифрова схемотехніка» тим вимогам, що передбачені його типовою програмою. Розв'язання кожного із завдань КП потребує від студента інтегрованого застосування всіх набутих знань та навичок, але кожне із завдань має

спрямованість, яка потребує поглибленого володіння матеріалом певного розділу.

Для забезпечення більш гнучкого механізму комплексного оцінювання рівня засвоєння матеріалу пропонується рейтингова система оцінювання. Для оцінки «відмінно» необхідно також урахувати відповідність графічного та іншого оформлення чинним стандартам. Оцінка «відмінно» за виконання курсового проєкту в цілому може бути одержана лише за умови, що на всі поставлені питання надані позитивні відповіді. До того ж, для оцінки «відмінно» необхідно враховувати граматичні показники відповіді, володіння державною мовою, володіння теоретичним матеріалом, вміння аналізувати поставлене завдання та вибирати раціональний спосіб її розв'язання, глибину пояснень, чіткість формулювань, якість розрахунків.

Рівень позитивної оцінки («задовільно», «добре» чи «відмінно») визначається глибиною даних пояснень, чіткістю формулювань, якістю викладення матеріалу та його оформлення.

Окрім того, за курсовий проєкт виставляються додаткові бали, які враховують вміння логічно та послідовно викладати матеріал, дотримання вимог стандартів, якість оформлення матеріалу.

**Таблиця відповідності результатів контролю знань
за різними шкалами і критерії оцінювання**

Сума балів за 100- бальною шкалою	Оцінка в ECTS	Значення оцінки ECTS	Критерії оцінювання	Рівень компетентності	Оцінка за національною шкалою
					Іспит, диференційований залік
90–100	A	Відмінно	Студент виявляє особливі творчі здібності, уміє самостійно здобувати знання, без допомоги викладача знаходить та опрацьовує необхідну інформацію, уміє використовувати набуті знання і вміння для прийняття рішень у нестандартних ситуаціях, переконливо аргументує відповіді, самостійно розкриває власні обдарування і нахили	Високий (творчий)	Відмінно
82–89	B	Дуже добре	Студент вільно володіє вивченим обсягом матеріалу, застосовує його на практиці, вільно розв'язує вправи і задачі у стандартних ситуаціях, самостійно виправляє допущені помилки, кількість яких незначна	Достатній (конструктивноваріативний)	Добре
74–81	C	Добре	Студент уміє зіставляти, узагальнювати, систематизувати інформацію під керівництвом викладача; у цілому самостійно застосовувати її на практиці; контролювати власну діяльність; виправляти помилки, серед яких є суттєві, добирати аргументи для підтвердження думок		

Продовження таблиці

64–73	D	Задовільно	Студент відтворює значну частину теоретичного матеріалу, виявляє знання і розуміння основних положень; з допомогою викладача може аналізувати навчальний матеріал, виправляти помилки, серед яких є значна кількість суттєвих	Середній (репродуктивний)	задовільно
60–63	E	Достатньо	Студент володіє навчальним матеріалом на рівні, вищому, ніж початковий, значну частину його відтворює на репродуктивному рівні		
35–59	FX	Незадовільно з можливістю повторного складання семестрового контролю	Студент володіє матеріалом на рівні окремих фрагментів, що становлять незначну частину навчального матеріалу	Низький (рецептивно-продуктивний)	Незадовільно
1–34	F	Незадовільно з обов'язковим повторним вивченням залікового кредиту	Студент володіє матеріалом на рівні елементарного розпізнання і відтворення окремих фактів, елементів, об'єктів		

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

Основна

1. Воробйова О. М., Панфілов І. П., Савіцька М. П., Флейта Ю. В. Електроніка та мікросхемотехніка: підручник. Одеса: ОНАЗ ім. О. С. Попова, 2015. 298 с.
2. Воробйова О. М., Іванченко В. Д. Основи схемотехніки: підручник. 2-ге вид. Одеса: Фенікс. 2009. 388 с.
3. Колонтаєвський Ю. П., Сосков А. Г. Електроніка і мікросхемотехніка: підручник. 2-ге вид. / за ред. А. Г. Соскова. Київ: Каравела. 2009. 416 с.
4. Ушенко Ю. О., Гавриляк М. С., Талах М. В., Дворжак В. В. Основи та методи цифрової обробки сигналів: від теорії до практики: навч. посібник Чернівці: Чернівецький нац. ун-т ім. Ю. Федьковича, 2021. 308 с.
5. Чайковський А. В. Застосування аналогово-цифрових перетворювачів. Методичні вказівки до курсу «Проектування інформаційно-вимірювальних систем». Тернопіль: ТНТУ, 2020. 31 с.
6. Бойко В. І., Гуржій А. М., Жуйков В. Я. Схемотехніка електронних систем: У 3 кн. Кн. 1. Аналогова схемотехніка та імпульсні пристрої: підручник. Київ: Вища школа, 2004. 366 с.
7. Колонтаєвський Ю. П., Сосков А. Г. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум: навчальний посібник. / за ред. А. Г. Соскова. 2-ге вид. Київ: Каравела, 2004. 432 с.
8. Рябенський В. М., Жуйков В. Я., Ямненко Ю. С., Заграничний А. В. Схемотехніка: Пристрої цифрової електроніки: в 2 т.: підручник для студентів, що навчаються за спеціальністю «Електроніка». Київ: НТУУ «КПІ». 2016. 757 с.
9. Ванін В. В., Блюк А. В., Гнітецька Г. О. Оформлення конструкторської документації: навч. посібник. Київ: Каравела, 2012. 200 с.
10. Терлецький Т. В., Кайдик О. Л., Ткачук А. А., Речун О. Ю. Основи технічної документації: навчальний посібник для студентів технічних

спеціальностей / під заг. ред. Т. В. Терлецького Луцьк: ІВВ Луцького НТУ, 2021. 126 с.

11. ДСТУ ГОСТ 2.702:2013 ЄСКД. Правила виконання електричних схем

Додаткова

12. Клен К. С., Сафронов П. С. Схемотехніка: Частина 2. Цифрова схемотехніка: практикум: навчальний посібник для студентів спеціальності 171 «Електроніка». Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 67 с.

13. Скаржепа В. А., Сенько В. М. Електроніка і мікросхемотехніка: збірник задач. Київ: Вища школа. 1989. 431 с.

14. Колонтаєвський Ю. П., Сосков А. Г. Промислова електроніка: Теорія і практикум: підручник. Київ: Каравела, 2013. 496 с.

15. Горлач О. О., Минц М. Я., Чимков В. М. Цифрова обробка сигналів у вимірювальній техніці. Київ: Техніка, 1985. 151 с.

16. Методи перетворення сигналів: навчально-методичний посібник / укл. Ю. В. Головка. Запоріжжя: ЗДІА, 2011. 61 с.

17. Електроніка та мікросхемотехніка / за ред. В. І. Сенька. Харків: Фоліо, 2002. 372 с.

18. Григоренко В. Ю., Якимець С. М., Саньков С. В. Методичні вказівки щодо виконання розрахунково-графічних завдань з навчальної дисципліни «Цифрова схемотехніка» (частина 1) Кременчук: КНУ, 2010. 30 с.

19. Григоренко В. Ю., Якимець С. М., Саньков С. В. Методичні вказівки щодо виконання розрахунково-графічних завдань з навчальної дисципліни «Цифрова схемотехніка» (частина 2) Кременчук: КНУ, 2010. 29 с.

20. Крупельницький Л. В., Азаров О. Д. Аналого-цифрові пристрої систем, що самокоригуються, для вимірювання і оброблення низькочастотних сигналів. Вінниця: УНІВЕРСУМ–Вінниця, 2005. 167 с.

21. Азаров О. Д., Коваленко О. О. Обчислювальні АЦП і ЦАП, що самокалібруються, для систем цифрового оброблення аналогових сигналів: монографія. / під заг. ред. О. Д. Азарова. Вінниця: УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2006. 147 с.

Зразок оформлення титульної сторінки пояснювальної записки

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ МИХАЙЛА ОСТРОГРАДСЬКОГО

НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА
ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра комп'ютерної інженерії та електроніки

КУРСОВИЙ ПРОЄКТ

з навчальної дисципліни: «Цифрова схемотехніка»

на тему «_____»

Студента III курсу, група ЕЛ-
зал. книжка №
спеціальність 171 – «Електроніка»

(прізвище та ініціали)

Керівник _____
(посада, учене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Національна шкала _____

Кількість балів _____ Оцінка ECTS _____

Члени комісії _____
(підпис) (власне ім'я, прізвище)

_____ (підпис) (власне ім'я, прізвище)

_____ (підпис) (власне ім'я, прізвище)

Кременчук 2023

Лист технічного завдання до курсового проєкту

**КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ МИХАЙЛА ОСТРОГРАДСЬКОГО**

Інститут _____ електричної інженерії та інформаційних технологій _____

Кафедра _____ комп'ютерної інженерії та електроніки _____

Спеціальність _____ 171 – «Електроніка» _____

Курс _____ III _____ Група _____ ЕЛ _____ Семестр _____

ЗАВДАННЯ ДО КУРСОВОГО ПРОЄКТУ

_____ (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи « _____ »
2. Термін здачі студентом роботи _____.
3. Вихідні дані до роботи схема проєктованого пристрою згідно з варіантом завдання; схема аналого-цифрового перетворювача згідно з варіантом завдання.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що підлягають розробці): Вступ. 1. Аналіз технічного завдання. 2. Теоретична частина: Складання схеми електричної структурної проєктованого пристрою. Складання електричної принципової проєктованого пристрою. Опис схеми аналого-цифрового перетворювача. 3. Розрахункова частина: Розрахунок застосованого у схемі АЦП. Розрахунок параметрів надійності розробленого пристрою. Висновок.
5. Перелік графічного матеріалу Схема електрична структурна проєктованого пристрою /A2/; Схема електрична принципова проєктованого пристрою /A2/; Схема електрична функціональна аналого-цифрового перетворювача /A2/; Часові діаграми роботи аналого-цифрового перетворювача /A2/.
6. Дата видачі завдання _____.

Продовження додатка Б

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів курсового проекту	Термін виконання етапів роботи	Вказівки та зауваження викладача (із зазначенням дати консультації)	Оцінювання етапів роботи		
				За національною шкалою	Кількість балів	За шкалою ECTS
1.	Етап 1					
	<i>Аналіз технічного завдання та розгляд аналогічних пристроїв</i>	<i>1-3 тиждень</i>				
2.	Етап 2					
	<i>Теоретична частина: складання електричних схем</i>	<i>4-7 тиждень</i>				
3.	Етап 3					
	<i>Розрахункова частина: розрахунок АЦП та параметрів надійності</i>	<i>7-11 тиждень</i>				
4.	Етап 4					
	<i>Оформлення пояснювальної записки, робота з графічним матеріалом.</i>	<i>12-14 тиждень</i>				
				(Усього балів не більше 60)		
	Захист			(Не більше 40)		
	Усього					

Студент(ка) _____ (підпис) _____ (власне ім'я, прізвище)

Керівник _____ (підпис) _____ (власне ім'я, прізвище)

« _____ » _____ 20 ____ р.

Таблиця В.1 – Величини коефіцієнтів впливу α для різного типу елементів

t°, C	Значення α за різних значень K_H .				
	$K_H = 0,2$	$K_H = 0,4$	$K_H = 0,7$	$K_H = 1,0$	
20	0,18	0,22	0,52	1,0	резистори типу ОВС, ОМЛТ, МТ, СПО, УЛИ, УЛМ
40	0,2	0,3	0,62	1,3	
60	0,2	0,42	0,9	2,2	
20	$K_H = 0,2$	$K_H = 0,4$	$K_H = 0,7$	$K_H = 1,0$	плівкові вуглецеві резистори
40	0,3	0,4	0,6	1,0	
60	0,4	0,6	0,8	2,0	
20	0,57	0,75	1,0	4,0	
20	$K_H = 0,2$	$K_H = 0,4$	$K_H = 0,7$	$K_H = 1,0$	композиційні резистори
40	0,78	0,79	0,9	1,0	
60	0,81	0,9	1,2	1,4	
20	1,2	1,4	1,6	2,0	
20	$K_H = 0,25$	$K_H = 0,5$	$K_H = 0,7$	$K_H = 1,0$	дротяні резистори
40	0,1	0,1	0,3	1,0	
60	0,3	0,4	0,7	1,4	
20	0,4	0,6	1,1	-	
20	$K_H = 0,3$	$K_H = 0,5$	$K_H = 0,8$	$K_H = 1,0$	змінні дротяні резистори
40	0,1	0,20	0,55	1,0	
60	0,11	0,25	0,65	1,2	
20	0,12	0,35	0,75	1,3	
20	$K_H = 0,3$	$K_H = 0,5$	$K_H = 0,8$	$K_H = 1,0$	конденсатори з паперовою ізоляцією
40	0,045	0,08	0,5	1,1	
60	0,06	0,09	0,65	2,2	
20	0,07	0,12	0,85	4,0	
20	$K_H = 0,2$	$K_H = 0,4$	$K_H = 0,8$	$K_H = 1,0$	конденсатори зі слюдяною ізоляцією
40	0,1	0,18	0,45	1,0	
60	0,12	0,3	0,62	1,7	
20	0,3	0,65	1,0	2,8	
20	$K_H = 0,2$	$K_H = 0,4$	$K_H = 0,7$	$K_H = 1,0$	конденсатори СКМ
40	0,2	0,6	0,6	1,0	
60	0,3	6,6	0,7	1,5	
20	0,5	0,7	1,7	3,0	
20	$K_H = 0,2$	$K_H = 0,4$	$K_H = 0,7$	$K_H = 1,0$	конденсатори з керамічним ізолятором
40	0,01	0,1	0,35	1,0	
60	0,05	0,1	0,4	1,35	
20	0,08	0,13	0,6	1,8	
20	$K_H = 0,3$	$K_H = 0,5$	$K_H = 0,8$	$K_H = 1,0$	К50-3
40	0,65	0,45	0,8	1,0	
60	1,0	0,65	1,2	2,0	
20	2,8	2,0	3,8	5,8	

Продовження таблиці

	$K_H = 0,4$	$K_H = 0,7$	$K_H = 0,8$	$K_H = 1,0$	електролітичні танталові
20	0,2	0,38	0,55	1,0	
40	0,35	0,45	0,65	1,3	
60	0,5	0,65	1,0	2,7	
	$K_H = 0,2$	$K_H = 0,4$	$K_H = 0,6$	-	катушки індуктивності
20	0,3	0,4	0,6	-	
	$K_H = 0,2$	$K_H = 0,4$	$K_H = 0,8$	-	трансформатори
20	0,1	0,2	0,3	-	
40	0,1	1,0	2,0	-	
60	0,1	1,0	6,0	-	
	$K_H = 0,25$	-	$K_H = 0,5$	$K_H = 1,0$	площинні германієві діоди
20	0,25	-	0,55	1,1	
30	0,4	-	0,7	1,4	
40	0,7	-	1,4	4,9	
50	2,0	-	6,5	-	
	$K_H = 0,25$	-	$K_H = 0,5$	$K_H = 1,0$	кремнієві точкові діоди
20	0,1	-	0,5	1,0	
40	0,18	-	0,38	1,3	
60	0,3	-	1,2	1,8	
	$K_H = 0,25$	$K_H = 0,5$	$K_H = 0,75$	$K_H = 1,0$	площинні кремнієві діоди
20	0,18	0,29	0,55	1,0	
40	0,19	0,45	0,85	1,6	
60	0,2	0,8	1,4	-	
	$K_H = 0,2$	$K_H = 0,4$	$K_H = 0,7$	$K_H = 1,0$	германієві транзистори
20	0,25	0,4	0,7	1,0	
40	0,4	0,6	1,25	1,7	
60	0,6	0,95	1,6	2,6	
	$K_H = 0,25$	$K_H = 0,5$	$K_H = 0,75$	$K_H = 1,0$	германієві ВЧ транзистори
20	0,1	0,3	0,4	1,0	
40	0,12	0,35	0,8	1,7	
60	0,2	0,7	1,5	2,6	
	$K_H = 0,2$	$K_H = 0,4$	$K_H = 0,8$	$K_H = 1,0$	кремнієві транзистори
20	0,15	0,2	0,65	1,0	
40	0,15	0,2	0,75	1,2	
60	0,15	0,25	0,85	1,45	
	$K_H = 0,2$	$K_H = 0,4$	$K_H = 0,8$	$K_H = 1,0$	кремнієві ВЧ транзистори
20	0,3	0,5	0,8	1,1	
40	0,4	0,7	1,1	1,3	
60	0,7	1,2	2,0	2,4	

Методичні вказівки щодо виконання курсового проєкту з навчальної дисципліни «Цифрова схемотехніка» для студентів денної форми навчання зі спеціальності 171 – «Електроніка» освітньо-професійної програми «Технологія, обладнання та виробництво електронної техніки» освітнього ступеня «Бакалавр»

Укладачі: к. т. н., доц. Д. В. Мосьпан;
старш. викл. С. В. Саньков

Відповідальний за випуск зав. кафедри КІЕ А. Л. Перекрест

Підп. до др. _____. Формат 60×84 1/16. Папір тип. Друк ризографія.
Ум. друк. арк. _____. Наклад _____ прим. Зам. № _____. Безкоштовно.

Редакційно-видавничий відділ
Кременчуцького національного університету
імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева 20, м. Кременчук, 39600