

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

**Фесечко В.О., Зубчук В.І., Попов А.О.**

## **СХЕМОТЕХНІКА**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО КУРСОВОГО ПРОЕКТУВАННЯ ДЛЯ СТУДЕНТІВ  
НАПРЯМУ “МІКРО- ТА НАНОЕЛЕКТРОНІКА”

Київ

2008

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

**Фесечко В.О., Зубчук В.І., Попов А.О.**

## **СХЕМОТЕХНІКА**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО КУРСОВОГО ПРОЕКТУВАННЯ ДЛЯ СТУДЕНТІВ  
НАПРЯМУ “МІКРО- ТА НАНОЕЛЕКТРОНІКА”

Затверджено  
Методичною радою НТУУ «КПІ»  
Протокол № від р.

Київ  
2007

Схемотехніка: методичні вказівки до до курсового проектування для студ. напрям. "Мікро- та наноелектроніка" / Уклад.: В. О. Фесечко, В.І. Зубчук – К.: «Видавництво», 2008. – 32 с.

Навчально-методичне видання

## СХЕМОТЕХНІКА

Методичні вказівки до курсового проектування  
для студентів напрям "Мікро- та наноелектроніка"

Укладачі: *Володимир Опанасович Фесечко*, канд. техн. наук, проф.  
*Віктор Іванович Зубчук*, канд. техн. наук, доц.  
*Антон Олександрович Попов*, канд. техн. наук, ст. викладач

Відповідальний

редактор *В.І. Тимофєєв*, доктор техн. наук, проф.

Рецензент: *О.В. Борисов*, канд. техн. наук, проф.

За редакцією укладачів

Підп. до друку      Формат      Папір друк. №3. Друк офс.  
Ум. друк. арк. 0,93. Обл.-вид. арк. 1,0. Зам. №000. Наклад 100 пр.

---

Інформаційно-видавничий центр "Політехніка"

Друкарня НТУУ "КПІ"

03056, Київ 56, просп. Перемоги, 37

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	6
1. МЕТОДОЛОГІЯ ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЇВ .....	7
1.1. Етапи проектування.....	7
1.2. Розробка нового пристрою .....	8
2. ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТУВАННЯ .....	11
2.1. Задачі курсового проектування.....	11
2.2. Тематика курсового проектування .....	12
2.3. Завдання на курсовий проект .....	12
2.4. Вихідні дані до проекту .....	13
2.5. Склад КП .....	14
2.5.1. Аналітичний огляд стану питання .....	16
2.5.2. Обґрунтування алгоритму функціонування та розробка структурної схеми пристрою.....	16
2.5.3. Розробка принципової схеми .....	17
2.5.4. Розрахункова частина .....	18
2.5.5. Конструкторсько-технологічна частина .....	20
2.5.6. Аналіз параметрів і похибок пристрою.....	29
2.5.7. Висновки.....	29
2.7. Графічна частина курсового проекту .....	30
2.7.1. Структурна та функціональна схема пристрою .....	30
2.7.2. Виконання креслення принципової схеми.....	31
2.7.3. Виконання друкованої плати.....	35
3. ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРАМИ ORCAD ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ СХЕМ .....	38
3.1. Створення нового проекту схеми .....	38
3.2. Підготовка аналізів та розводки плати.....	40
3.3. Моделювання роботи схеми.....	41

3.4. Розробка друкованої плати.....	43
4. ОФОРМЛЕННЯ ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ ДО КУРСОВОГО ПРОЕКТУ.....	46
4.1. Склад пояснювальної записки.....	46
4.2. Вимоги до рефератів курсового проекту .....	46
4.3. Загальні вимоги до оформлення пояснювальної записки .....	47
4.3.1. Текст пояснювальної записки .....	47
4.3.2. Основні написи .....	48
4.3.2. Структурний поділ пояснювальної записки.....	50
4.3.3. Змістовний склад структурних елементів пояснювальної записки .....	51
4.3.4. Оформлення тексту пояснювальної записки.....	51
4.3.5. Нумерація сторінок та частин у пояснювальній записці .....	52
4.3.6. Ілюстрації .....	53
4.3.6.1. Графіки .....	58
4.3.7. Таблиці.....	62
4.3.8. Переліки.....	64
4.3.9. Формули та рівняння.....	64
4.3.9.1. Формули, на які є посилання.....	64
4.3.9.2. Формули, на які немає посилань.....	66
4.3.10. Посилання.....	66
4.3.11. Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів ....	66
4.3.12. Додатки.....	67
4.3.13. Правила написання одиниць, їх позначень і найменувань .....	68
5. СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	73
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	80
Додаток А.....	81
Додаток Б.....	90
Додаток В.....	93

## ВСТУП

Створення нових виробів електронної техніки – виробнича основа розвитку сучасного суспільства. Майже будь-які технологічні процеси, наукові дослідження, контроль якості та організаційно-економічні заходи виконуються за допомогою електронних пристроїв та комп'ютерної техніки. В процесі розвитку науки та техніки формуються нові задачі, які не можуть бути вирішені з використанням вже існуючих приладів, пристроїв та систем. Це обумовлює необхідність проектування та створення більш досконалих та сучасних виробів.

Процес проектування включає в себе визначення принципу роботи електронного ланцюга, пристрою або системи, обґрунтування та вибір виду сигналів, методів їх формування та обробки; конструювання; розробку технології виробництва, методів контролю та випробувань; закінчується виготовленням повної конструкторсько-технологічної документації.

Курсове проектування дозволяє поглиблено вивчити один або декілька розділів курсу на прикладі розробки конкретного пристрою і закріпити знання, отримані під час теоретичної підготовки, виконання лабораторних робіт і розрахункових завдань.

При виконанні курсового проекту в студента з'являється необхідність приймати обґрунтовані рішення, зіставляючи цілий ряд відомостей і факторів, одержуваних з періодичної літератури, довідників і нормативних документів. Проектування характеризується тим, що рішення не може бути однозначним, тому завдання виконання курсового проекту – вибрати оптимальний варіант схеми й конструкції, відшукати найбільш просте та економічне рішення.

Курсовий проект з дисципліни «Схемотехніка» для студентів напряму «Мікро- та наноелектроніка» є завершальним етапом бакалаврської підготовки студента в галуззі схемотехніки та системотехніки мікроелектронних інформаційних систем. Метою курсового проектування є набуття студентом навичок аналізу та використання сучасних схемотехнічних рішень, самостійного наукового пошуку вирішень нестандартних завдань та забезпечення якісно нового рівня підготовки фахівців на основі взаємного проникнення та збагачення фундаментальних та прикладних наукових досліджень.

# 1. МЕТОДОЛОГІЯ ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЇВ

## 1.1. Етапи проектування

Основні етапи проектування електронного виробу такі:

системотехнічний - розробка виробу до рівня функціональних схем;

схемотехнічний - розробка виробу до рівня принципів схем;

конструкторський - розробка конструкторської документації.

Дотримання зазначених етапів проектування сприяє упорядкуванню процесу розробки, створює необхідні умови для контролю й корекції документації на різних стадіях проекту.

Системотехнічний етап проектування складається з аналізу декількох конкуруючих варіантів побудови пристрою, який розробляється, перевірки їхнього функціонування, обґрунтованого визначення вимог до вхідних вузлів і вибору оптимального рішення з кількох запропонованих за деяким критерієм. Якщо є лише один можливий варіант, один спосіб дії, одна структура системи, сама задача проектування зникає. Для того, щоб вона могла бути поставлена, необхідно, по-перше, мати або кілька можливих варіантів, або методи їх одержання та, по-друге, необхідно мати критерії переваги одного варіанта над іншим, тобто мати можливість порівнювати їх між собою. При виборі перевага віддається оптимальному варіанту. Таким чином, у постановці завдання проектування неявно виникає необхідність оптимізації.

Схемотехнічний етап проектування, або проектування на рівні принципів схем, починається з аналізу технічного завдання (ТЗ), розбиття на окремі вузли розроблювального виробу й завершується розробкою ТЗ на створення конструкторської та технологічної документації. Основне завдання етапу - розробка варіантів принципів схем вузлів виробу, які забезпечують задані вимоги до їхніх електричних характеристик. У процесі схемотехнічного проектування широко використовуються розрахунки за допомогою систем автоматизованого проектування (САПР), у результаті чого визначається найкращий з альтернативних варіантів. При цьому використовують бази даних, системи експертних оцінок, різні оптимізаційні процедури. Проте, досвід і кваліфікація інженера-проектувальника є визначальними в більшості випадків у схемотехнічному проектуванні.

Конструкторський етап проектування полягає в розробці топології друкованих плат, з'єднань, конструкції блоків, стійок, корпусу в цілому та передньої панелі керування. При розведенні друкованих плат використовують конструкторські САПР. При конструюванні необхідно враховувати обмеження, які виникають з тепловими режимами, паразитними та розподіленими параметрами конструктивних елементів схем.

Проектування не є послідовним переходом від одного етапу до іншого, більше низькому за рівнем. Фактично, після пророблення систем певного рівня складності доводиться повертатися назад, на більш високий рівень, і робити корекцію розрахунків. Таким чином, при проектуванні використовується метод послідовних наближень, коли рішення уточнюється на кожному наступному етапі. Саме такий процес і забезпечує перехід від "незнання" до "знання", у результаті якого створюється нова, відмінна від існуючої система.

## 1.2. Розробка нового пристрою

Мета і завдання, поставлені перед розробником, дозволяють визначити вид сигналів, які використовуються для передачі і перетворення інформації, розробити технічне завдання, а також виробити деяку ознаку - показник якості, що характеризує даний варіант, і правило, за яким системі із заданим значенням показника якості віддається перевага. Обраний критерій якості повинен чисельно характеризувати ступінь наближення до мети, сформульованої при постановці завдання, для досягнення якої створюється система.

Наступний крок - аналіз і дослідження параметрів існуючих систем. Якщо одна із уже існуючих систем може вирішити знову сформульовані завдання, проектування не проводиться; якщо не може – приступають до першого етапу проектування - системотехнічного, а потім до схемотехнічного. Для побудови створюваної системи доцільно широко використати серійні уніфіковані блоки, вузли та інтегральні схеми. Тому при схемотехнічному проектуванні аналізуються параметри таких елементів електронної апаратури та їх відповідність вимогам до окремих компонентів, сформульованим на етапі системотехнічного проектування. Якщо в результаті виконання операції "Перевірка відповідності" отриманий негативний результат, приступають до розробки спеціалізованих блоків або вузлів. Паралельно розробляють конструкцію і технологію системи, яка проектується. Після створення системи її випробовують, визначають параметри і зіставляють із заданими.

Обраний критерій якості враховується на всіх етапах. Це дозволяє вирішувати завдання оптимізації, які зводяться до пошуків екстремуму показника якості. В результаті процес проектування розглядається як замкнута ітераційна процедура, у якій інженерові відведена головна роль у прийнятті рішень. Розробку електронної схеми можна представити послідовним виконанням ряду етапів. Укрупнена схема процесу розробки електронного вузла традиційним методом складається із чотирьох основних етапів.



Теоретичне пророблення схемного рішення. На цьому етапі аналізують ТЗ і виділяють у ньому найбільш істотні вимоги. Використовуючи досвід розробки подібних схем, а також патентну, періодичну та іншу інформацію, обмірковують початковий варіант схеми, по можливості запозичаючи відомі рішення. При цьому частина схеми розробляється заново, а частина може бути отримана модифікацією відомих рішень (заміна одних елементів іншими, зміна їх параметрів, числа каскадів, транспонування по частоті, підгонка під необхідні вхідні і вихідні опори та т.і.) Розглядається кілька варіантів схеми з метою вибору оптимального.

Моделювання на ЕОМ. На підставі розрахованих значень компонентів схеми, обраної елементної бази і конструктивних особливостей виготовлення здійснюється математичне моделювання роботи пристрою. При цьому визначаються карти робочих режимів і перевіряється, чи перебувають точки напруги і потужності в припустимих межах для кожного компонента або мікросхеми. Для цього, звичайно, використовуються програми САПР для схемотехнічного проектування. За допомогою цих програм обчислюються амплітудні та фазочастотні характеристики, часові діаграми, проводиться статистичний аналіз параметрів і допусків і т.і. Важливим питанням при цьому є правильний вибір моделей компонентів і врахування різних факторів, що впливають на роботу пристрою.

Виготовлення макета. Початковий варіант схеми, отриманий теоретичним шляхом, має потребу в практичній перевірці, що проводять на макеті виробу. Виготовлення макета - один з найбільш трудомістких і тривалих етапів процесу проектування схеми. Для його створення необхідні електрорадіоелементи конструкцій, матеріали. Дуже часто для виготовлення макета доводиться розробляти ескізний варіант конструкції вузла, який проектується.

Випробування макета і доводка схеми. Після створення макета починається ітеративний процес доводки схеми. Залежно від того, наскільки вдало прийняте технічне рішення, цей процес може полягати тільки в корегуванні величин деяких елементів схеми, а може торкнутися і структури схеми або взагалі показати неспроможність обраного рішення.

Доведення схеми складається із двох основних етапів:

забезпечення заданих характеристик схеми;

досягнення необхідної стабільності цих характеристик з урахуванням впливу технологічних відхилень і зовнішніх впливів.

При попередньому налагодженні макета за допомогою комплексу вимірювального устаткування визначають характеристики схеми і порівнюють їх із заданими;

при додаткових експериментах і аналізі результатів роблять припущення про причину розбіжності реальної і необхідної характеристик схеми. Для усунення причини змінюють параметри або структуру початкового варіанта схеми. Цей процес триває до одержання

необхідної характеристики або до появи у розробника твердого переконання, що вимоги ТЗ не можуть бути реалізовані.

Якість технічного рішення перевіряється при випробуваннях схеми, проведених для визначення стабільності характеристик схеми в умовах впливу температури, радіації, вологості, тиску та інших факторів з врахуванням технологічних відхилень величин елементів і відхилень напруг живлення. При цьому використовують складний комплекс вимірювально-випробувального устаткування. Проведення випробувань схеми пов'язане з більшими труднощами: складністю імітації необхідних впливів; великою трудомісткістю робіт; значною тривалістю циклу випробувань.

Перше пояснюється розмаїтістю умов, у яких повинна працювати сучасна радіоелектронна апаратура (РЕА), друге – великою кількістю випробувань для перевірки всіх граничних режимів роботи приладу. Існують методики, що дозволяють значно зменшити число дослідів (планування експериментів, виділення групи, що впливає, та т.і.), однак вирішення цих завдань традиційними методами залишаються досить трудомісткими.

На кожному циклі уточнюються параметри проектованої системи, критерій якості, вносяться зміни на етапах системотехнічного і конструкторського проектування, поки не будуть досягнуті необхідні параметри (із припустимою розбіжністю) знову створеної і випробуваної системи.

## 2. ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТУВАННЯ

Курсове проектування дозволяє поглиблено вивчити один або декілька розділів курсу на прикладі розробки конкретного пристрою і закріпити знання, отримані під час теоретичної підготовки, виконанні лабораторних робіт і розрахункових завдань.

При виконанні курсового проекту (КП) в студента з'являється необхідність приймати обгрунтовані рішення, зіставляючи цілий ряд відомостей і факторів, одержуваних з періодичної літератури, довідників і нормативних документів. Проектування характеризується тим, що рішення не може бути однозначним, тому завдання виконання курсового проекту вибрати оптимальний варіант схеми і конструкції, відшукати найбільш просте та економічне рішення.

### 2.1. Задачі курсового проектування

При виконанні проекту вирішуються такі задачі:

– прищепити студенту теоретичні навички, необхідні на всіх етапах проектування, що дозволяють розробити варіанти нового пристрою, провести їх порівняльний аналіз, виробити критерії та обгрунтовано вибрати оптимальний варіант;

– виробити вміння самостійно користуватися відповідною технічною літературою, довідниками, періодичними виданнями, що необхідно для використання у пристрої, який розробляється, описаних в літературі електронних вузлів, інтегральних схем, конструкторських рішень;

– використати ЕОМ для аналізу, розрахунку та оптимізації розроблювальних електронних вузлів;

– вивчити вимоги ЄСКД і виконати конструкторську документацію (пояснювальну записку та креслення) відповідно до державних стандартів;

– виробити вміння чітко та коротко із застосуванням технічної термінології викладати суть розв'язуваної проблеми, обгрунтовувати прийняті рішення та відповідати на питання.

## 2.2. Тематика курсового проектування

Теми курсових проектів, в основному, визначаються керівником проекту. Однак у ряді випадків теми можуть бути погоджені з науковими керівниками студентів, що працюють на кафедрах інституту або на виробництві. В традиціях кафедри фізичної та біомедичної електроніки є заохочення студентів до виконання курсових проектів, тематики яких пов'язані з темами атестаційних робіт бакалавра, магістра та спеціаліста. Остаточне визначення теми КП може проводитися з урахуванням побажань студентів. Варто обирати тему курсового проекту з урахуванням тематики наукової діяльності студента на кафедрі, також після консультації з наковим керівником. На початку семестру студент отримує завдання на курсовий проект та разом з керівником ухвалює календарний план виконання етапів КП.

Основна вимога до теми полягає в тому, щоб реалізація її в проекті містила в собі всі необхідні складові проекту і відповідала програмі курсу. Тематика курсового проектування може бути трьох типів:

**Проектування пристрою вузького функціонального змісту**, наприклад: підсилювачі, фільтри, джерела живлення, генератори, лічильники, арифметико-логічні пристрої та ін.

**Проектування пристрою цільового призначення**, наприклад: різні перетворювачі сигналів та інтерфейси, вимірювачі електричних і неелектричних величин, пристрої аналізу інформації й ухвалення рішення, елементи робототехніки, автоматичних систем управління та ін.

**Проведення науково-дослідних робіт пошукового типу**. Зокрема, можуть бути різноманітні ініціативні розробки або теми, обумовлені науковою держбюджетною або договірною роботою різних кафедр, зокрема по проблемі вищої школи, включаючи технізацію навчального процесу та модернізацію лабораторної бази. Такі проекти, як правило, передбачають використання мікропроцесорної техніки або ЕОМ, розробку загальної структури й деталізацію тільки окремих блоків.

У додатку А наведений перелік тем для курсового проектування.

## 2.3. Завдання на курсовий проект

Завдання на курсовий проект оформляється на стандартному бланку і є основним документом, що регламентує виконання проекту. У завданні вказуються факультет, група,

прізвище студента, кафедра по якій виконується проект, дати видачі та прийому курсового проекту, технічні умови на проєктований пристрій, обсяг, зміст пояснювальної записки і графічної частини. У завданні повинен бути погоджений календарний графік виконання курсового проекту з вказанням основних етапів і термінів. Завдання, підписане викладачем, повинне бути видане протягом перших двох тижнів семестру. Один екземпляр підписаного завдання зберігається у керівника, інший – у студента, і згодом він підшивається в пояснювальну записку.

#### 2.4. Вихідні дані до проекту

У вихідних даних у короткій формі відображаються основні технічні умови на курсовий проєкт. Вони містять такі дані:

вимоги до типу функціонального перетворення (формула аналітичного перетворення, характер зв'язку вихідних і вхідних сигналів та т.і.);

вимоги до параметрів вихідного сигналу (амплітуда, потужність, полярність, тривалість фронту, максимальна частота переключування, допустиме відношення сигнал/шум та т.і.);

вимоги до вхідного та вихідного імпедансів або відомості про навантаження та джерело сигналу;

параметри вхідного сигналу і напруга живлення;

вимоги до регулювань та параметрів керування у проєктованому пристрої при ручному або автоматичному їхньому виконанні;

конструктивні, технологічні, експлуатаційні та інші вимоги (габаритні розміри, маса, енергоспоживання, елементна база та т.і.);

вимоги до стабільності та стійкості, впливу дестабілізуючих факторів, діапазону температур та ін.

У завданні можуть бути вказані не всі визначальні технічні умови на проєктований пристрій. Параметри уточнюються за узгодженням з керівником у процесі роботи над проєктом або вибираються самостійно студентом виходячи з конкретних умов проєктування. Такий вибір може бути зроблений на основі заданих експлуатаційних, конструкторських та інших загальних вимог, вказаних у завданні.

## 2.5. Склад КП

Курсовий проект складається з пояснювальної записки та креслень.

Пояснювальна записка являє собою текстовий конструкторський документ, оформлений відповідно до вимог ЄСКД та ДСТУ 3008-95 “Звіти в сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення” [1]. Орієнтовний загальний обсяг пояснювальної записки 20-30 сторінок.

Пояснювальна записка повинна містити:

титульний аркуш та заповнене і підписане керівником та студентом завдання на проект (див. Додаток В);

аналіз завдання на КП, огляд літератури по темі КП, опис принципів роботи пристроїв, уточнення технічного завдання;

аналіз варіантів виконання пристрою, обґрунтування критеріїв вибору одного з них;

вибір остаточного варіанту структурної схеми, ескізний розрахунок блоків;

опис принципу роботи схеми;

вибір та обґрунтування використання елементної бази, розрахунок вузлів принципової схеми;

докладний розрахунок номіналів елементів схеми;

докладний розрахунок необхідних параметрів пристрою в різних режимах, порівняння отриманого результату з заданими вимогами;

аналіз параметрів та похибок;

моделювання роботи пристрою за допомогою наявних програмних пакетів, порівняння результатів моделювання з заданими вимогами та з результатами аналітичних розрахунків;

зображення необхідних для пояснення роботи схеми осцилограм напруг та струмів;

довідкові дані про елементи схеми, які використовуються у КП (документацію на мікросхеми, транзистори та т.і. – обов’язково включити у додатки до пояснювальної записки);

загальні висновки по результатам проектування;

список використаних джерел (включаючи посилання в мережі Інтернет).

Креслення до курсового проекту виконуються окремо на аркушах паперу формату А4 – А3 та підшиваються разом з пояснювальною запискою. Курсовий проект повинен містити креслення схеми структурної та схеми електричної принципової, а також креслення плати друкованої. До кожного креслення обов’язково складаються специфікації з переліками елементів.

Пояснювальна записка до курсового проекту служить звітом про роботу в процесі проектування, тому на неї поширюються вимоги й правила оформлення, пропоновані до звітів про науково-дослідну роботу.

Загальні вимоги до розрахунково-пояснювальної записки: чіткість побудови; логічна послідовність викладу матеріалу; переконливість аргументації; стислість і чіткість формулювань, що виключають можливість суб'єктивного й неоднозначного тлумачення; конкретність викладу результатів роботи; показовість висновків й обґрунтованість рекомендацій.

Основна частина пояснювальної записки повинна містити в собі такі розділи: вступ, аналітичний огляд стану питання, обґрунтування алгоритму функціонування й структурної схеми, розробка принципової схеми, розрахункова частина, конструкторсько-технологічна частина, аналіз параметрів і погрешностей, висновок.

У вступі необхідно коротко, на 4...5 сторінках, викласти особливість розроблювального пристрою та представити аналіз технічних умов. Не слід приводити загальновідомі визначення (типу - що називається підсилювачем, тригером і т.і.)

Аналіз технічних умов виконується на підставі завдання на курсовий проект, але цей розділ не повинен бути простим перерахуванням основних якісних показників пристрою. Тут необхідно оцінити задані технічні умови, намітити шляхи їхньої реалізації, визначити додаткові вимоги і якісні показники, якою буде задовольняти проектуваний пристрій.

У результаті аналізу технічних умов необхідно намітити рішення основних питань проекту:

Який принцип дії буде покладений в основу проектуваного пристрою?

Які інтегральні схеми й дискретні активні елементи (біполярні та польові транзистори, тунельні діоди, операційні підсилювачі та т.і.) будуть використані при побудові пристрою?

Яким орієнтовно повинне бути конструктивне рішення пристрою?

Чи можуть бути використані в проектуваному пристрої типові схеми та нормалізовані елементи? Їхня орієнтовна частка в загальній схемі та конструкції.

Які вимоги варто пред'являти до джерела живлення, його конструкції, якісним показникам, розміщенню?

Як передбачається виконати електричне і механічне з'єднання проектуваного пристрою з пристроєм або апаратом, для якого воно призначено?

### 2.5.1. Аналітичний огляд стану питання

Основний теоретичний розділ проекту, у якому проявляються знання студентів по відповідних розділах курсу, уміння користуватися технічною літературою, елементи творчості та уміння, вибравши критерії, провадити порівняльний аналіз, відшукати найбільш просте й економічне рішення. Вихідні дані для написання цього розділу:

- література, що рекомендована керівником в завданні на курсовий проект;
- джерела, зазначені у відповідному розділі бібліографічного відділу бібліотеки;
- журнальні статті, опубліковані за останні 3...4 роки;
- описи винаходів або патентів по темі проекту.

Роблячи аналітичний огляд літератури, необхідно класифікувати різні рішення завдання, визначити переваги і недоліки, дати оцінку кращого відомого варіанта.

### 2.5.2. Обґрунтування алгоритму функціонування та розробка структурної схеми пристрою

Цей розділ містить оцінку вибору прикладеного варіанта пристрою і його конструкцій з технічної сторони. Оцінюють відповідність пристрою таким технічним показникам:

- відповідність технічному завданню або стандартним нормативам;
- вплив спроектованого пристрою на технічний рівень відповідної галузі;
- відповідність рівню світових зразків аналогічних пристроїв;
- експлуатаційні витрати;
- можлива економія від впровадження спроектованого пристрою;
- строк експлуатації;
- кількість і кваліфікація персоналу, що обслуговує;
- простота ремонту і ступінь автоматизації обслуговування.

При виконанні курсового проекту неможливо оцінити спроектований пристрій по всіх перерахованих показниках через відсутність необхідних даних. Тому варто обмежитися доступними для розрахунку показниками.

На підставі аналітичного огляду і власного підходу до поставленого завдання вибирається алгоритм функціонування спроектованого пристрою.



Вибору алгоритму може передувати вибір методу рішення завдання (наприклад, метод виміру певного параметра). Алгоритм варто представити в графічній формі у вигляді дерева операцій та умовних або безумовних переходів. На підставі алгоритму функціонування розробляється структурна схема у вигляді блоків (наприклад, блок узгодження, блок порівняння, блок аналого-цифрового перетворення, блок індикації та т.п.)

Необхідно обговорити альтернативні варіанти алгоритмів і структурних схем.

### 2.5.3. Розробка принципової схеми

Для виконання вимог технічного завдання, запропонованих до окремих каскадів і до проєктованого пристрою в цілому, можна використати вузли, побудовані по різних принципових схемах. Необхідно проаналізувати можливі варіанти принципових схем, оцінити їх потенційні можливості, визначити шляхи узгодження окремих каскадів. Заздалегідь неможливо дати точну рекомендацію, яку схему і з якими параметрами варто вибирати при заданих технічних умовах. Звичайно задані умови визначають тільки зовнішні характеристики пристрою, не зачіпаючи структури схеми та параметри її елементів, тому необхідно скласти кілька варіантів схем, після порівняння яких вибрати кращий варіант. Крім того, повинні бути враховані умови, що визначають вимоги до конструкції: максимально припустимі габаритні розміри, діапазон зміни температури, величина й характер зовнішніх полів, вібрації, параметри джерела харчування, надійність і т.д. З погляду технологічності, простоти конструкції, собівартості, можливості застосування готових функціональних вузлів; доцільно будувати пристрій з ідентичних каскадів.

Далі складають повну принципову схему пристрою, уточнюють типи інтегральних мікросхем і дискретних активних елементів, їхні режими і параметри. Визначають наявність і місце включення допоміжних ланцюгів, ланцюгів регулювання та налагодження, ланцюгів зворотного зв'язку.

Варіанти принципових схем потрібно порівнювати по технічних, конструктивних та економічних показниках. Вибираючи варіанти принципових схем, варто оцінити можливість застосування типових схем радіоелектронної апаратури, функціональних модулів та інтегральних схем. Останній шлях значно зменшує вартість пристрою та сприяє поліпшенню його техніко-економічних показників. Застосування дискретних елементів повинно бути аргументовано.

У даному розділі курсового проекту містяться принципові схеми інтегральних мікросхем, що використовуються, характеристики транзисторів та інших компонентів.

Проектований пристрій повинен забезпечувати виконання заданих технічних умов з деяким запасом, тому що реальні елементи мають розкид параметрів, що при певному виборі показника виробу може вивести їх за поле допусків заданих технічних умов. Але варто враховувати, що зайвий запас за якісними показниками не є перевагою схеми, тому що він звичайно досягається або за рахунок ускладнення схеми, або за рахунок погіршення інших параметрів.

Рекомендується забезпечувати запас по всіх якісних показниках на 10...20 % у порівнянні із заданими технічними умовами.

#### 2.5.4. Розрахункова частина

Тут виконуються всі основні схемотехнічні розрахунки. Як правило, необхідно розрахувати всі елементи (резистори, конденсатори, котушки індуктивності, лінії затримки, трансформатори), обґрунтувати вибір транзисторів, діодів, мікросхем.

Електричний розрахунок каскадів варто починати з вихідного каскаду, оскільки вид навантаження, як правило, заданий, а за результатами розрахунку можуть бути обчислені вхідні параметри, що визначають навантаження попереднього каскаду.

Розрахунок кожного каскаду являє собою окремий закінчений параграф, що повинен ґрунтуватися на заданих технічних умовах і результатах ескізного розрахунку функціональної схеми.

Для розрахунку використовуються методики, викладені в рекомендованій літературі. У тих випадках, коли такі методики відсутні, варто зробити аналіз схеми, одержати необхідні співвідношення для вторинних параметрів, а потім перетворити їх та одержати вирази для розрахунку компонентів. Оскільки необхідні багаторазові розрахунки, то варто написати програми для обраних методик для ЕОМ і зробити обчислення за допомогою комп'ютерної техніки.

Розрахунок кожного підсилювального каскаду повинен містити:

принципову та еквівалентну схеми кожного каскаду, що розраховується;

вихідні дані для розрахунку із значеннями величин і параметрів, які необхідно розрахувати;

сімейство вольт-амперних характеристик підсилювального елемента або основні характеристики інтегральних схем;

завдання розрахунку із зазначенням величин і параметрів, які необхідно розрахувати;

розрахунок каскаду по постійному струму, що повинен містити вибір та обґрунтування положення робочої точки підсилювального елемента;

розрахунок каскаду по змінному струму, супроводжуваний короткими текстовими поясненнями;

висновок, у якому коротко підводиться підсумок розрахунку та виділяються ті його результати, які необхідні для подальших розрахунків.

У випадку застосування декількох ідентичних каскадів докладний розрахунок приводиться тільки для одного каскаду. Для інших каскадів даються результати розрахунку.

При розрахунках доводиться враховувати різні паразитні параметри (монтажні та міжелектродні ємності, індуктивності виводів, еквівалентні параметри кабелів, роз'ємів і т.п.), величини яких можуть бути визначені приблизно. Тому немає необхідності вести розрахунки з точністю, що перевищують точність вихідних даних. Надлишкове число значущих цифр у результатах обчислень може створити неналежне уявлення про точне значення отриманої величини.

Важливим питанням при електричному розрахунку є визначення технічних умов на окремі каскади і блоки. Для цього доцільно представити передбачувані часові діаграми роботи пристрою, виділити можливі основні джерела похибок і потім розподілити параметри, задані в технічному завданні на весь пристрій, між блоками. Наприклад, час затримки, коефіцієнт підсилення можна розподілити рівномірно між блоками, вхідний опір визначається першим каскадом, вихідний – останнім і т.д.

На підставі отриманих при розрахунках значень опорів і ємностей обирають резистори та конденсатори з номінальними значеннями по тому чи іншому стандартизованому ряду. Вибір ряду визначається допустимою похибкою значення параметра компонента. Його номер можна знайти із співвідношення

$$N \geq \frac{I}{\lg\left(I + \frac{2\delta}{100}\right)}, \quad N \in 6, 12, 24, 48, 96, 192.$$

де  $I$  – значення номіналу компоненту;

$\delta, \%$  – припустима відносна похибка номіналу компонента.

Номінальні значення ряду можна вибирати за довідковим даними або розрахувати по формулі

$$X_{KN} = \sqrt[N]{10^m} \cdot 10^K$$

де  $N$  – номер ряду (6, 12, 24, 48, 96, 192);  $m = 1..N$ ;  $K$  - ціле число.

При цьому  $X_{KN}$  округляється з похибкою  $\delta$ .

Транзистори й мікросхеми вибирають по довідниках.

Транзистори та мікросхеми вибирають по довідниках. При цьому варто виходити з їхньої необхідної швидкодії (часу затримки, верхньої граничної частоти, максимальної швидкості зростання напруги), потужності, конструктивних характеристик. Мікросхеми треба вибирати однієї серії або групи. Як правило, загальною вимогою є наявність цифрової індикації в пристрої. Тому необхідно обрати відповідний індикаторний дисплей або сигнальний елемент і зробити розрахунок ланцюгів їхнього керування.

При можливості використання схемотехнічної САПР (P-Spice, OrCAD, P-CAD та т.і.) варто розрахувати часові або частотні характеристики схем і порівняти отримані дані з параметрами по технічному завданню та розрахованими із теоретичних положень. Бажана також експериментальна перевірка розрахунків на макеті.

#### 2.5.5. Конструкторсько-технологічна частина

У теоретичній і розрахунковій частинах проекту ведеться розробка основних показників пристрою. У конструкторсько-технологічній частині з'являються шляхи реалізації, визначається основний напрямок розробки робочих технічних документів. Крім того, розробка конструкторсько-технічної частини виробляє в студентів здатність побачити взаємозв'язок між принциповою та монтажною схемами, між обраними типами компонентів, їхніми габаритними розмірами і вартістю.

В окремих випадках розробка конструктивних питань приводить до часткового перегляду прийнятих у розрахунковій частині рішень.

У конструкторсько-технологічній частині повинна бути виконана загальна конструктивна розробка і компоновання пристрою та докладно розроблена конструкція монтажно-складальної одиниці або функціонального вузла. Вона виконується на базі електричного розрахунку, з урахуванням особливостей пристрою і заданих технічних вимог. Орієнтовний обсяг цієї частини проекту 4...5 аркушів.

Конструкторсько-технологічна частина служить основним джерелом розробки креслень курсового проекту і повинна давати повні відомості про їхній зміст і об'єм. В цій частині остаточно уточнюються, вибираються і при необхідності розраховуються елементи, деталі,

окремі вузли і їх розміщення; обираються матеріали і технологічні процеси, використовувані при виробництві пристрою.

При виборі та конструктивній розробці окремих вузлів і деталей необхідно прагнути до максимального використання стандартних і уніфікованих моделей вузлів, деталей (резисторів, конденсаторів, трансформаторів, котушок індуктивності, роз'ємів, елементів індикації, керування і т.д.)

Загальна конструкторська розробка і компонування пристрою визначає розміщення деталей, органів керування, живлення, контролю, механічного і електричного захисту. Параметри багатьох деталей і вузлів при їхній установці в пристрій можуть значно змінюватися. Крім того, параметри окремих вузлів і ділянок схеми можуть змінюватися під впливом електромагнітних і електростатичних полів сусідніх вузлів, може виникнути небажаний (паразитний) зв'язок між струмопровідними лініями схеми.

У малогабаритних конструкціях необхідно особливо ретельно забезпечувати всі заходи боротьби з паразитними зв'язками. Тому від правильного і продуманого компонування в значній мірі залежать експлуатаційні характеристики пристрою: надійність, зручність, простота експлуатації, ремонтоспроможність.

Конструкція та компонування пристрою визначаються також місцем його установки, типами застосованих деталей, їх електричними й тепловими режимами, способами виконання монтажу та умовами захисту від зовнішніх впливів. Тип деталей і габаритні розміри визначають із умов їхньої роботи в схемі (номінальні напруги конденсаторів, припустимі потужності розсіювання резисторів, оцінка необхідності застосування радіаторів для транзисторів та ін.), загального конструктивного рішення та вартості деталей.

Для забезпечення технологічності пристрою доцільно вибрати мінімальну кількість типів активних елементів, типорозмірів і номіналів деталей та елементів конструкції.

При визначенні компонування пристрою необхідно:

вибрати конструкцію корпусу пристрою, його несучої підставки (шасі) та передньої панелі (якщо така буде передбачена);

визначити орієнтовно його габаритні розміри;

зв'язати стикування розроблювальної конструкції з пристроєм, для якого проектується виріб;

визначити місця і спосіб електричних і механічних з'єднань;

розмістити основні вузли в об'ємі корпусу і на шасі.

При цьому за рахунок раціонального взаємного розміщення вузлів, деталей і струмонесучих провідників, застосування екранування та інших заходів передбачити захист від

виникнення паразитних електричних і магнітних зв'язків і від зв'язків, що виникають по загальних ланцюгах живлення;

передбачити охолодження пристрою;

розмістити органи керування;

вибрати і обґрунтувати спосіб виконання електричного монтажу;

передбачити спеціальні заходи, спрямовані на задоволення заданих конструктивних параметрів (підвищення вібрації, вологість, перепад температур, тисків і т.п.);

при наявності в конструкції громіздких і важких деталей домагатися рівномірного розподілу центрів ваги по площі шасі або виділити каскади із громіздкими деталями (радіатори, потужні транзистори, трансформатори і т.п.) в окремі функціональні вузли й блоки.

Розробка конструкції функціонального вузла являє собою докладну розробку ескізу, робочого креслення і монтажною схеми. Рекомендуються монтажні схеми і конструкції функціональних вузлів виконати на базі друкованого монтажу.

При побудові функціонального вузла на базі друкованого монтажу виникає необхідність вибрати і обґрунтувати спосіб виконання друкованої плати, вибрати типи деталей, розмістити деталі й друковані провідники на друкованій платі.

Конструктивно схема із друкованим монтажем складається з підставки (плати з електроізоляційного матеріалу гетинаксу ГФ 1-Г1 за ДСТ 10316-62 або стеклотекстоліту СФ-1 за ДСТ 1031-62), на якому закріплені всі деталі (називані начіпними елементами), елементи комутації (роз'єми, перехідні контакти, колодки і т.д.) і нанесені тонкі (50 мкм) електропровідні смуги, що використовуються для електричного з'єднання деталей, вузлів, підсилювальних елементів, закріплених на підставці.

Застосування друкованого монтажу зменшує собівартість пристроїв, підвищує надійність, дозволяє автоматизувати монтажно-складальні операції, сприяє мініатюризації радіоелектронної апаратури. При виконанні конструкції пристрою на гібридних і інтегральних схемах, друкована плата використовується для механічного закріплення та електричного з'єднання окремих вузлів.

При розробці конструкції з використанням друкованого монтажу необхідно враховувати методи виготовлення друкованих плат та особливості розміщення інтегральних схем на друкованих платах.

При передачі сигналів через неідеальність сполучних провідників спостерігаються перешкоди та відбиття, які можуть привести до збою в системі. Тому при монтажі необхідно дотримуватися певних правил, особливо при застосуванні швидкодіючих цифрових інтегральних мікросхем (ЦІМ) (наприклад, ТТЛ, ЕЗТЛ, ТТЛШ), перешкоди і відбиття в яких можуть виявитися істотними навіть при міжз'єднаннях у кілька сантиметрів.

Перешкоди можуть виникати внаслідок структурних змін в інтегральних мікросхемах, електромагнітних наведень від зовнішніх і внутрішніх джерел, реакцій ліній передачі сигналів і пульсації на шинах живлення, що виникають в результаті спадання напруги на повному опорі цих шин і джерел живлення від струмів, споживаних при спрацьовуванні цифрових мікросхем. Наведення в лініях передачі сигналів виникають через ємнісні, магнітні та гальванічні зв'язки між ланцюгами живлення та лініями передачі сигналів.

Для зменшення пульсацій, що виникають через індуктивності контурів живлення, необхідно зменшити їхню індуктивність. Із цією метою пари шин, через які проводиться живлення до кожної ЦІМ або в групі ЦІМ, повинні бути включені паралельно, або одна шина в кожній парі повинна бути замінена загальною шиною, виконаною у вигляді провідної площини. Той же ефект, що і при зменшенні індуктивностей контурів живлення, можна одержати, включаючи між шинами живлення так звані фільтруючі або згладжувальні конденсатори ємністю  $C = 1 \dots 10$  нФ типу КЛС або КМ.

Для зменшення наведень через магнітний зв'язок між ланцюгами живлення і лініями передачі сигналів необхідно, щоб провідники, що утворюють ці ланцюги, були ортогональні. Виконати це можна лише в тому разі, коли ланцюги живлення та лінії передачі сигналів не мають спільних проводів, тобто для кожного ланцюга використовується два провідники (вита пара). Однак краще виконати спільний провідник у вигляді провідної площини і розташувати над нею або під нею всі інші провідники. Крім того, монтаж варто вести так, щоб контури ланцюгів живлення не накладалися на контури ліній передачі сигналів. Зменшити магнітні наведення між лініями передачі сигналів можна тільки за рахунок зменшення їх взаємної індуктивності. Досягається це тими ж методами, що і зменшення взаємної індуктивності між лініями передачі сигналів і ланцюгами живлення, тобто за рахунок двухпровідного монтажу або використання в якості загального провідника провідної площини, ортогональної прокладки проводів і зменшення відстані між провідниками одного ланцюга відносно ширини провідників і відстані між провідниками різних ланцюгів.

Залежно від складності принципової схеми і конкретних вимог до габаритів пристрою, зручності заміни, експлуатації, ремонту та інших факторів, компоновання пристрою можна здійснювати двома способами:

- моносхемним, коли принципову схему пристрою розташовують в одній площині, зокрема на одній друкованій платі;
- схемно-вузловим, при якому на одній друкованій платі розташовують лише деяку частину радіоелектронного пристрою, що має чітко виражені вхідні та вихідні параметри.

Моносхемний спосіб характеризується найменшою собівартістю і є самим простим з погляду розрахунку електричних параметрів друкованої схеми, тому що всі елементи в цьому

випадку перебувають перед очима конструктора. Відсутність перехідних з'єднань між окремими каскадами схеми поліпшує електричні параметри пристрою, здешевлює його внаслідок відсутності міжблочних елементів з'єднання і скорочення допоміжних арматур і кріплень та, як правило, зменшує загальну вагу і габарити апаратури. Однак для складних пристроїв моносхемна конструкція може мати більшу довжину, при цьому вона має низьку стійкість до механічних впливів, погану температурну стабільність і низьку стійкість до впливу кліматичних факторів. Тому моносхемним способом виконуються лише вузли і найпростіші субблоки мікроелектронної апаратури.

Схемно-вузловий спосіб характеризується більш високою складністю конструювання і необхідністю застосування досить складних з'єднувачів. Однак при цьому легко вирішується завдання тепловіддачі і зростає ремонтпридатність виробів.

Для визначення способу компонування по відомому числу і типу корпусів, які використовуються у проектованому пристрої, доцільно спочатку розрахувати варіанти розміщення ІС, що здійснюють виходячи з встановлених для мікроелектронної радіоапаратури розмірів друкованих плат і кроків установки на них ІС.

Згідно ОСТ4 ГО.010.009 РЕА на ІС проектують на друкованих платах таких розмірів: 135x110, 135x240, 140x130, 140x150, 140x240, 150x200, 170x75, 170x110, 170x130, 170x150, 175x175, 170x200 мм<sup>2</sup>.

Отже, мінімальна, середня і максимальна площа друкованої плати дорівнює відповідно 12700, 22000 та 34000 мм<sup>2</sup>. ІС встановлюють на друкованій платі, як правило, лінійно-багаторядним способом – паралельними рядами на певних відстанях одна від одної, які називають кроками установки. Рекомендовані кроки установки ІС на друкованих платах залежать від числа задіяних виводів.

Завдання розміщення проектованого пристрою на друкованих платах можна вирішити двома способами. При першому способі принципову схему пристрою на підставі попереднього розрахунку ділять на кілька вузлів і субблоків. При другому способі вибирають друковані плати, а потім розраховують розміщення корпусів на цих платах.

Вибір способу рішення завдання залежить від складності проектованого пристрою. Якщо він має порівняно просту принципову схему, доцільно використати перший спосіб розміщення корпусів. При розміщенні на друкованих платах складних радіоелектронних пристроїв більш зручним виявляється другий спосіб. В обох випадках число друкованих плат повинне бути таким, щоб конструкція радіоелектронного пристрою була зручною в експлуатації та ремонті.

Корпус ІС і націпні елементи на друкованих платах розміщують за допомогою координатної сітки, якою називається прямокутна сітка, що складається з паралельних рівновіддалених прямих ліній, що слугують для розмітки отворів на друкованій платі. Наявність



координатної сітки дозволяє вести перевірочний розрахунок взаємного розташування провідників і отворів, щільності використання поверхні друкованої плати й т.д. Крім того, координатна сітка сприяє чіткій орієнтації напрямків і взаємного розташування друкованих провідників та елементів, що є важливим у випадку, коли від цього залежать електричні параметри друкованої схеми. Зручно розмічати друковану плату в збільшеному масштабі. Основні завдання розробки друкованої плати за допомогою координатної сітки – розмітка монтажних отворів і площадок для установки мікросхем, начіпних елементів, контрольних колодок і кріплення та проектування друкованих провідників для забезпечення електричних зв'язків між елементами принципової схеми.

Основне правило розміщення ІС – необхідність сполучення виводів ІС і монтажних отворів та площадок з вузлами координатної сітки. Для визначення положення перших виводів мікросхем на друкованій платі повинні бути передбачені так звані "ключі".

Монтажні площадки наносяться на друковану плату для закріплення мікросхем за допомогою пайки. Форма монтажних площадок може бути довільною (наприклад, прямокутної, овальної).

При перпендикулярній орієнтації висновків ІС щодо площадки друкованої плати закріплення виводів здійснюється за допомогою монтажних отворів. Діаметри монтажних і перехідних отворів вибирають залежно від діаметра виводів начіпних елементів, а при металізації отворів – і від товщини плати. Не рекомендується на одній друкованій платі застосовувати монтажні і перехідні отвори більше трьох різних діаметрів.

Необхідність зенківки отворів визначається обраним методом виготовлення плати та конструктивно-технічних вимог. Залежність діаметрів монтажних отворів та їх зенківки від діаметрів виводів і товщини плат наведені в табл. 2.1. (всі лінійні розміри дані в міліметрах). При хімічному методі виготовлення друкованих плат отвори виконують без зенківки (у цьому випадку діаметр отворів не залежить від товщини плати). Допуск на міжцентрову відстань між монтажними отворами дорівнює 0,2 мм.

При установці корпусів ІС на друковану плату необхідно дотримуватися технологічних вимог:

1. ІС зі Штирьовими виводами варто встановлювати тільки з однієї сторони друкованої плати та із зазором між корпусом і друкованою платою. При орієнтації корпусів необхідно забезпечувати паралельність більшої сторони корпуса основному напрямку повітряного потоку.

2. ІС у корпусах типу 1 та 2 повинні встановлюватися на друкованій платі з підрізуванням виводів, а в корпусах типу 3 – після формовки (вигину) виводів.

3. ІС у корпусах типу 401.14-1, що мають планарні виводи, необхідно розміщати з однієї сторони друкованої плати. Лише у технічно-обґрунтованих випадках допускається двосторонній монтаж корпусів ІС.

Таблиця 2.1

Діаметр виводу не більше, мм	Діаметр металізованого отвору, мм	Товщина плати не більше, мм	Діаметр неметалізованого отвору,	Діаметр зенківки, мм	Кут зенківки, мм
0,4	0,6	1,2	1,6	0,9	90
0,5	0,8	1,6	-	-	-
0,6	-	-	0,8	1,1	90
0,7	1,0	2,0	-	-	-
0,8	-	-	1,0	1,5	70
1,0	1,5	3,0	1,3	1,8	70
1,2	1,6	3,0	1,5	2,0	70

При розміщенні на друкованих платах цифрових ІС необхідно додатково враховувати:

- ІС, що виконує операцію АБО, і поєднані нею ІС повинні знаходитися на одній друкованій платі;

- інвертори, що перемикають одночасно, варто розміщати у різних корпусах і підключати по можливості до різних шин живлення;

- в незадіяних у пристрої логічних схемах ТА-НІ і ТА-АБО-НІ і складних функціональних вузлах один вхід необхідно заземлювати;

- незадіяні входи працюючих схем ТА-НІ і ТА-АБО-НІ необхідно поєднувати з робочими входами у всіх випадках, коли в схеми, що навантажуються, коефіцієнт розгалуження не перевищує припустимого значення;

- входи логічних схем, на яких повинна постійно подаватися логічна 1, можна через резистор з опором порядку 1 кОм з'єднувати з шиною живлення, причому через один такий резистор до шини живлення можна підключити до 10-15 входів.

Начіпні елементи встановлюють на місці, що відводиться для розміщення ІС, з боку їхнього розміщення. При двосторонньому монтажі начіпні елементи розташовують на одній стороні з елементами електричної комутації.

Начіпні елементи, що мають більшу масу (наприклад, трансформатори) для зменшення механічних перевантажень плат варто розташовувати так, щоб їхні центри ваги перебували поблизу точок кріплення друкованих плат. Якщо число начіпних елементів досить велике і розміри їх помітно перевищують розміри корпусів ІС, допускається застосовувати об'ємно-площинний метод компоновання субблоків, при якому мікросхеми групуються в окремі вузли,

висота яких порівнянна з висотою начіпних елементів. Іноді великогабаритні начіпні елементи доцільно виділяти в окремі вузли та субблоки.

Після розмітки розміщення ІС, начіпних елементів, контрольних колодок та елементів кріплення вирішується завдання забезпечення на друкованій платі електричних зв'язків між елементами принципової схеми. При цьому також використовується координатна сітка. На кресленні із зображенням координатної сітки, де вже зазначене розміщення всіх елементів принципової схеми та контрольних колодок, конструктор розмічає оптимальне розташування друкованих провідників. При виконанні цієї роботи варто враховувати, що на електричні параметри схеми великий вплив має форма друкованих провідників, їхня довжина та взаємний розподіл. При проектуванні провідників варто дотримуватися рекомендацій:

- провідники, що з'єднують між собою електрично зв'язані елементи схеми, повинні бути по можливості коротшими;

- для зменшення паразитних зв'язків не слід прокладати паралельно один одному вхідні та вихідні друковані провідники одного каскаду;

- провідники вхідних високочастотних ланцюгів варто прокладати в першу чергу, вони повинні бути максимально короткими;

- друковані імпульсні ланцюги повинні бути мінімальної довжини та ширини та віддалені, наскільки це можливо, від інших ланцюгів, особливо від заземлених по змінному струму;

- провідники вхідних і вихідних ланцюгів, зведені в систему для приєднання до крайового з'єднувача, доцільно розділити екрануючими провідниками або заземленими виходами;

- система заземлених шин повинна мати мінімально можливу власну індуктивність. Заземлюючі провідники, по яких течуть сумарні струми всіх ланцюгів, варто виготовляти максимально можливої ширини, вони повинні займати все вільне від сигнальних провідників місце;

- паразитний вплив одних ланцюгів друкованої плати на інші можна зменшити, відокремлюючи їх друкованими екранами, які рекомендується виконувати не суцільними, а сітчастими;

- при двосторонньому розташуванні друкованої схеми необхідно уникати прокладки аналогічних провідників з обох сторін друкованої плати паралельно один одному;

- при виготовленні особливо довгих друкованих провідників (більше 70 мм) доцільно передбачати додаткові монтажні площадки та отвори, що сприяють більш надійному кріпленню та у випадках, коли немає можливості уникнути різкої зміни напрямку прокладки провідників;

– якщо не вдається побудувати плату без перетинань друкованих провідників, можна застосовувати фальш-деталі (перемички). Але їх загальна кількість не повинна перевищувати 15 % загального числа провідників. При невиконанні цієї умови з одностороннього монтажу варто перейти на двосторонній або багат шаровий друкований монтаж. Доцільно на одній стороні або в одному шарі розташовувати всі ланцюги живлення схеми, а на іншій – сигнальні ланцюги;

– мінімальна відстань між краями двох близько розташованих отворів у жодному разі не повинна бути менше товщини матеріалу плати.

Друковані провідники мають ширину, як правило, від 0,3 до 1,5 мм. На форму, довжину та розташування друкованих провідників накладається ряд технологічних обмежень:

– максимальна довжина провідника не повинна перевищувати 3 м;

– осі симетрії провідників необхідно сполучати з лініями координатної сітки. Напрямки провідників варто змінювати під кутом  $45^\circ$  до ліній сітки посередині між цими лініями;

– не повинно бути різких перегинів друкованих провідників, гострих кутів і переходів. Плавний перехід усуває місцеві перенапруження і тим самим компенсує різницю в теплових деформаціях фольги та діелектрика. Радіус переходу повинен бути не меншим за подвійну ширину провідника для провідників шириною до 0,5 мм і не меншим 1 мм для всіх інших;

– мінімальна відстань від краю друкованої плати або до краю будь-якого отвору, крім монтажних, повинна бути рівною товщині друкованої плати. Практично в більшості випадків цей розмір збільшують і роблять рівним кроку координатної сітки;

– провідники шириною більше 2,5 мм рекомендується розділяти на два і більше провідника, тому що "розрізані" провідники краще перешкоджають поширенню в них паразитних струмів, наведених зовнішніми полями.

Для екранування пристрою від електричних впливів у друкованих платах, застосованих для високочастотних блоків, по периметру створюють замкнуту металізовану рамку, з'єднану з корпусом блоку. Окремі каскади розділяють друкованими провідниками заземлення з боку установки мікросхем. Як захисний екран можна використати металеві ковпачки. Електричний захист із боку плат здійснюється друкованими гратчастими екранами (розмір щілин повинен бути менше чверті довжини хвилі). Для збільшення провідності екранів їх сріблять. З'єднання екранів з корпусом повинні бути надійними. Для підвищення завадостійкості пристрою кожне джерело живлення поблизу роз'ємів шунтують конденсатором ємністю порядку одиниць мікрофард. У багат шаровій друкованій платі провідники розподіляють по шарах залежно від їхньої функції. Так, наприклад, провідники живлення зосереджують у двох сусідніх шарах один під іншим.

У підсумку конструкторсько-технологічної частини необхідно створити ескізи розміщення основних фрагментів схеми пристрою, дати загальну структуру друкованої плати

або декількох плат, виробити рекомендації з конструкції пристрою в цілому, його передньої панелі та органів керування та індикації.

#### 2.5.6. Аналіз параметрів і похибок пристрою

У результаті проектування отримані схемні та конструктивні рішення можуть не точно забезпечувати задані технічні характеристики. Крім того, можливе їх відхилення в припустиму або неприпустиму сторону при зміні температури або в діапазоні впливів сигналів, незаданих по технічному завданню.

Для того щоб знати реальні значення цих параметрів необхідно виконати їх розрахунок з урахуванням зв'язку каскадів між собою та конструктивних особливостей. Такий розрахунок можна виконати аналітично, або за допомогою схемотехнічних САПР (наприклад, P-CAD, PSpice, OrCAD або ін.) Для цього необхідно використати моделі транзисторів і діодів, а також макромоделі ІС. Проводиться аналіз схеми в статиці, у часовій або частотній областях і визначаються необхідні параметри. Особливо це важливо для вимірювальних схем. У випадку невеликих відхилень від технічного завдання треба оптимізувати схему шляхом підбору окремих компонентів. При більших відхиленнях від технічного завдання необхідно або обґрунтувати їх, або виконати проектування іншого варіанту пристрою. Для аналізу похибок необхідно визначити джерела похибок і по заданим впливам температури, напруги живлення та ін. знайти відхилення основних параметрів пристрою і порівняти їх із припустимими.

#### 2.5.7. Висновки

На закінчення пояснювальної записки необхідно проаналізувати отримані результати, дати рекламну характеристику пристрою, відзначити недоліки та область обмеження на умови експлуатації. Доцільно вказати напрямки вдосконалювання пристрою.

## 2.7. Графічна частина курсового проекту

Графічна частина курсового проекту містить у собі креслення структурної, принципової схеми та друкованої плати, а також рисунки в тексті пояснювальної записки.

Схема – графічний конструкторський документ, на якому показані у вигляді умовних зображень або позначень складові частини приладу та зв'язок між ними. Схеми входять в комплект конструкторської документації і містять, разом з іншими документами, необхідні дані для проектування, виготовлення, збирання, регулювання, експлуатації виробів.

Схеми призначені: на етапі проектування – для виявлення структури майбутнього приладу при наступній конструкторській проробці; на етапі виробництва – для ознайомлення з конструкцією виробу, розробки технологічних процесів виготовлення та контролю деталей; на етапі експлуатації – для виявлення несправностей і використання при технічному обслуговуванні.

Креслення виконуються відповідно до ГОСТ 2.702-75. На рисунках у тексті пояснювальної записки зображуються:

- функціональні схеми для розроблювального пристрою та пристроїв-прототипів;
- структурна схема розроблювального пристрою;
- принципові схеми окремих каскадів, що розраховують;
- схеми алгоритмів роботи пристрою або програм;
- часові діаграми;
- вольт-амперні характеристики дискретних компонентів;
- таблиці параметрів мікросхем;
- допоміжні графіки для розрахунку та ін.

Рисунки блок-схем (функціональних та структурних), а також фрагменти принципових схем необхідно виконувати відповідно до вимог ЄСКД. Інші рисунки можуть виконуватися у вигляді ескізів, що задовольняють вимогам щодо якості ліній і написів.

### 2.7.1. Структурна та функціональна схема пристрою

**Структурна схема** пристрою відображає основні функціональні частини виробу, їх призначення та взаємозв'язки. Функціональні частини на схемі зображають у вигляді прямокутників або умовних графічних позначень. Графічна побудова схеми повинна давати

найбільш наочне уявлення про послідовності взаємодії функціональних частин у виробі. На лініях взаємозв'язків рекомендується стрілками позначати напрямок ходу процесів, що проходять у виробі.

На схемі повинні бути зазначені найменування кожної функціональної частини виробу, якщо для її позначення застосований прямокутник. При позначенні функціональних частин у вигляді прямокутників найменування, типи та позначення рекомендується вписувати всередину прямокутників. При великій кількості частин допускається замість найменувань, типів і позначень проставляти порядкові номери праворуч від зображення або над ними.

На схемі допускається поміщати пояснювальні написи, діаграми або таблиці, що визначають послідовність процесів у часі.

Основні ланцюги рекомендується, за можливості, розташовувати горизонтально, а допоміжні – вертикально або горизонтально між основними ланцюгами.

**Функціональні схеми** більш детально відображають функціональні частини виробу (елементи, групи елементів, мікрозборки, ВІС), процеси, які відбуваються в функціональних ланцюгах або в пристрої в цілому, їхній зв'язок з виділенням послідовності процесів, що відбуваються в ланцюзі. Ці схеми використовуються при дослідженні принципів роботи виробу, його налагодженні, контролі та ремонтуванні.

Функціональні частини та зв'язки між ними на схемі зображують у вигляді умовних графічних позначень, установлених у стандартах ЄСКД. Окремі функціональні частини допускається зображати у вигляді прямокутників.

Графічна побудова схеми повинна давати найбільш наочне уявлення про послідовність процесів, які вона ілюструє.

Для позначення блоків функціональної схеми можна використати ДСТУ чи робити відповідні написи усередині блоків. При цьому на окремих блоках або на всіх указують тип і позначення документа, на підставі якого застосований елемент, позиційне позначення і найменування на принциповій схемі, основні технічні характеристики (наприклад, частоти роботи), інші пояснювальні написи, діаграми або характеристики.

### 2.7.2. Виконання креслення принципової схеми

Принципова електрична схема визначає повний склад елементів та зв'язки між ними, та дає детальну уяву щодо принципів роботи виробу. На принциповій схемі зображують всі електричні елементи або пристрої, необхідні для здійснення контролю у виробі заданих

електричних процесів, всі електричні зв'язки між ними, а також електричні елементи (роз'єми, зажими та т.і.), якими закінчуються вхідні та вихідні ланцюги. Допускається зображувати сполучні і монтажні елементи, встановлені у виробі з конструктивних міркувань.

Схеми виконують для виробів, що перебувають у відключеному положенні. Елементи на схемі зображують у вигляді умовних графічних позначень, установлених в ЄСКД. Елементи, частково використані у виробі, допускається зображувати на схемі неповністю, обмежуючись зображенням тільки використаних частин. Схеми виконують без врахування дійсного просторового положення частин виробу і без додержання масштабу. Замість графічних позначень можуть бути зображені прямокутники з відповідними поясненнями на полі схеми.

Стандартні умовні графічні позначення елементів повинні мати розміри, вказані у відповідних стандартах. Якщо розміри стандартом не встановлені, то графічні позначення на схемі повинні мати такі ж розміри, як їх зображення в стандарті. Допускається всі умовні графічні позначення пропорційно збільшувати (при вписуванні в них пояснюючих знаків) або зменшувати (відстань між двома сусідніми лініями при цьому повинна бути не менше 1,0 мм).

Умовні графічні позначення виконують лініями тієї товщини, що і лінії зв'язку. Лінії зв'язку виконують товщиною від 0,2 до 1,0 мм. Оптимальна товщина 0,3-0,4 мм. Якщо в умовних графічних позначеннях є потовщені лінії, то їх виконують товстіше лінії зв'язку в два рази.

Умовні графічні позначення елементів зображують на схемі в положенні, в якому вони приведені у відповідних стандартах, або повернутими на кут, кратний  $90^\circ$ . Допускається умовне графічне позначення повертати на кут, кратний  $45^\circ$ , або зображувати дзеркально повернутим. Позначення, яке вміщує літерні, цифрові або літерно-цифрові символи, допускається зображувати повернутими проти годинникової стрілки тільки на кут  $90^\circ$  або  $45^\circ$ .

Елементи та пристрої зображують сполученим або рознесеним способом. При сполученому способі складові частини елементів або пристроїв зображують на схемі в безпосередній близькості одна до одної. При рознесеному способі складові частини елементів та пристроїв зображують у різних місцях таким чином, щоб окремі ланцюги виробу були зображені якнайбільш наочно. Рознесеним способом допускається зображувати всі окремі елементи або пристрої.

На принциповій схемі повинні бути однозначно визначні всі елементи, що входять до складу виробу і зображені на схемі. Дані про елементи повинні бути записані в перелік елементів. При цьому зв'язок переліку з умовними графічними позначеннями елементів повинен здійснюватися через позиційні позначення.



Характеристики вхідних і вихідних ланцюгів виробу, а також адреси їхніх зовнішніх підключень рекомендується записувати в таблиці, що поміщають замість умовних графічних позначень вхідних і вихідних елементів (роз'ємів, плат та ін.)

Розроблена принципова схема являє собою конструкторський документ. Основний напис цього документа виконується строго відповідно до ГОСТ 2.104-68.

Схеми рекомендується виконувати рядковим способом; умовні графічні позначення пристроїв та їх складових частин, що входять в один ланцюг, зображують послідовно один за одним по прямій, а окремі ланцюги – поруч у вигляді паралельних горизонтальних або вертикальних рядків.

Допускається зливати в одну лінію кілька електрично не зв'язаних ліній зв'язку. При цьому на обох кінцях лінії виводи позначають однаковими номерами або написами.

На схемі вказують характеристики вхідних ланцюгів виробів (частоту, напругу, силу струму, опір і т.п.), а також параметри, що підлягають вимірюванню на контрольних контактах, гніздах і т.п.

Характеристики вхідних ланцюгів вносяться в таблиці, які можуть відповідати рознімним з'єднувачам блоків і відігравати допоміжну роль, якщо розглядається фрагмент загальної принципової схеми. У цих таблицях у порядку зростання вказуються номери контактів, характеристика ланцюга. Крім цього може вказуватися або ні адреса зовнішнього з'єднання. Наприклад, адреса "А – X2:5" означає, що вихідний контакт повинен бути з'єднаний з п'ятим контактом другого з'єднувача пристрою А. Якщо адреси не зазначені, те повинна бути наведена окрема схема зв'язків з'єднувачів.

Кожен елемент схеми повинен мати літерно-цифрове означення: літерне означення представляє собою скорочене найменування елемента, складене з його початкових або характерних літер; після літерного позначення проставляють порядковий номер елемента. Порядковий номер встановлюється у межах групи елементів (пристроїв), яким на схемі присвоєно однакове літерне позиційне позначення.

Порядкові номери присвоюють елементам по напрямку зверху вниз і зліва направо (може бути зміна, якщо потік робочого середовища йде в іншому напрямку). Літерно-цифрові позначення проставляють поряд з елементами справа або над ними. Букви і цифри виконують одним номером шрифту.

Відповідно до ГОСТ 2.710-81 літерні позначення мають один або два символи. Найпоширеніші позначення: (R - резистор, PR - потенціометр, VR - варистор, С - конденсатор, L - котушка індуктивності, Т - трансформатор, В - перетворювачі неелектричних величин в електричні (датчики), VD - діоди, стабілітрони, VL – прилад електровакуумний, VT - транзистор, VS - тиристор, DA - аналогова ІС, DD - цифрова ІС, DS – пам'ять, DT - пристрій

затримки, G - генератори, джерела живлення, HG - індикатор символний, HL - прилад світлової сигналізації, HA - прилад звукової сигналізації, KA- реле струму, P - прилади вимірвальні, S - вимикачі, X – з'єднання контактні, XS - гнізда, запобіжники).

Всі відомості про елементи, що входять до складу виробу і зображених на схемі, записують у перелік елементів, що поміщають на окремому аркуші у вигляді самостійного документа – специфікації. У графі "Поз. позначення" – позиційне позначення елемента або пристрою, "Найменування" – найменування елемента відповідно до документа, на основі якого цей елемент використаний (ДСТУ, ТУ). У графі "Кількість" вказується кількість однотипних елементів, у графі "Примітка" – технічні дані, що не містяться в його найменуванні, а також номери преїскурантів та цінників (див. додаток В).

Елементи принципів схем зображують відповідно до державних стандартів, як правило, у масштабі 1:1 (як виняток можна використовувати масштаб 2:1). Розташовувати елементи треба рівномірно та економно. Вхід схеми розташовується в лівому верхньому куті, вихід – праворуч. Подача живлення та зовнішніх сигналів здійснюється через рознімні з'єднання. Повторювані фрагменти схеми позначають у вигляді прямокутників, для одного з яких представлена внутрішня принципова схема, а інші в зменшеному розмірі – порожні та мають однакові з першим позначення, але з іншим порядковим номером, наприклад А1-1, А1-2 і т.д.

Лінії зв'язку повинні складатись із горизонтальних і вертикальних відрізків, мати мінімальне число перетинів та зломів. Відстань між сусідніми паралельними лініями зв'язку повинна бути не менше 3 мм.

Допускається обривати лінії зв'язку, якщо вони ускладнюють читання схеми. В цьому випадку лінії зв'язку, які переходять на інший аркуш схеми, обривають за межами зображення схеми. Поряд з обривом лінії вказують позначення або найменування лінії зв'язку і в круглих дужках приводять номер аркуша схеми, на який переходить лінія зв'язку. Допускається літерне, цифрове або літерно-цифрове позначення ліній зв'язку.

На схемах допускається розміщувати різні технічні дані, характер яких визначається призначенням схем. Їх розміщують або біля умовних графічних позначень (номінальні значення параметрів), або на вільному полі схеми, над основним надписом (діаграми, таблиці, текстові вказівки).

Електричні схеми для виробів цифрової обчислювальної техніки виконуються відповідно до ГОСТ 2.751-73, 2.702-75, 2.708-81, 2.743-82.

Схеми цифрової обчислювальної техніки креслять на аркушах, розбитих на стовпці, ряди і зони. Розбивку провадять вгорі та ліворуч, а самі вертикальні і горизонтальні лінії можуть не зображуватися або зображуються пунктиром. Ширина та висота колонок повинна бути рівною

ширині і висоті мінімального основного поля умовного графічного позначення елемента і звичайно кратне 5 мм. Позначення стовпчиків виконують порядними номерами з постійною кількістю знаків, наприклад 00,01, 02,..., а ряди - буквами А, В, С, ... . Тому зона має подвійне позначення, наприклад, В01, С02, ..., і т.д.

За великої графічної насиченості допускається розривати деякі лінії зв'язку. При цьому на кінцях обривів треба давати ідентичні позначення, а в дужках указати зону обриву на кресленні. Елементи цифрових схем мають відповідні позначення. Аналогічно виводи елементів цифрових схем також мають свої позначення.

В основному полі умовного графічного позначення цифрового елемента розміщують інформацію в кілька рядків:

у рядку 1 - символ функції;

у рядку 2 - повне або скорочене найменування елемента;

у рядку 3 - буквено-цифрове позначення або порядковий номер елемента, адресне позначення елемента.

Функціональні групи, що складаються з декількох елементів, дозволяється зображувати сполученим способом. При цьому окремі логічні елементи відокремлюють один від одного штриховими лініями.

На полі структурних, функціональних і принципівих схем допускається приводити таблиці сигналів, у яких указують інформацію, необхідну для простежування сигналів. Форма таблиці сигналів довільна. У таблицях указують найменування сигналу і його порядковий номер, позначення контакту, додаткову інформацію.

Умовні графічні позначення елементів аналогової техніки встановлюють ГОСТ 2.743-62, ГОСТ 2.750-62. Позначення покажчиків виводів та елементів аналогічні позначенням у цифровій техніці.

### 2.7.3. Виконання друкованої плати

У зв'язку з тим, що друкований монтаж – один з основних видів монтажу, а друкована плата при цьому являє собою одну з найпоширеніших деталей конструкції, у якості деталірувального креслення в курсовому проекті виконується креслення друкованої плати. Воно може бути виконане на друковану плату, що є основою всього проектного виробу, на базі якої збираються окремі функціональні вузли в готовий пристрій.

Креслення друкованої плати варто виконувати відповідно до ГОСТ 2.109-68 і ГОСТ 2.417-78 з урахуванням обраної технології виготовлення друкованої плати та загального конструктивного рішення пристрою.

Друковані плати звичайно виконуються з координатною сіткою в прямокутній системі координат. Крок координатної сітки визначається за ГОСТ 19317-62, за початок координат приймають центр крайнього нижнього отвору, у тому числі технологічного; при цьому вказують відстані цього отвору відносно ліній побудови плати.

Координатна сітка наноситься тонкими суцільними лініями. При більшій частоті ліній рекомендується збільшити товщину кожної п'ятої і десятої лінії. Для розрізнення сітки допускається наносити лінії через одну, але в технічних умовах про цьому повинна бути зроблена відповідна вказівка, наприклад, "Лінії сітки умовно нанесені через одну".

Координати монтажних контактних отворів задають одним зі способів:

указання розмірів, координат у міліметрах відповідно до ГОСТ 2.307-66;

нумерація отворів із занесенням розмірів і координат по осях X та Y в міліметрах у таблицю;

нумерація ліній координат сітки.

Якщо на друкованій платі зображена велика кількість отворів та їхні координати зазначені в таблиці, рекомендується на кресленні приводити додатковий вид без зображення провідників і координатної сітки, над яким робиться напис: "Вид без провідників". Всі розміри механічної обробки наносяться на цьому виді.

Друковані провідники, екрани, контактні площадки та інші друковані елементи на зображенні друкованої плати штрихують. Провідники, ширина яких на кресленні менше 2 мм, зображуються суцільною лінією, рівною приблизно подвоєній товщині контурних ліній. Провідники, ширина яких на кресленні більше 2 мм, якщо їхня дійсна ширина обумовлена в технічних вимогах, також можуть зображуватися суцільною потовщеною лінією. Контактні площадки, що примикають до провідників, зображених суцільною лінією, не штрихують.

На кресленні друкованої плати контактні отвори, у тому числі ті, що мають zenківку, зображують однією окружністю. Другою концентричною окружністю зображують контактні площадки круглої форми та площадки, форма яких не задана кресленням і визначається при виготовленні друкованої плати. В останньому випадку розміри окружностей визначають мінімальні розміри контактних площадок. Якщо відстань між лініями на зображенні менше 2 мм, проміжок між окружностями не штрихують.

Ділянки плати, які не допускається займати провідниками, на кресленні обводять стовщеною штрихпунктирною лінією. Позначення матеріалів, що наносяться на друковану

плату, вказують у технічних вимогах, а матеріали підстави плати – у графі 3 основного напису креслення.

На полі креслення друкованої плати наводять технічні вимоги, групуючи однорідні і близькі по характеру вимоги в такій послідовності: спосіб виготовлення друкованої плати; позначення матеріалу струмопровідного шару або ізоляційних ділянок і товщину шару; крок координатної сітки; припустимі відхилення обрису провідників, контактних площадок та інших друкованих елементів від заданих кресленням; ширина друкованих провідників; найменша відстань між провідниками; вимоги до підрізування та зсуву контактних площадок; вказівки про покриття відповідно до вимог ГОСТ 2.310-68; вказівки про маркірування та таврування відповідно до вимог ГОСТ 2.314-68.

На кресленні друкованої плати позиційні позначення елементів доцільно наносити відповідно до принципової електричної схеми, знаки допоміжного маркування розташування начіпних елементів, указувати сторону установки начіпних елементів написом, поміщеним над зображенням.

Наприклад:

Допуски на міжцентрові розміри - 0,1 мм.

Друкований монтаж виконати по РШ. 0.50.000.

Ширина провідників 1 - 0,5 мм.

Відстань між провідниками не менше 0,6 мм. Пунктирні лінії, цифри та маркування плати наносити емаллю ЦХПТУ 520-54. Ширина ліній 1 мм.

Друковані провідники сріблити, товщина шару 10 мкм.

Креслення одношарової друкованої плати називають "Плата друкована", креслення шару багатшарової плати - "Шари багатшарової друкованої плати".

В деяких випадках можна представити креслення друкованого вузла – друкованої плати з начіпними елементами. Це креслення повинне давати повне уявлення про начіпні елементи та інші деталі, їх розташування та установку на платі, а також про нумерацію вихідних контактів, умовні позначення виводів приладів. Начіпні елементи зображують умовно, якщо це не заважає правильному розумінню креслення.

Трасування друкованих плат і виконання креслень варто виконувати автоматизованим способом за допомогою конструкторських САПР, для цього використовуються спеціальні алгоритми трасування, що дозволяють оптимізувати розміщення елементів. У курсовому проекті доцільно застосовувати ручний спосіб трасування виходячи з навчальних цілей та проблем, що виникають при здійсненні даної роботи. Тим не менш, допускається використання стандартних або самостійно розроблених програм.

### 3. ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРАМИ ORCAD ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ СХЕМ

OrCAD – система програмних продуктів, визнана у світі стандартом для розробки електронних схем. Він допомагає інженеру у тому, що називають solution design flow – “потокове вирішення задачі”. В систему OrCAD входять програми-модулі, які допомагають швидко і якісно виконати все необхідне розробнику електронних схем під час роботи.

OrCAD Capture – модуль для креслення схем, розміщення та поєднання елементів, моделі яких згодом включаються до матриці схеми, задавання видів та параметрів вхідних сигналів, підготовки різних видів аналізу, створення нових моделей компонентів.

PSpice (PSpice A/D) – модуль для проведення аналізу та моделювання роботи аналогових та цифрових електронних схем: аналіз по постійному струму, аналіз у часовій та частотній області, аналіз чутливості, шумовий, параметричний та температурний аналіз, аналіз Монте-Карло та найгіршого випадку.

OrCAD Layout – модуль для розміщення електронних компонентів на платі та розводки плат.

#### 3.1. Створення нового проекту схеми

Для створення нового проекту необхідно запустити програму **Capture**. В меню **File** необхідно обрати **New>Project**, розмістити файл проекту його у необхідному каталозі та дати йому ім'я. Треба створити проект типу **Analog or Mixed A/D**, це дасть можливість легко моделювати роботу аналогових та цифрових схем у модулі **PSpice** та передати проект у **OrCAD Layout** для створення друкованої плати. У наступному вікні треба обрати **Create a blank project** (при цьому бібліотеки компонентів не будуть зконфігуровані для даного проекту).

Після цього з'являться вікна Менеджера проекту та вікно Редактора схем.

Для додавання елементів до схеми необхідно обрати меню **Place>Part**. Спочатку необхідно обрати у списку та додати до проекту бібліотеку, в якій знаходиться необхідний компонент. Потім зі списку компонентів треба обрати потрібний та натиснути ОК. Силует компонента буде зображено біля курсору; для встановлення його на кресленні схем треба натиснути ліву кнопку, для припинення – праву кнопку та обрати **End Mode**.

Резистори, конденсатори – знаходяться в бібліотеці **ANALOG**;

Джерела постійної та змінної напруги та струму – **SOURCE**;

Операційні підсилювачі – **AMPLIFIER** та **OPAMP**;

Транзистори – **TRANSISTOR**.

Для розміщення символу землі необхідно обрати меню **Place>Ground**. В кожній схемі обов'язково повинен бути присутній символ землі «0», який знаходиться в бібліотеці **SOURCE**.

Приклад креслення схеми, на якому розміщено всі необхідні компоненти, наведено на рис. 3.1. Для з'єднання елементів необхідно обрати меню **Place>Wire**. На початку креслення провідника треба натиснути лівою кнопкою один раз, для закінчення або повороту провідника – другий раз.

Для задавання значень величин компонентів необхідно двічі натиснути на номіналі та ввести необхідну величину. Приклад зібраної схеми наведено на рис. 3.2.

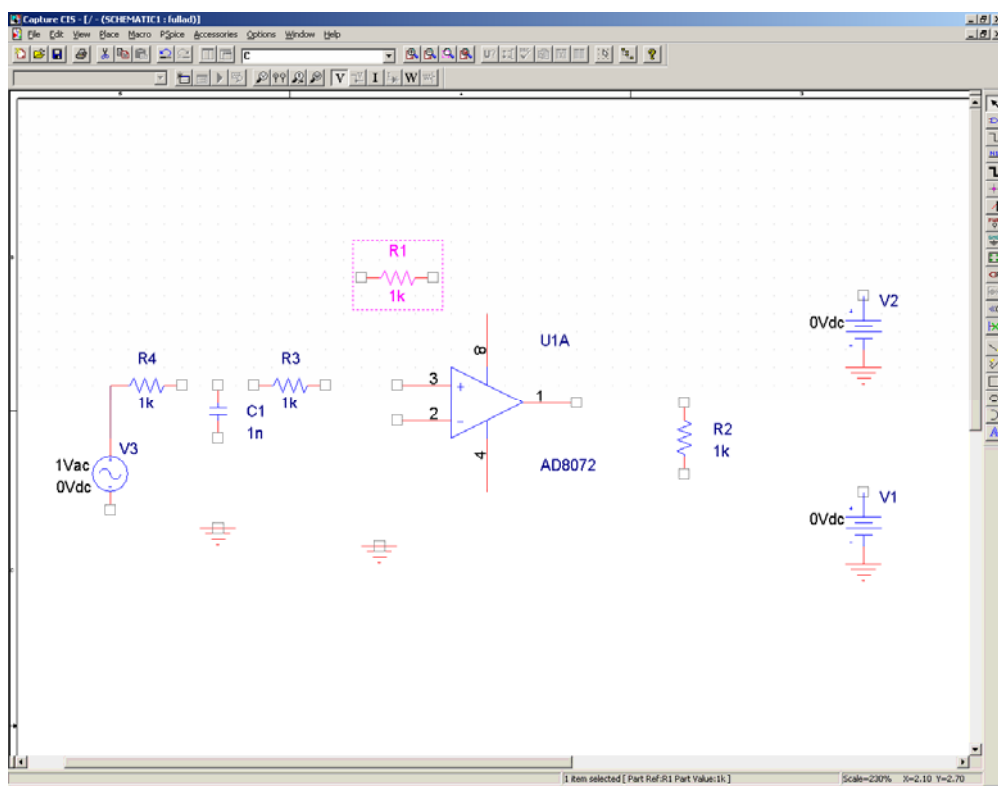


Рисунок 3.1

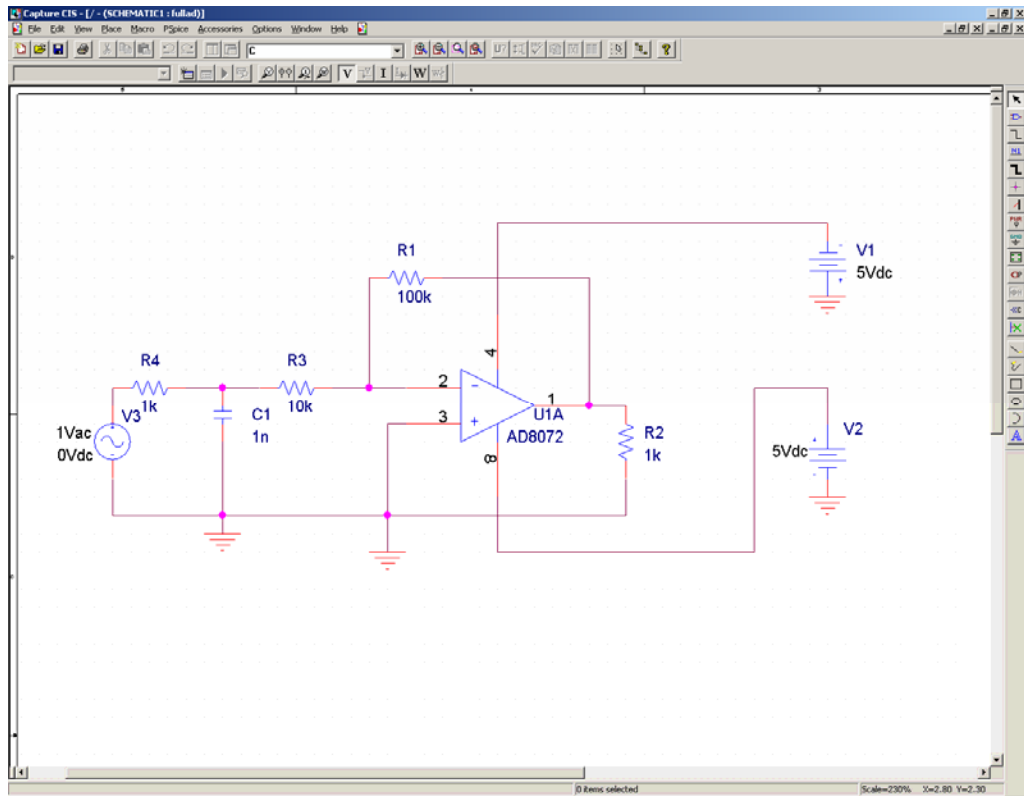


Рисунок 3.2

### 3.2. Підготовка аналізів та розводки плати

Після того, як створено схему, необхідно додати до проекту дані щодо подальших задач проектування: аналізу роботи схеми, розміщення елементів на платі та розводки плати.

Для того, щоб мати можливість передати проект до **OrCAD Layout** для пакування елементів в корпуси, необхідно пересвідчитись, що всі елементи мають унікальні назви компонентів (**part reference**). Зазвичай **OrCAD Capture** виконує це автоматично.

Необхідно також сформувати звіт про перехресні посилання для поточного проекту – **cross reference report**, який містить назву компонента, його унікальний ідентифікатор та бібліотеку, з якої від був взятий. Для цього необхідно перейти в вікно **Project Manager**, обрати **Tools>Cross References>Cross reference entire design**.

Необхідно також згенерувати список матеріалів, які будуть необхідні для створення електричної схеми. Для цього у вікні **Project Manager**, обрати **Tools>Bill of Materials**.

Для того, щоб можна було передати проект до **OrCAD Layout** для розміщення компонентів на платі та розводки плати, необхідно задати параметри корпусів для кожного компонента в схемі.



Для цього необхідно натиснути праву кнопку на зображенні компонента та обрати **Edit Properties**. У вікні **Filter** треба обрати **Orcad-Layout** та змінити параметр **PCB Footprint** на необхідний, якщо це потрібно.

Після закінчення проекту рекомендується перевірити правильність за допомогою функції **Tools>Design Rule Checks**, яка дозволить виявити можливі помилки в схемі та налаштуваннях.

### 3.3. Моделювання роботи схеми

Для того, щоб виконати моделювання схеми за допомогою **PSpice**, необхідно задати профіль моделювання. Для створення нового профілю необхідно перейти до вікна **Capture**, меню **PSpice>New Simulation Profile**, та дати йому ім'я. Після цього у вікні налаштувань **Simulation Settings** для аналізів необхідно задати параметри бажаного аналізу для схеми. В системі **PSpice** можливо виконати такі види аналізу схеми:

**Аналіз за постійним струмом** – розрахунок робочої точки для значень джерел струму або напруги, глобального параметра, параметра моделі певного компонента або температури.

**Аналіз чутливості** – дозволяє визначити чутливість вузлової напруги в схемі до змін параметрів елементів схеми.

**Аналіз в частотній області** – отримання частотних характеристик схеми.

**Шумовий аналіз** – дозволяє розрахувати шумову складову будь-якої вузлової напруги, яка спричинена всіма елементами схеми, сумарний вихідний та еквівалентний вхідний шум.

**Аналіз в часовій області** – дослідження часових залежностей напруг та струмів в схемі.

Також існують температурний аналіз, аналіз Монте-Карло, параметричний аналіз та аналіз найгіршого випадку.

Для налаштувань аналізу схеми потрібно у вікні **Simulation Settings** перейти до закладки **Analysis** (рис. 3.3).

Якщо потрібно виконати моделювання роботи схеми в часовій області, треба у віконці **Analysis Type** обрати **Time Domain (Transient)**. Треба задати параметри: **Run to time** – момент часу в секундах, до якого **PSpice** буде виконувати розрахунки струмів та напруг у схемі; **Start saving data after** – момент часу, починаючи від якого дані розрахунків будуть збережені та їх можна буде вивести на екран; **Maximum step size** – обмеження зверху кроку чисельного інтегрування рівнянь, якими описується робота схеми (використовується для випадків, коли є ризик пропустити під час інтегрування швидкоплинні зміни напруг та струмів).

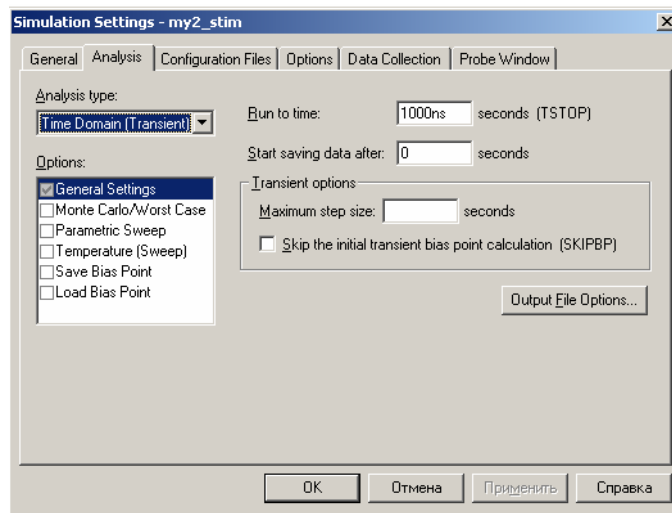


Рисунок 3.3

Якщо треба виконати моделювання роботи схеми на змінному струмі, зокрема, аналіз частотних властивостей, то треба у віконці **Analysis Type** обрати **AC Sweep/Noise** (рис. 3.4). Для отримання АЧХ та ФЧХ схеми треба обрати вид зміни значень частоти: **Linear** лінійна зміна значень частоти в заданому діапазоні, **Logarithmic** – логарифмічна зміна (**Octave** – значення сусідніх точок будуть відрізнятися вдвічі, **Decade** – значення будуть відрізнятися вдесятеро) **Start Frequency** – початок діапазону частот для розрахунків, **End Frequency** – верхня границя проміжка частот, для якого буде розрахована частотна характеристика, **Points** – кількість значень частоти, які будуть розраховані у відповідному діапазоні частот.

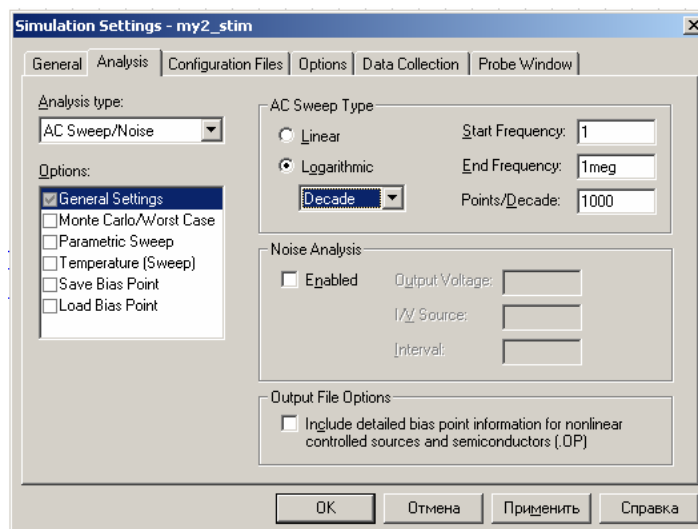


Рисунок 3.4

Для проведення обраного аналізу необхідно перейти в меню **PSpice>Run**. Після цього буде автоматично створено список вузлів, почнеться моделювання схеми, а після його закінчення буде запущено **PSpice**. Для виводу на екран графіків розрахованих залежностей

необхідно у вікні **PSpice** перейти в меню **Trace>Add trace**, а потім вибрати необхідні величини зі списку у вікні **Add Traces** (рис. 3.5). В списку наведені струми через виводи, вузлові потенціали та розсіювана на елементі потужність. Нумерація виводів: лівий або нижній вивід двополюсника має номер 1, верхній або правий – 2. Для того, щоб побудувати на графіку деяку функцію від розрахованих змінних (наприклад, залежність падіння напруги на елементі від частоти, АЧХ, ФЧХ), треба задати математичний вираз в рядку **Trace Expression**; можна також користуватися функціями з переліку **Functions or Macros**.

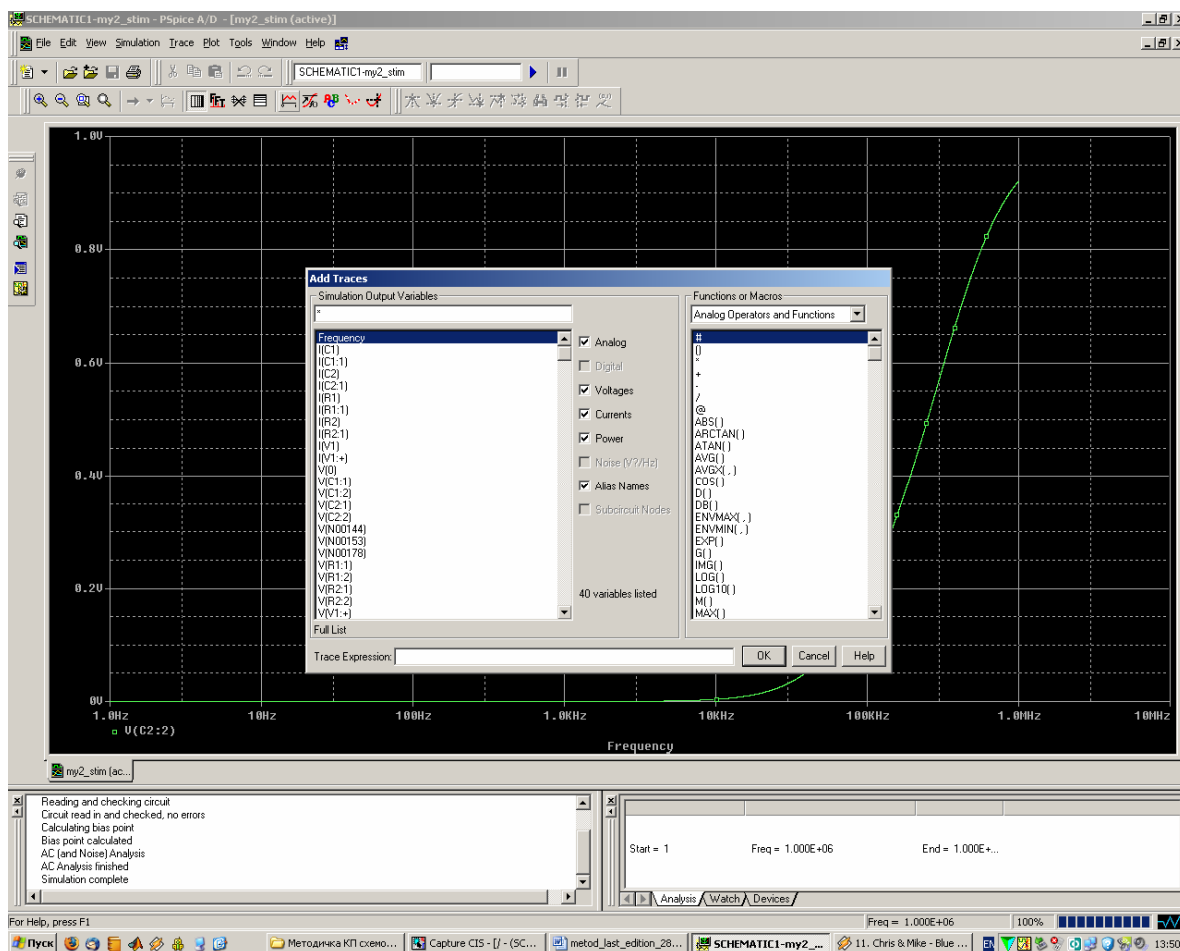


Рисунок 3.5

### 3.4. Розробка друкованої плати

Для того, щоб передати проект з **OrCAD Capture** до **OrCAD Layout**, необхідно, по-перше виконати перевірку правил проекту, а по-друге, створити список вузлів для **OrCAD Layout**. Для цього у вікні менеджера проекту необхідно обрати файл, який відповідає проекту

(\* .dsn), та в меню **Tools** обрати **Create Netlist**. У вікні **Create Netlist** обрати закладку **Layout**. Для подальшого використання вбудованих технологічних шаблонів необхідно, щоб всі розміри були в дюймах. Для цього треба відмітити опцію **User Properties are in inches**.

Файл списку вузлів для **OrCAD Layout** містить інформацію про компоненти та їх розміщення на схемі. Після його створення необхідно створити нову плату в **OrCAD Layout**. При цьому буде поєднано інформацію з списку вузлів для **OrCAD Layout** (\*.mnl) та фізичну інформацію з файлу шаблону (\*.tpl) або з технологічного файлу (\*.tch) щоб створити нову плату (\*.max).

В **Layout** необхідно створити новий проект (з'явиться вікно **AutoECO**) та вказати, яким технологічним шаблоном треба користуватися. Для задач курсового проектування можна використати шаблон **2bet\_smt.tch**, який треба обрати в полі **Input Layout TCH or TPL or MAX file**. У полі **Input MNL netlist file** треба вказати створений раніше в **Capture** файл списку вузлів. Після автоматичного поєднання файлів буде створено файл друкованої плати та запущено **OrCAD Layout**. При цьому на екрані з'явиться зображення поєднаних компонентів (рис. 3.6).

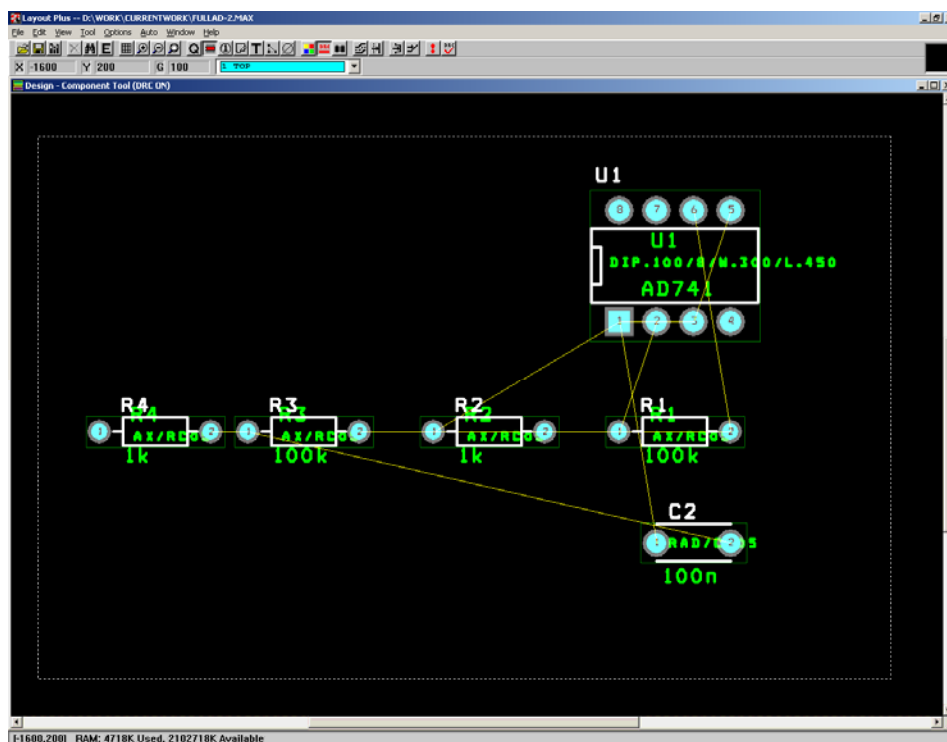


Рисунок 3.6

Для правильної роботи системи **OrCAD Layout** необхідно задати межі майбутньої друкованої плати. Для цього треба перейти в меню **Tool>Obstacle>New**, та курсором позначити межі плати. Після цього необхідно перевірити правильність розміщення компонентів: меню **Auto>Design Rule Check**.

Для автоматичного трасування плати необхідно обрати меню **Auto>Autoroute>Board**, після чого програма **OrCAD Layout** в автоматичному режимі визначить необхідну кількість шарів на майбутній платі та поєднає елементи оптимальним чином (рис. 3.7).

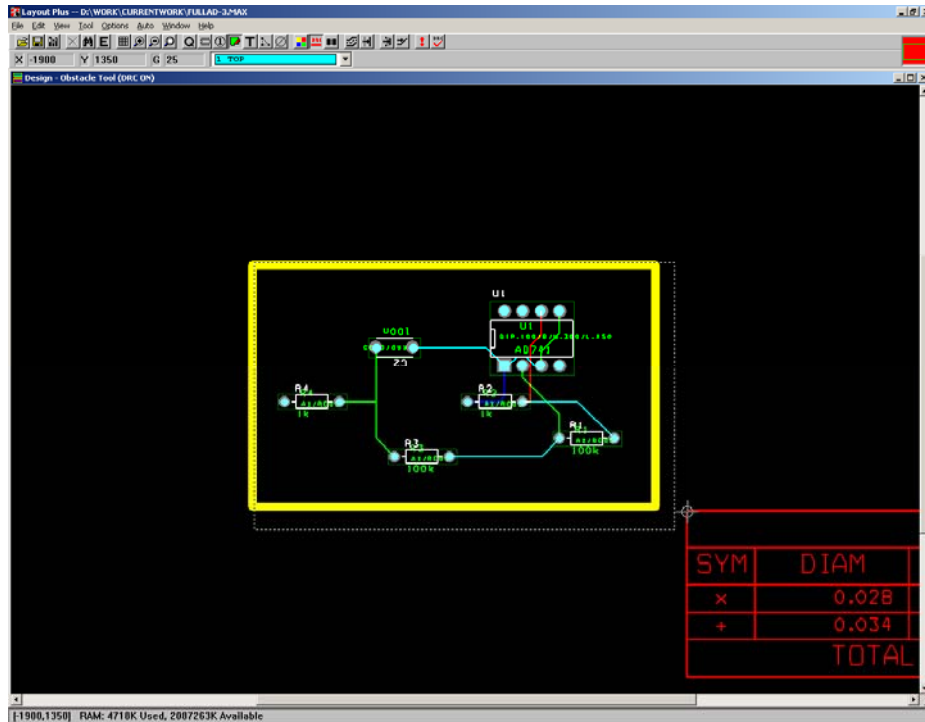


Рисунок 3.7

## 4. ОФОРМЛЕННЯ ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ ДО КУРСОВОГО ПРОЕКТУ

### 4.1. Склад пояснювальної записки

Пояснювальна записка до курсового проекту повинна містити такі структурні складові (у вказаній послідовності):

- **титульний аркуш** – готується на комп'ютері українською мовою;
- **завдання на курсовий проект**;
- **реферат українською мовою** (для студентів-іноземців – російською мовою);
- **реферат іноземною мовою**, яку вивчає студент в університеті (для студентів-іноземців – англійською мовою);
- **зміст**;
- перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів (за необхідності);
- **вступ**;
- **розділи КП**, які розкривають основний зміст роботи відповідно до переліку питань, поставлених у завданні. Кожний розділ може закінчуватися короткими висновками;
- загальні **висновки** по всьому курсовому проекту;
- **перелік посилань**;
- **додатки з кресленнями**.

Обов'язкові структурні частини ПЗ виділено жирним шрифтом.

### 4.2. Вимоги до рефератів курсового проекту

Реферат – коротке та точне викладення змісту проекту, яке включає основні фактичні відомості та висновки, без додаткової інтерпретації або критичних зауважень автора реферату. Він виконується для того, щоб надати інформацію про КП, надати можливість читачеві встановити основний зміст роботи, визначити для себе її цінність та вирішити, чи потрібно звертатися до повного тексту.

Реферат повинен бути лаконічним, мати чіткі та переконливі формулювання, в ньому повинна бути відсутня другорядна інформація.

Реферат КП повинен містити такі відомості (у вказаній послідовності):

- об’єкт та предмет дослідження або розроблення;
- мета проекту;
- по кожному розділу КП:
  - 1) методи дослідження та апаратура;
  - 2) короткий зміст;
  - 3) результати та їх новизна;
  - 4) основні конструктивні, технологічні й техніко-експлуатаційні характеристики та показники;
  - 5) ступінь впровадження результатів;
- взаємозв’язок КП з іншими роботами;
- галузь застосування;
- рекомендації щодо використання результатів роботи;
- економічна ефективність;
- значущість роботи та висновки;
- прогностичні припущення про розвиток об’єкту дослідження або розроблення;
- відомості про обсяг КП, кількість частин КП, кількість ілюстрацій, таблиць, додатків, кількість джерел згідно з переліком посилань (усі відомості наводять, включаючи дані додатків);
- перелік ключових слів.

У випадку, коли по одному з цих пунктів інформація відсутня, у рефераті його не згадують. Реферати КП повинні мати обсяг не більше 1 сторінки. Зміст рефератів українською та іншими мовами повинен бути ідентичний.

### 4.3. Загальні вимоги до оформлення пояснювальної записки

#### 4.3.1. Текст пояснювальної записки

Текст пояснювальної записки друкують на одному боці білого паперу формату А4. Весь текст ПЗ необхідно вирівнювати по ширині сторінки. Абзацний відступ повинен бути однаковим впродовж усього тексту КП і дорівнювати 1,25 см. Відступи в тексті перед та після абзаців не робити.

Поля у ПЗ до курсового проекту повинні мати такі розміри: верхнє, лівє та нижнє – 20 мм, правє – 10 мм; відстань від тексту до рамки повинна становити 5 мм.

У всьому тексті, включаючи заголовки, використовують 14-й кегль, шрифт гарнітури Times New Roman та полуторний інтервал. Як виняток, у таблицях, написах на рисунках та під

рисунками, у додатках та в текстах комп’ютерних програм можна використовувати 12-й кегль та одинарний інтервал.

Під час виконання ПЗ необхідно дотримуватись рівномірної щільності, контрастності й чіткості зображення впродовж усього тексту. У ПЗ мають бути чіткі, нерозпливчасті лінії, літери, цифри та інші знаки. Всі лінії, літери, цифри і знаки повинні бути однаково чорними впродовж усього тексту. Окремі слова, формули, знаки, які вписують у надрукований текст, мають бути чорного кольору; щільність вписаного тексту має максимально наближуватись до щільності основного зображення.

Помилки, описки та графічні неточності допускається виправляти підчищенням або зафарбовуванням білою фарбою і нанесенням на тому ж місці або між рядками виправленого зображення машинописним способом або від руки. Виправлене повинно бути чорного кольору.

Прізвища, назви установ, організацій, фірм та інші власні назви у тексті наводять мовою оригіналу. Допускається транслітерувати власні назви і наводити назви організацій у перекладі на мову ПЗ, додаючи (при першій згадці) оригінальну назву.

#### 4.3.2. Основні написи

Для курсових проектів текст ПЗ друкується з рамкою та основним написом (по ГОСТ 2.104-68) (рис. 4.1). Реферат українською мовою виконується на аркуші з великим основним написом, всі інші сторінки пояснювальної записки – з малим основним написом. Графи основного напису заповнюють українською мовою.

					(2)			
	Арк	№ докум	Підп	Дата		Літ	Маса	Масшт
	Розроб				(1)	(4)	(5)	(6)
	Керівник					Аркуш(7)		Аркушів(8)
	Конс-т							
	(10)	(11)	(12)	(13)	(3)	(9)		
	Зав каф							

Рисунок 4.1 – Вигляд рамки та нумерація граф основного напису



Якщо курсовий проект виконується з допомогою редактора Word, можна скористатися шаблонами рамок, які можна завантажити з сайту кафедри.

Графи основного напису заповнюються згідно вимог ГОСТ 2.104-68. В графах основного надпису (номер граф показано в дужках на рис. 4.1) вказують:

в графі 1 – найменування виробу;

в графі 2 – шифрове позначення документа;

у графі 3 – позначення матеріалу деталі (графу заповнюють тільки на кресленні деталі);

графу 4 не заповнюють;

у графі 5 – масу виробу по ГОСТ 2.109-73(87);

у графі 6 – масштаб проставляється у відповідності до ГОСТ 2.302-68(80) та ГОСТ 2.109-73(87));

у графі 7 – порядковий номер аркушу документу (на документах, що налічують один аркуш, графу не заповнюють);

у графі 8 – загальна кількість аркушів документа (графу заповнюють тільки на першому аркуші);

у графі 9 – ФЕЛ НТУУ;

у графі 10 – характер роботи, виконаної особою, яка підписує документ. (На кресленнях необхідні записи: «розробив», «консультант», «керівник», «зав. кафедрою»);

у графі 11 – прізвища осіб, що підписують документ;

у графі 12 – підписи осіб, прізвища яких зазначені у графі 11;

у графі 13 – дату підписання документа.

Всі складові частини курсового проекту (пояснювальна записка, креслення, схеми та ін.) повинні мати шифрові позначення, які наводяться у основному написі (в графі 2) на кожному аркуші, та складаються згідно вимог ГОСТ 2.202-80.

Шифрове позначення в дипломному проекті має таку структуру:

**AAAA.BB.CCCCCC.DDDEE**

*AAAA* – шифр кафедри;

*BB* – тип роботи;

*CCCCCC* – шифр залікової книжки студента-дипломника;

*DDD* – тризначний порядковий реєстраційний номер документа дипломного проекту (пояснювальна записка - 001, креслення - 002, 003, ... );

*EE* – код документа проекту, який визначається згідно ГОСТ 2.701-84.

Схеми в залежності від елементів, що входять до складу виробу, поділяються на наступні види, які позначаються літерами: електричні - Е, гідравлічні - Г, вакуумні - В, пневматичні - П, кінематичні - К, оптичні - Л, газові - Х, автоматизації - А, комбіновані - С.

В залежності від основного призначення схеми поділяються на типи, які позначаються цифрами: структурні - 1, функціональні - 2, принципові (повні) - 3, з'єднань (монтажні) - 4, підключення - 5, загальні - 6, розміщення - 7, інші - 8, об'єднані - 0.

*Приклад:*

**ФБМЕ.КП.ДМ4169.001ПЗ** - пояснювальна записка (ПЗ) до курсового проекту (КП) студента групи ДМ-41 з номером залікової книжки 96 (ДМ4169) кафедри ФБМЕ.

**ФБМЕ.КП.ДМ4169.003К1** - схема кінематична (К) структурна (1) на третьому (003) кресленні у курсовому проекті студента групи ДМ-41 з номером залікової книжки 69 (ДМ4169) кафедри ФБМЕ.

**ФБМЕ.КП.ДМ4169.018ПЛ7** - перелік елементів (П) до оптичної (Л) схеми розташування (7), яка розміщена на вісімнадцятому (018) кресленні у курсовому проекті студента групи ДМ-41 з номером залікової книжки 69 (ДМ4169) кафедри ФБМЕ.

#### 4.3.2. Структурний поділ пояснювальної записки

Пояснювальну записку умовно поділяють на:

- вступну частину;
- основну частину;
- додатки.

Вступна частина повинна містити структурні елементи «титульний аркуш», «реферат», «abstract», «зміст». Вступна частина може містити також структурний елемент «перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів».

Основна частина повинна містити такі структурні елементи:

- вступ;
- суть пояснювальної записки;
- висновки;
- перелік посилань.

Суть ПЗ викладають, поділяючи матеріал на розділи. Розділи можуть поділятися на підрозділи і пункти. Пункти, якщо це необхідне, поділяють на підпункти.

#### 4.3.3. Змістовний склад структурних елементів пояснювальної записки

До структурного елементу «ЗМІСТ» включають: перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів (повну назву); вступ; послідовно перелічені назви усіх розділів, підрозділів, пунктів і підпунктів (якщо вони мають заголовки) суті ПЗ; висновки; перелік посилань; назви додатків і номери сторінок, які містять початок матеріалу. У змісті можуть бути перелічені номери й назви ілюстрацій та таблиць з зазначенням сторінок, на яких вони вміщені.

Зміст складають, якщо ПЗ містить не менш, ніж два розділи, або один розділ і додаток за загальної кількості сторінок не менше десяти.

Усі прийняті у проекті малопоширені умовні позначення, символи, одиниці, скорочення і терміни пояснюють у переліку, який вміщують безпосередньо після змісту, починаючи з нової сторінки. Незалежно від цього за першої появи цих елементів у тексті наводять їх розшифровку.

Вступ та висновки не можна ділити на підрозділи, пункти або підпункти.

Перелік джерел, на які є посилання в основній частині ПЗ, наводять у кінці тексту, починаючи з нової сторінки. У відповідних місцях тексту мають бути посилання.

Бібліографічні описи в переліку посилань подають у порядку, за яким вони вперше згадуються в тексті. Порядкові номери описів у переліку є посиланнями в тексті (номерні посилання), записаними у квадратних дужках. Бібліографічні посилання у переліку наводять відповідно до чинних стандартів з бібліотечної та видавничої справи.

Більш докладно про зміст ПЗ див. у розділі 2.

#### 4.3.4. Оформлення тексту пояснювальної записки

Структурні елементи «РЕФЕРАТ», «ABSTRACT», «ЗМІСТ», «ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ», «ВСТУП», «ВИСНОВКИ», «ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ» не нумерують, а їх назви правлять за заголовки структурних елементів.

Розділи і підрозділи повинні мати заголовки.

Заголовки структурних елементів ПЗ і заголовки розділів слід розташовувати посередині рядка (без врахування абзацного відступу) і друкувати великими літерами без крапки в кінці, не підкреслюючи.

Пункти і підпункти можуть мати заголовки. Заголовки підрозділів, пунктів і підпунктів слід починати з абзацного відступу і друкувати маленькими літерами, крім першої великої, не підкреслюючи, без крапки в кінці. Якщо заголовок складається з двох і більше речень, їх розділяють крапкою. Перенесення слів у заголовку розділу не допускається.

Відстань між заголовком і подальшим чи попереднім текстом має дорівнювати двом рядкам. Відстань між основами рядків заголовку, а також між двома заголовками приймають такою, як у тексті.

Не допускається розміщувати назву розділу, підрозділу, а також пункту й підпункту в нижній частині сторінки, якщо після неї розміщено тільки один рядок тексту.

У змісті номера та назви розділів, підрозділів, пунктів та підпунктів друкують таким самим шрифтом, як і в тексті пояснювальної записки, додержуючись полуторного інтервалу. Проміжок між назвою та номером сторінки заповнюється крапками.

#### 4.3.5. Нумерація сторінок та частин у пояснювальній записці

Сторінки ПЗ до курсового проекту слід нумерувати арабськими цифрами, додержуючись наскрізної нумерації впродовж усього тексту ПЗ. Номер сторінки проставляють у правому верхньому куті сторінки без крапки в кінці.

Титульний аркуш включають до загальної нумерації сторінок. Номер сторінки на титульному аркуші не проставляють. Ілюстрації й таблиці, розміщені на окремих сторінках, включають до загальної нумерації сторінок ПЗ. При нумерації сторінок пояснювальної записки аркуш завдання враховується як одна сторінка (друга сторінка ПЗ).

У пояснювальній записці до КП номер сторінки проставляється у відповідній графі основного напису на кожному аркуші (крім завдання).

Розділи, підрозділи, пункти, підпункти ПЗ слід нумерувати арабськими цифрами. Розділи повинні мати порядкову нумерацію в межах викладення суті роботи і позначатися арабськими цифрами з крапкою, наприклад, 1., 2., 3. і т. д.

Підрозділи повинні мати порядкову нумерацію в межах кожного розділу. Номер підрозділу складається з номера розділу і порядкового номера підрозділу, відокремлених крапкою, наприклад, 1.1., 1.2. і т. д.

Пункти повинні мати порядкову нумерацію в межах кожного розділу або підрозділу. Номер пункту складається з номера розділу і порядкового номера пункту, або з номера розділу,

порядкового номера підрозділу та порядкового номера пункту, відокремлених крапкою, з крапкою після номеру, наприклад, 1.1., 1.2., або 1.1.1., 1.1.2. і т. д.

Якщо текст поділяють тільки на пункти, їх слід нумерувати, за винятком додатків, порядковими номерами.

Номер підпункту складається з номера розділу, порядкового номера підрозділу, порядкового номера пункту і порядкового номера підпункту, відокремлених крапкою, наприклад, 1.1.1.1., 1.1.1.2., 1.1.1.3. і т. д.

Якщо розділ, не маючи підрозділів, поділяється на пункти і далі — на підпункти, номер підпункту складається з номера розділу, порядкового номера пункту і порядкового номера підпункту, відокремлених крапкою, наприклад, 1.1.3., 3.2.11. і т. д.

Якщо розділ або підрозділ складається з одного пункту, або пункт складається з одного підпункту, його нумерують.

#### 4.3.6. Ілюстрації

В ПЗ рисунки – важливий елемент, який за значенням рівноцінний тексту і перевершує його за наочністю та інформативністю [3]. Рисунки повинні відображувати результати, отримані в проекті, і, разом з цим, доповнювати текст новою інформацією. Слід пам'ятати, що в багатьох випадках тільки за допомогою рисунка можливо донести суть викладення. Тому вибору змісту і композиції рисунків слід надавати першорядного значення.

Рисунки конструкцій приладів, їх вузлів та деталей, на відміну від креслень, виконують без другорядних елементів та спрощеним зображенням. Найкраще сприймаються рисунки, при розгляданні яких немає потреби переводити погляд за поясненнями до основного чи підрисункового текстів. З огляду на це, найменування, характеристики, значення елементів принципів схем бажано розмішувати на полі рисунка, використовувати загальноприйняті символи, значки і т. п.

При зображенні схем, слід попередньо ретельно продумати композицію елементів відповідно до «логіки функціонування», що допомагає читачеві у сприйнятті рисунка.

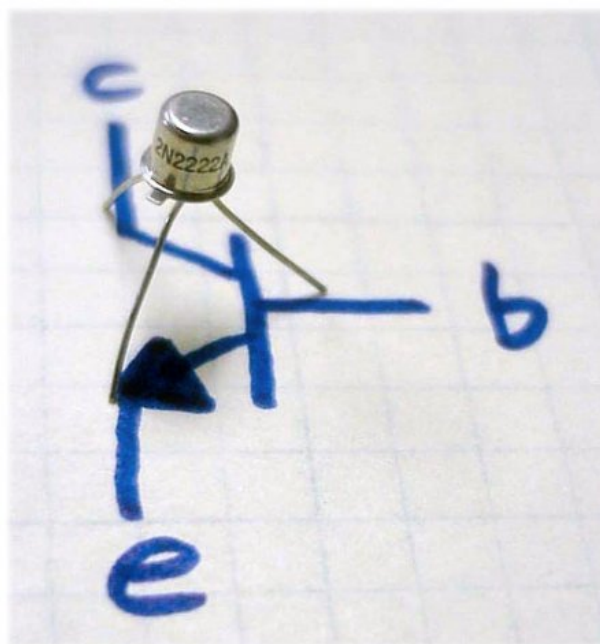
Ілюстрації (креслення, рисунки, графіки, схеми, діаграми, фотознімки) слід розмішувати у ПЗ безпосередньо після тексту, де вони згадуються вперше, або на наступній сторінці. На всі ілюстрації мають бути посилання у тексті ПЗ.

Якщо ілюстрації створені не автором ПЗ, необхідно при поданні їх у роботі дотримуватись вимог чинного законодавства про авторські права. Креслення, рисунки, графіки, схеми, діаграми,

розміщені у пояснювальній записці, мають відповідати вимогам стандартів «Единой системы конструкторской документации» та «Единой системы программной документации».

Ілюстрації можуть мати назву, яку розміщують під ілюстрацією. За необхідності під ілюстрацією до назви розміщують пояснювальні дані (підрисунковий текст) (рис. 4.2).

Ілюстрації необхідно розміщувати одну під одною. Сам рисунок, підрисунковий текст та назву ілюстрації необхідно розміщувати на сторінці з вирівнюванням по центру без врахування абзацного відступу. Перенесення підрисункового тексту або назви рисунка на наступну сторінку не допускається. Розташування тексту справа та зліва від ілюстрації не допускається.



Підрисунковий напис, який виконують 12-м шрифтом з одинарним інтервалом

Рисунок 4.2 – Зовнішній вигляд транзистора

Після назви ілюстрації перед подальшим текстом записки необхідно залишити один незаповнений рядок. У випадку, якщо на ілюстрації присутні буквені або цифрові позначення (нумерація графіків, кривих, інших елементів зображення, аббревіатури, скорочення тощо), їх необхідно розшифрувати або в підрисунковому тексті, або у тексті пояснювальної записки. В останньому випадку після назви рисунка необхідно в дужках вказати "пояснення в тексті".

Ілюстрація позначається словом «Рисунок \_\_\_», яке разом з назвою ілюстрації розміщують після пояснювальних даних, наприклад, «Рисунок 4.2 – Зовнішній вигляд транзистора».

Ілюстрації слід нумерувати арабськими цифрами порядковою нумерацією в межах розділу, за винятком ілюстрацій, наведених у додатках.

Номер ілюстрації складається з номера розділу і порядкового номера ілюстрації, відокремлених крапкою, наприклад, рисунок 3.2 — другий рисунок третього розділу. Якщо у ПЗ вміщено тільки одну ілюстрацію, її нумерують.

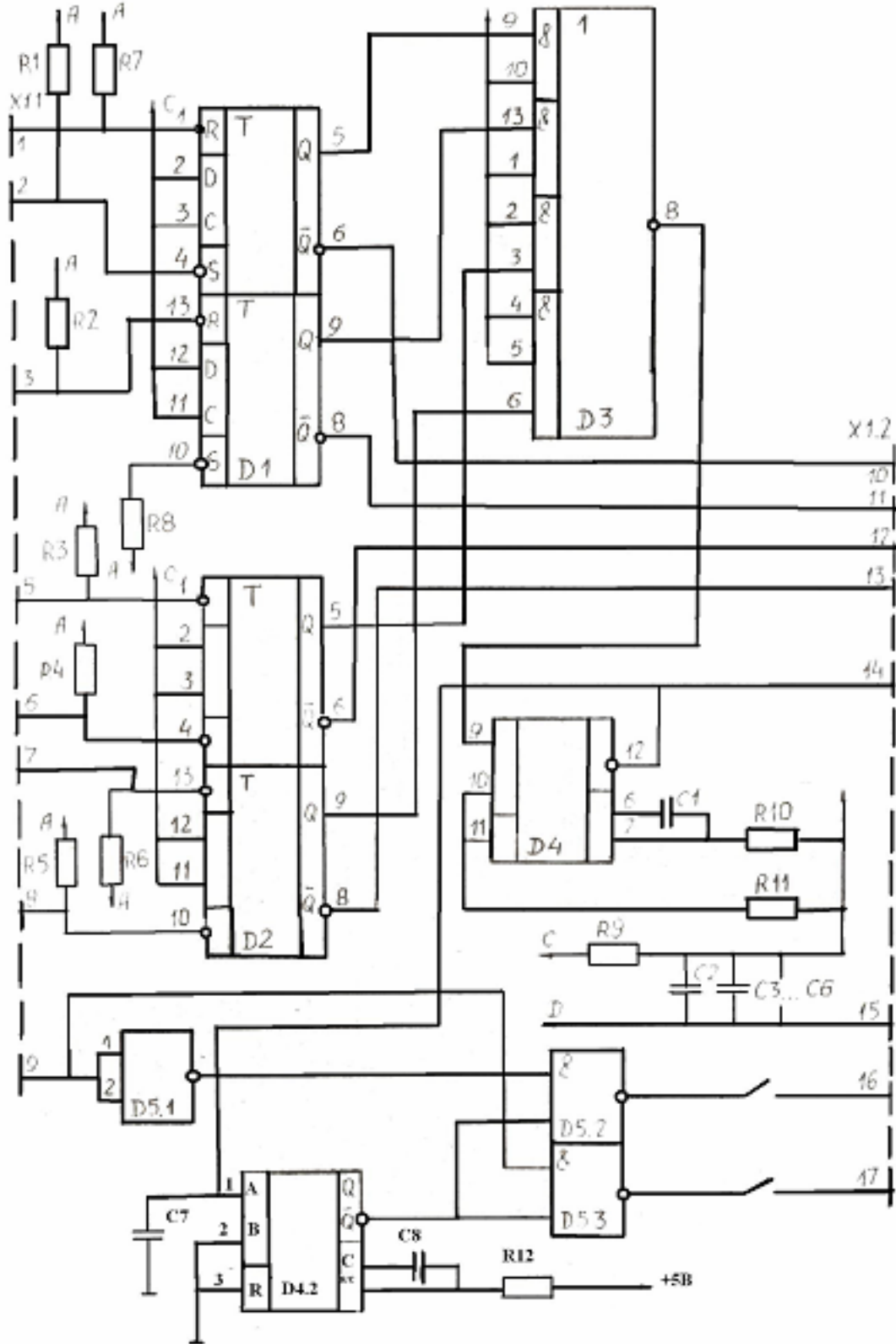


Рисунок 4.3

Якщо ілюстрація не вміщується на одній сторінці, можна переносити її на інші сторінки, вміщуючи назву ілюстрації на першій сторінці, пояснювальні дані — на кожній сторінці, і під ними позначають: «Рисунок\_\_\_\_, аркуш \_\_\_\_».

Ілюстрацію, яка не вміщується по ширині сторінки, розташовують разом з назвою на окремій сторінці вздовж більшого боку аркуша, так, щоб для її перегляду та зручного прочитання назви аркуш з ілюстрацією потрібно було повертати за годинниковою стрілкою. В цьому випадку підрисунковий текст та назву необхідно розташувати вздовж більшого боку аркуша під ілюстрацією (рис. 4.4).

Ілюстрації у вступі та висновках до роботи необхідно нумерувати римськими цифрами наскрізною нумерацією в межах структурних елементів «ВСТУП» та «ВИСНОВКИ», наприклад, «Рисунок I», «Рисунок IV – Схема розміщення».

Ілюстрації, за необхідності, можуть бути перелічені в змісті з зазначенням їх номерів, назв і номерів сторінок, на яких вони вміщені.



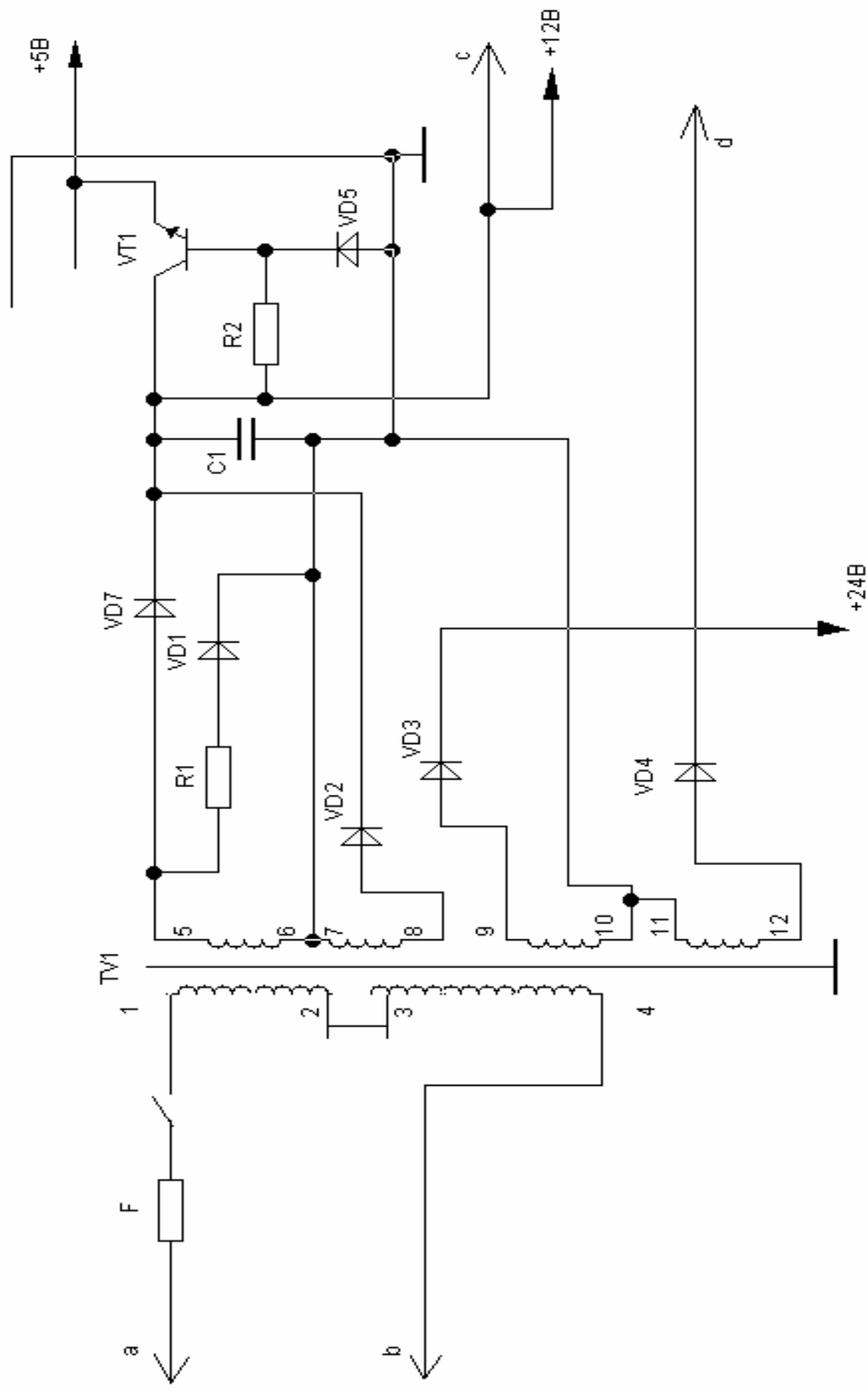


Рисунок 4.4 – Зразок виконання рисунку, який не вміщується по ширині аркуша

### 4.3.6.1. Графіки

Особливий вид рисунків – графіки, які відображають функціональні залежності і можуть передавати не тільки якісну, а й кількісну інформацію. Стандартом передбачені такі основні правила оформлення графіків.

**Вісі координат.** Значення величин, що пов'язані функціональною залежністю, яка зображується, слід відкладати на осях координат у вигляді шкал. Графіки для якісно-інформаційного зображення допускається виконувати без шкал значень величин (рис. 4.5). В такому випадку осі закінчують стрілками, які вказують напрямок зростання значень величин. Дозупускається застосовувати стрілки і у графіках зі шкалами – за межами шкал (рис. 4.6) або паралельно осям координат.

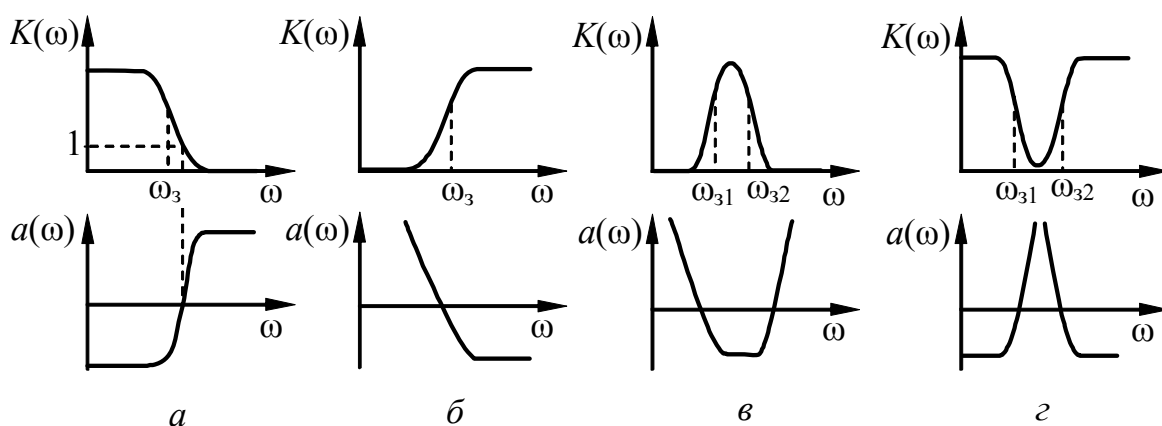


Рисунок 4.5 – Амплітудно-частотні та фазо-частотні характеристики фільтрів:

*a* – ФНЧ; *б* – ФВЧ; *в* – СФ; *г* – ЗФ

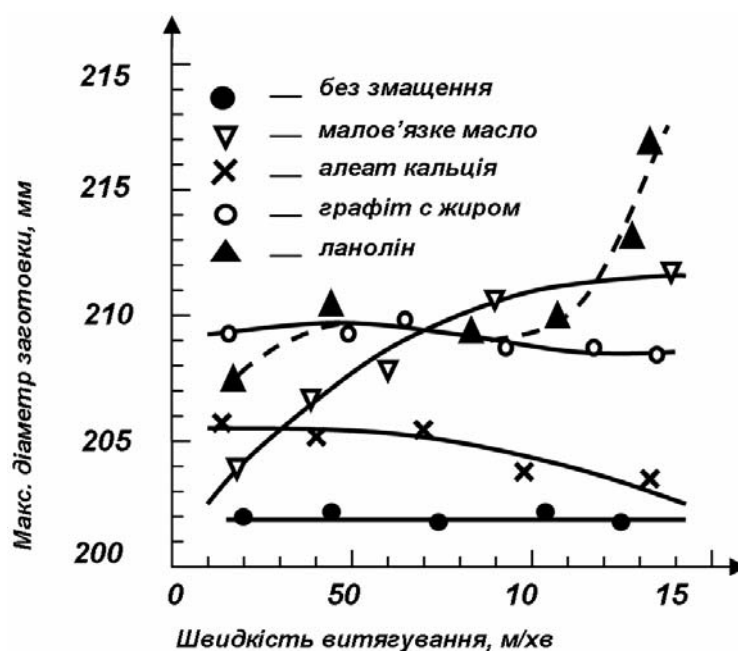


Рисунок 4.6 – Графік зі шкалами для зображення функціональної залежності

У прямокутній системі координат незалежну змінну, як правило, відкладають по горизонтальній осі (осі абсцис).

Додатні значення величин відкладають на осях, як правило, вправо та вгору від точки початку відліку. У полярній системі координат початок відліку кутів (кут  $0^\circ$ ) повинен знаходитися на горизонтальній або вертикальній осі (рис. 4.7). Додатній напрямок кутових координат повинен відповідати напрямку обертання проти годинникової стрілки. При виконанні графіків у просторовій системі трьох координат, їх зображують в аксонометричній проекції по ГОСТ 2.317-80.

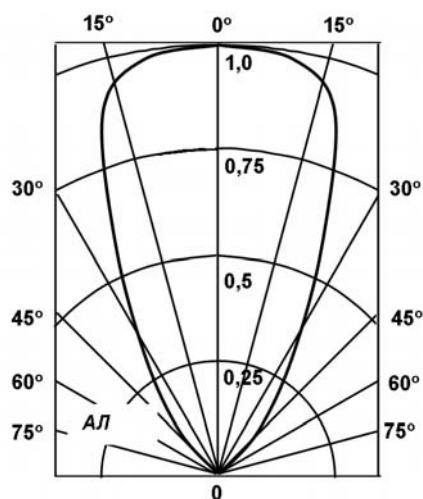


Рисунок 4.7 – Графік для зображення функціональних залежностей у полярній системі координат

**Масштаби, шкали та координатна сітка.** Значення змінних величин відкладають на осях координат у лінійному (рис. 4.6) або нелінійному (логарифмічному) масштабах відтворення. Графіки без шкал виконують тільки у лінійному масштабі відтворення.

Для побудови шкал слід застосовувати координатні осі або обмежуючі лінії координатної сітки. Координатні осі як шкали величин розділяють на інтервали одним із способів: координатною сіткою (рис. 4.7); подільними штрихами (рис. 4.6); сполученням координатної сітки і подільних штрихів (рис. 4.8).

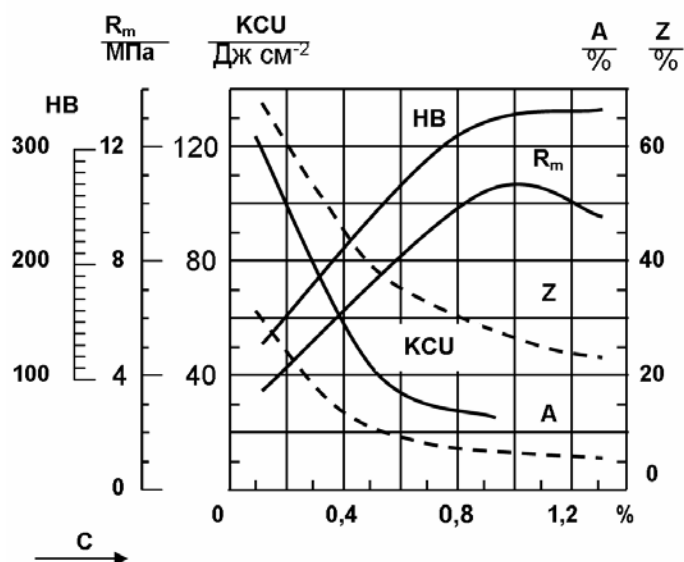


Рисунок 4.8 – Графік для зображення функціональних залежностей, які виконані з декількома шкалами

На графіках, які відображують декілька функцій різних змінних, а також на графіках, в яких одна і та сама змінна повинна бути відтворена одночасно у різних одиницях, допускається використовувати в якості шкал як координатні осі, так і лінії координатної сітки, які обмежують поле графіку, або (та) прямі, які розташовані паралельно координатним осям (рис. 4.8).

Шкали, розташовані паралельно координатній осі, слід розділяти тільки подільними штрихами (рис. 4.8). Відстань між подільними штрихами або (і) лініями координатної сітки вибирають, враховуючи призначення графіку і зручність відліку з інтерполяцією. Поруч із подільними штрихами або лініями сітки, які відповідають початку і кінцю шкали, повинні бути вказані числа (значення величин). Нуль слід вказувати один раз у точці перетину шкал, якщо він є початком відліку. Подільні штрихи, відповідні кратним інтервалам, дозволяється подовжувати (рис. 4.6). Числа шкал слід розміщувати поза полем графіку і розташовувати горизонтально, вразі необхідності допускається наносити їх біля шкал всередині поля графіку (рис. 4.7). Багатозначні числа виражають як кратні  $10^n$  ( $n$  – ціле число) для даного діапазону шкали.

**Лінії і точки.** Графіки виконують стандартними лініями по ГОСТ 2.303-68(89). Вісі координат, вісі шкал, які обмежують поле графіку, виконують суцільними основними лініями. Лінії координатної сітки і подільні штрихи - суцільною тонкою лінією. Дозволяється виконувати лінії сітки, які відповідають кратним графічним інтервалам, суцільною лінією товщиною  $2s$ .

На графіку однієї функціональної залежності її зображення слід виконувати суцільною лінією товщиною  $2s$ . Дозволяється зображати функціональну залежність суцільною лінією

меншої товщини (товстою чи тонкою) у випадках, коли потрібно забезпечити необхідну точність відліку.

При зображенні на одному графіку декількох залежностей допускається зображувати їх лініями різних типів, наприклад, суцільною та штриховою.

Якщо в певній області співпадають дві та більше ліній, слід креслити одну з них (див. рис. 4.6). Вразі збігу лінії функціональної залежності з віссю координат чи лінією сітки слід креслити лінію функціональної залежності. Характерні точки графіка, позначені числами, літерами, символами і т.п., допускається зображувати кружечком (див. рис. 4.5). На шкалах допускається наносити числові значення величин для характерних точок.

Точки графіку, отримані вимірюванням чи розрахунком, позначають графічно: кружечком, хрестиком тощо та роз'яснюють в пояснювальній частині графіку (текстовій чи графічній), що розміщується перед найменуванням рисунку чи на вільному місці поля графіку.

Перетин надписів та ліній не допускається. Якщо місця недостатньо, слід переривати лінію (крім графіків, виконаних на папері з надрукованою координатною сіткою).

**Позначення величин.** Змінні величини слід вказувати таким чином: символом, найменуванням, математичним виразом функціональної залежності. На графіку без шкал, позначення величин слід розміщувати біля стрілки, якою закінчується вісь. На графіку зі шкалами, позначення величин слід розміщувати біля середини шкали з її зовнішнього боку, а при поєднанні символу з позначенням одиниці фізичної величини у вигляді дробу – в кінці шкали після останнього числа.

У випадках, коли на одному графіку зображуються дві чи більше функціональних залежностей, біля ліній, що зображують залежності, допускається проставляти найменування та символи відповідних величин чи порядкові номери. Символи та номери повинні бути роз'яснені в пояснювальній записці.

У випадках, коли на графіку системою ліній зображується функціональна залежність трьох змінних, відповідні числові значення (параметри) змінної величини вказують біля окремих ліній системи на полі графіку чи поза полем графіку – там, де не нанесена шкала.

**Нанесення одиниць фізичних величин.** Одиниці фізичних величин слід наносити одним із таких способів:

- в кінці шкали між останнім та передостаннім числами шкали (якщо місця недостатньо, останнє число допускається не наносити);
- разом з найменуванням змінної величини після коми;
- в кінці шкали після останнього числа разом з позначенням змінної величини у вигляді дробу, в числівнику якого наносять позначення змінної величини, а в знаменнику – позначення її одиниці.

Одиниці кутів (градуси, хвилини, секунди) слід наносити один раз – біля останнього числа шкали. За необхідності, допускається їх наносити біля кожного числа шкали.

#### 4.3.7. Таблиці

Цифровий матеріал, як правило, оформлюють у вигляді таблиць.

Горизонтальні та вертикальні лінії, які розмежовують рядки таблиці, а також лінії зліва, справа і знизу, що обмежують таблицю, можна не проводити, якщо їх відсутність не ускладнює користування таблицею. Таблицю слід розташовувати безпосередньо після тексту, у якому вона згадується вперше, або на наступній сторінці. На всі таблиці мають бути посилання в тексті ПЗ.

Таблиці слід нумерувати арабськими цифрами порядковою нумерацією в межах розділу, за винятком таблиць, що наводяться у додатках. Номер таблиці складається з номера розділу і порядкового номера таблиці, відокремлених крапкою, наприклад, таблиця 4.1 – перша таблиця сьомого розділу. Якщо у ПЗ одна таблиця, її нумерують.

Таблиця може мати назву, яку друкують малими літерами (крім першої великої) і вміщують над таблицею. Назва має бути стислою і відбивати зміст таблиці. До назви та після таблиці необхідно залишити по одному вільному рядку.

Якщо рядки або графи таблиці виходять за межі формату сторінки, таблицю поділяють на частини, розміщуючи одну частину під одною, або поруч, або переносячи частину таблиці на наступну сторінку, повторюючи в кожній частині таблиці її головку і боковик.

Таблиця 4.1 – Приклад розташування та оформлення таблиці, яка має довгу назву, що займає кілька рядків


#### Продовження таблиці 4.1


При поділі таблиці на частини необхідно її головку або боковик замінити відповідно номерами граф чи рядків, нумеруючи їх арабськими цифрами у першій частині таблиці.

Слово «Таблиця \_\_\_\_» з зазначенням номеру вказують один раз зліва над першою частиною таблиці з абзацного відступу, над іншими частинами пишуть: «Продовження таблиці \_\_\_\_» з зазначенням тільки номера таблиці.

Між текстом ПЗ та заголовком таблиці, а також після таблиці перед подальшим текстом необхідно залишити по одному порожньому рядку (див. табл. 4.2).

#### Таблиця 4.2


Заголовки граф таблиці починають з великої літери, а підзаголовки – з малої, якщо вони складають одне речення з заголовком. Підзаголовки, що мають самостійне значення, пишуть з великої літери. В кінці заголовків і підзаголовків таблиць крапки не ставлять. Заголовки і підзаголовки граф указують в однині.

Якщо у одній і тій самій графі наводяться цілі числа і числа з десятковими частками, слід цілі числа без десяткових знаків після коми доповнювати відповідним числом нулів. Ставити лапки замість цифр, марок, символів, що повторюються, не допускається. Якщо дані в якомусь рядку не приводяться, то у графі ставлять прочерк.

Інші вимоги до виконання таблиць – відповідно до чинних стандартів на технічну документацію.

Таблиці, за необхідності, можуть бути перелічені у змісті з зазначенням їх номерів, назв (якщо вони є) та номерів сторінок, на яких вони розміщені.

#### 4.3.8. Переліки

Переліки, за потреби, можуть бути наведені всередині пунктів або підпунктів. Перед переліком ставлять двокрапку. Перед кожною позицією переліку слід ставити малу літеру української абетки з дужкою, або, не нумеруючи — дефіс (перший рівень деталізації).

Для подальшої деталізації переліку слід використовувати арабські цифри з дужкою (другий рівень деталізації).

*Приклад:*

- а) форма і розмір клітин;
- б) живий склад клітин:
  - 1) частини клітин;
  - 2) неживі включення протопластів;
- в) утворення тканини.

Переліки першого рівня деталізації друкують малими літерами з абзацного відступу, другого рівня — з відступом відносно місця розташування переліків першого рівня.

#### 4.3.9. Формули та рівняння

##### 4.3.9.1. Формули, на які є посилання

Формули та рівняння, на які є посилання в тексті ПЗ, розташовують безпосередньо після тексту, в якому вони згадуються, посередині сторінки без врахування абзацного відступу.

Вище і нижче кожної формули або рівняння потрібно залишити один вільний рядок.

Формули і рівняння у ПЗ (за винятком формул і рівнянь, наведених у додатках) слід нумерувати порядковою нумерацією в межах розділу.

Номер формули або рівняння складається з номера розділу і порядкового номера формули або рівняння, відокремлених крапкою, наприклад, формула (1.3) – третя формула першого розділу. Номер формули або рівняння зазначають на рівні формули або рівняння в круглих дужках у крайньому правому положенні на рядку.

Пояснення значень символів і числових коефіцієнтів, що входять до формули чи рівняння, слід наводити безпосередньо під формулою у тій послідовності, в якій вони наведені у формулі чи рівнянні.



Пояснення значення кожного символу та числового коефіцієнта слід давати з нового рядка з абзацу. Перший рядок пояснення починають з абзацу словом «де» без двокрапки.

*Приклад:*

«Розклад сигналу  $f(t)$  має на меті його представлення у вигляді функціонального ряду – зваженої скінченної або безкінечної суми деяких складових:

$$f(t) = \sum_n a_n \xi_n(t), \quad (4.1)$$

де  $a_n$  – коефіцієнт розкладу, який відповідає вкладу відповідної складової у сигнал;

$\xi_n(t)$  – елемент з деякого переповненого набору або базису функцій, який може бути ортогональним, напівортогональним або неортогональним.»

Переносити формули чи рівняння на наступний рядок допускається тільки на знаках виконуваних операцій, повторюючи знак операції на початку наступного рядка. Коли переносять формули чи рівняння на знакові операції множення, застосовують знак «х».

Якщо у розділі ПЗ тільки одна формула чи рівняння, їх нумерують.

Формули, що йдуть одна за одною та не розділені текстом, відокремлюють комою.

*Приклад:*

Довільному гармонічному коливанню  $A_n \sin(nt + \varphi_n)$  відповідає пара членів тригонометричного ряду:

$$a_n \cos(nt) + b_n \sin(nt), \quad (4.2)$$

де

$$a_n = A_n \sin \varphi_n, \quad (4.3)$$

$$b_n = A_n \cos \varphi_n. \quad (4.4)$$

При написанні тексту пояснювальної записки під час розстановки розділових знаків з формулами необхідно поводитися як з частиною речення. Перед формулою, як правило, необхідно поставити двокрапку, після формули – кому або крапку.

#### 4.3.9.2. Формули, на які немає посилань

Такі формули можна не відокремлювати пустими рядками до та після формули, вони можуть розташовуватися в окремому рядку не посередині сторінки, або розміщуватися в тексті.

*Приклад:*

«Для дискретизації параметра зміщення материнського вейвлету по часовій вісі обирають значення, кратні деякому фіксованому кроку  $b_0$  ( $b_0 \in \mathbb{R}$ ,  $b_0 > 0$ ). Для довільних значень  $m \in \mathbb{Z}$  ширина функції  $a_0^{-\frac{m}{2}} \psi(a_0^{-m} t)$  у  $a_0^m$  разів більша, ніж ширина  $\psi(t)$ .»

#### 4.3.10. Посилання

Посилання в тексті ПЗ на джерела слід зазначати порядковим номером за переліком посилань, виділеним двома квадратними дужками, наприклад, «... у роботах [3 - 7] ...». Посилання на джерела в мережі Інтернет складаються у довільній формі (як правило, це URL та назва документу) та включаються в загальний перелік посилань. На джерела необхідно посилатися в порядку їх згадування в тексті ПЗ.

При посиланнях на розділи, підрозділи, пункти, підпункти, ілюстрації, таблиці, формули, рівняння, додатки зазначають їх номери. При посиланнях слід писати: «... у розділі 4 ...», «... дивись 2.1 ...», «... за 3.3.4 ...», «... відповідно до 2.3.4.1 ...», «... на рис. 1.3 ...», або «... на рисунку 1.3 ...», «... у таблиці 3.2 ...», «... (див. 3.2) ...», «... за формулою (3.1) ...», «... у рівняннях (1.23) — (1.25) ...», «... у додатку Б ...».

#### 4.3.11. Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів

Перелік повинен розташовуватись стовпцем. Ліворуч в алфавітному порядку наводять умовні позначення, символи, одиниці, скорочення і терміни, праворуч через тире – їх детальну розшифровку. Спочатку наводять скорочення українською мовою, за ними – російською, потім – іноземними (з перекладом на мову написання ПЗ).

У випадку, коли на кресленнях в роботі використано позначення схемних елементів, яке не відповідає вимогам ЄСКД, ці позначення необхідно включити до Переліку. Ліворуч наводиться використане позначення, праворуч – відповідне позначення за вимогами ЄСКД, назва елемента, а також відповідність виводів.

#### 4.3.12. Додатки

Додатки слід оформлювати як продовження ПЗ на наступних сторінках, або у вигляді окремої частини, розташовуючи додатки в порядку появи посилань на них у тексті.

Якщо додатки оформлюють на наступних сторінках ПЗ, кожний такий додаток повинен починатися з нової сторінки. Додаток повинен мати заголовок, надрукований вгорі малими літерами з першої великої симетрично відносно тексту сторінки. Посередині рядка над заголовком малими літерами з першої великої повинно бути надруковано слово «Додаток\_\_» і велика літера, що позначає додаток, з крапкою в кінці.

Додатки слід позначати послідовно великими літерами української абетки, за винятком літер Г, Є, З, І, Ї, Й, О, Ч, Ъ, наприклад, Додаток А., Додаток Б. і т. д.

Один додаток позначається як Додаток А.

Додатки повинні мати спільну з рештою ПЗ наскрізну нумерацію сторінок.

За необхідності текст додатків може поділятися на розділи, підрозділи, пункти і підпункти, які слід нумерувати в межах кожного додатку відповідно до вимог 7.5. У цьому разі перед кожним номером ставлять позначення додатку (літеру) і крапку, наприклад, А.2. — другий розділ додатку А; Г.3.1. — підрозділ 3.1 додатку Г; Д.4.1.2. — пункт 4.1.2 додатку Д; Ж.1.3.3.4. — підпункт 1.3.3.4 додатку Ж.

Ілюстрації, таблиці, формули та рівняння, що є у тексті додатку, слід нумерувати в межах кожного додатку, наприклад, рисунок Г.3 — третій рисунок додатку Г; таблиця А.2 — друга таблиця додатку А; формула (А.1) — перша формула додатку А.

Якщо в додатку одна ілюстрація, одна таблиця, одна формула, одне рівняння, їх нумерують, наприклад, рисунок А.1, таблиця А.1, формула (В.1).

В посиланнях у тексті додатку на ілюстрації, таблиці, формули, рівняння рекомендується писати: «... на рисунку А.2 ...», «... на рисунку А.1 ...» — якщо рисунок єдиний у додатку А; «...в таблиці Б.3 ...», або «... в табл. Б.3 ...»; «... за формулою (В.1) ...», «...у рівнянні (Г.2) ...».

Джерела, що цитують тільки у додатках, повинні розглядатися незалежно від тих, які цитують в основній частині ПЗ, і повинні бути перелічені наприкінці кожного додатку в переліку посилань.

Форма цитування, правила складання переліку посилань і виносок повинні бути аналогічними прийнятим у основній частині ПЗ. Перед номером цитати і відповідним номером у переліку посилань ставлять позначення додатку.

Якщо у ПЗ як додаток використовується документ, що має самостійне значення і оформлюється згідно з вимогами до документу даного виду, його копію вміщують у ПЗ без змін в оригіналі. Перед копією документу вміщують аркуш, на якому посередині зверху друкують слово «ДОДАТОК \_\_\_» і велику літеру, що позначає додаток, з крапкою в кінці. На наступному рядку посередині друкують його назву (за наявності), праворуч у верхньому куті аркуша проставляють порядковий номер сторінки. Сторінки копії документу нумерують, продовжуючи наскрізну нумерацію сторінок ПЗ (не займаючи власної нумерації сторінок документа).

Всі креслення, виконані у КП, включаються разом зі специфікаціями до одного додатку, за правилами, наведеними в попередньому абзаці.

#### 4.3.13. Правила написання одиниць, їх позначень і найменувань

Пояснювальна записка повинна бути викладена простою мовою, зрозумілою фахівцям суміжних галузей. Необхідно уникати неоднозначного тлумачення формулювань, складних мовних сполучень, жаргонних виразів, професійного сленгу. Терміни, найменування, позначення повинні бути однаковими протягом всього тексту. Одиниці фізичних величин, їх найменування, позначення і правила застосування регламентовані ДСТУ 3651.0-97. Відповідно до нього є обов'язковим застосування Міжнародної системи одиниць (скорочення: міжнародне – SI; українське – СІ).

**Правила написання десяткових кратних і часткових одиниць.** Для зменшення ймовірності помилок при розрахунках десяткові кратні і часткові одиниці рекомендується підставляти тільки в кінцевий результат, а в процесі обчислень всі величини виражати тільки в одиницях СІ, замінюючи префікси степенями числа 10. Поряд з цим, при виконанні типових розрахунків часто виявляється більш раціональним підставляти в розрахункові формули значення величин в десяткових кратних і часткових одиницях.

Префікс чи його позначення слід писати разом з найменуванням одиниці, до якої він приєднується, чи його позначенням. Похідні одиниці, утворені як добуток чи відношення одиниць, повинні розглядатись як певне ціле, що не підлягає поділу на складові частини, і тому префікси повинні додаватися до них як до цілого, тобто до найменування першої одиниці, що входить до добутку чи відношення.

Правильно:

кілопаскаль-секунда на метр

(kPa · s/m; кПа · с/м)

Неправильно:

паскаль-кілосекунда на метр

( Pa · ks/m; Па · кс/м)

Найменування кратних і часткових одиниць від одиниці, зведеної до степеня, слід утворювати шляхом приєднання префіксу до найменування вихідної одиниці, наприклад, для утворення найменування кратної чи часткової одиниці від одиниці площини – квадратного метра, що являє собою другий степінь одиниці довжини – метра, префікс слід приєднувати до найменування цієї останньої одиниці: квадратний кілометр, квадратний сантиметр тощо. Неправильно було б писати: кілоквадратний метр, сантимквадратний метр. При такому (неправильному) розумінні позначення  $\text{см}^2$  відповідає одиниці «сантимквадратний метр», тобто  $0,01 \text{ м}^2$ , в той час як насправді  $\text{см}^2$  означає квадратний сантиметр, тобто  $0,0001 \text{ м}^2$ .

Позначення кратних і часткових одиниць від одиниці, зведеної до степеня, слід утворювати додаванням відповідного показника степеня до позначення кратної чи часткової від цієї одиниці, причому показник означає зведення до степеня кратної чи часткової одиниці (разом із префіксом).

*Приклади:*

а)  $5 \text{ км}^2 = 5 (10^3 \text{ м})^2 = 5 \cdot 10^6 \text{ м}^2$ ;

б)  $250 \text{ см}^3/\text{с} = 250 (10^{-2} \text{ м})^3/(1 \text{ с}) = 250 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$ ;

в)  $0,002 \text{ см}^{-1} = 0,002 (10^{-2} \text{ м})^{-1} = 0,002 \cdot 100 \text{ м}^{-1} = 0,2 \text{ м}^{-1}$ .

**Правила написання значень одиниць.** Для написання значень величин передбачається застосовувати позначення одиниць буквами чи спеціальними знаками (...<sup>°</sup>, ...<sup>`</sup>, ...<sup>``</sup>), причому встановлюється два види буквених позначень: міжнародні (з використанням букв латинської чи грецької абетки) та українські (з використанням букв української абетки). Застосування обох видів позначень в одному документі не допускається. У нормативно-технічній документації на засоби вимірювань, документації метрологічного забезпечення необхідно застосовувати міжнародні позначення одиниць.

Міжнародні і українські позначення відносних та логарифмічних одиниць такі: процент (%), проміле (‰), мільйонна частка (ppm), бел (В, Б), децибел (dB, дБ), октава (окт), декада (дек), фон (фон).

Буквені означення одиниць виконують прямим шрифтом. В означеннях одиниць крапку, як знак скорочення не ставлять.

До визначень одиниць і їх найменувань не можна додавати букви (слова), що вказують на фізичну величину чи на об'єкт, наприклад, п.м. чи пм (погонний метр), укм (умовний квадратний метр), екм (еквівалентний квадратний метр),  $\text{нм}^3$  чи  $\text{Нм}^3$  (нормальний кубічний метр), % ваговий (ваговий відсоток), % об'ємний (об'ємний відсоток). В усіх таких випадках визначальні слова слід приєднувати до найменування величини, а одиницю позначати згідно зі стандартом.

*Наприклад*, еквівалентна площа  $20 \text{ м}^2$ , об'єм газу (приведений до нормальних умов)  $100 \text{ м}^3$ , масова частка 15 %, об'ємна частка 4 % тощо. Вищезазначене відноситься і до міжнародних позначень одиниць. Позначення одиниць слід вживати після числових значень величин і розміщати в рядку з ними (без перенесення на наступний рядок). Між останньою цифрою числа та позначенням одиниці слід залишати проміжок, але перед позначеннями у вигляді знаку, піднятого над рядком, проміжок не ставлять.

Правильно:

100 kW; 100 кВт

80 %

20°

30'15"

Неправильно:

100kW; 100кВт

80%

20 °

30 ' 15 ''

Виключення: знак градуса Цельсія пишуть після пробілу, але разом з позначенням шкали Цельсія.

Правильно:

20 °C

Неправильно:

20° C

При наявності десяткового дробу в числовому значенні величини позначення одиниці слід розташовувати після усіх цифр.

Правильно:

423,06 m; 423,06 м

5,758° чи 5° 45,48',

чи 5° 45' 28,8''

Неправильно:

423 m, 0,6; 423 м,06

5°,758 чи 5° 45', 48,

чи 5° 45' 28'',8

При написанні значень величин із обмежуючими відхиленнями, числа та їх обмежуючі відхилення слід брати в дужки, а позначення одиниці писати після дужок або проставляти позначення одиниць після числа і після обмежуючого відхилення.

Правильно

(100,0 ± 0,1) kg

Неправильно

100,0 ± 0,1 kg

60 g ± 1 g

60 ± 1 g

Якщо у тексті наводять ряд (групу) числових значень однієї і тієї ж величини, то найменування одиниці величини вказують тільки після останньої цифри, *наприклад*: 25; 20; 30 кг;  $5 \times 10 \times 15$  мм. При необхідності вказати числовий інтервал величини, найменування одиниці пишуть тільки після останньої цифри, *наприклад*: «...від 0,5 до 1,5 мм».

Дозволяється застосовувати найменування одиниць у поясненнях позначень величин до формул.

Правильно

$$v = 3,6 h/t$$

де  $v$  - швидкість, km/s;

$h$  - шлях, m;

$t$  - час, s.

Неправильно

$$v = 3,6 h/t \text{ km/s,}$$

де  $h$  - шлях, m;

$t$  - час, s.

У виразах з відношенням за знак ділення править тільки одна коса або горизонтальна риска. Допускається застосовувати позначення одиниць у вигляді добутку одиниць, зведених до степеня (додатні і від'ємні). Якщо для однієї з одиниць відношення застосовано позначення у вигляді від'ємного степеня (наприклад:  $K^{-1}$ ,  $s^{-1}$ ), застосовувати косу або горизонтальну риску не дозволяється. При застосуванні косої риски позначення одиниць у чисельнику і знаменнику слід розміщувати у рядок, добуток позначень слід заключати у дужки,

*наприклад*: m/c; m/s; W/(m·K); Вт/(м · К).

Математичні знаки слід застосовувати тільки у формулах. У тексті вони пишуться словами. Належить писати: « $U = 15 \text{ В}$ », але «напруга дорівнює 15 В». Виняток утворюють знаки плюс (+) і мінус (-) у супроводі цифр. Належить писати: «...температура змінюється від - 15 до +15 °С». Знаки №, %, і т.і. застосовують тільки у супроводі цифрових або літерних знаків; в інших випадках вони пишуться словами. Дозволяється написання знаків №, % не з цифрами в заголовках таблиць. Наприклад: «№ nn», «в %». Числа з розмірністю належить писати тільки цифрами.

Правильно

Температура 13 °С

Об'єм 30 м<sup>3</sup>

Перед числами з розмірністю прийменник (в) або знак тире (–) не ставлять.

Правильно

На частоті 70 МГц

Опір 50 Ом

Неправильно

Температура тринадцять градусів

Об'єм тридцять кубічних метрів

Неправильно

На частоті в 70 МГц

Опір - 50 Ом

Числа до десяти, при відсутності розмірності у тексті, пишуться словами, понад десять – цифрами. Дріб завжди пишеться цифрами. Слід писати: «Позначимо на кривій чотири точки», «Збільшимо на  $1/3$ ».

При переліку частин речення не дозволяється обривати фразу перед пронумерованими переліками на ... або... «з», «на», «від», «як», «що» і т. д.

*Наприклад*

Неправильно

Механізм складається з:

- 1) двигуна,
- 2) редуктора і т. д.

Правильно

Будова механізму включає:

- 1) двигун,
- 2) редуктор і т. д.

**Правила написання найменувань одиниць.** При застосуванні одиниць фізичних величин слід керуватися такими правилами відмінювання та утворення найменувань похідних одиниць:

– В найменуваннях одиниць площини і об'єму застосовують прикметники «квадратний» і «кубічний», *наприклад* квадратний метр, кубічний метр. Ці ж прикметники застосовують у випадках, коли одиниця площини або об'єму входить у похідну одиницю іншої величини, *наприклад* кубічний метр у секунду (одиниця об'ємної витрати), кулон на квадратний метр (одиниця електричного зсуву). Якщо ж друга чи третя степінь довжини не являють собою площину або об'єм, тоді в найменуванні одиниці замість слів «квадратний» або «кубічний» повинні застосовуватися вирази «у квадраті» або «у другому степені», «у кубі» або «у третьому степені». *Наприклад*, кілограм-метр у квадраті в секунду (одиниця моменту кількості руху); кілограм-метр у квадраті (одиниця динамічного моменту інерції).

– При відмінюванні найменувань похідних одиниць, утворених як добуток одиниць, змінюється тільки останнє найменування і відповідний до нього прикметник «квадратний» або «кубічний», *наприклад*: момент сили дорівнює п'яти ньютон-метрам, магнітний момент дорівнює трьом ампер-квадратним метрам.

– При відмінюванні найменувань одиниць, в яких є знаменник, змінюється тільки чисельник за правилом, встановленим для добутків одиниць, *наприклад*: прискорення дорівнює п'яти метрам на секунду в квадраті; питома теплоємність дорівнює чотирьом десятим джоуля на кілограм-кельвін.



## 5. СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Алексенко А.Г., Шагурин И.И. Микросхемотехника. – М.: Радио и связь, 1990. – 496 с.
2. Бойко В.А., Клименко Ю.В., Корнийчук В.К. Курсовые и дипломные проекты – требования к оформлению документации. – К.: «Корнійчук», 2003. – 176 с.
3. Букреев И.Н., Мансуров Б.М. Микроэлектронные схемы цифровых устройств. – М.: Тадио и связь, 1990. – 415 с.
4. Изделия электронной техники. Цифровые микросхемы. Микросхемы памяти. Микросхемы ЦАП и АЦП: Справочник. / О.Н. Лебедев, и др. Под ред. А.И. Ладики и А.И. Сташкевича. – М.: Радио и связь, 1994. – 248 с.
5. Угрюмов Е.П. Цифровая схемотехника. – СПб.: БХВ-Петербург, 2001. – 528 с.
6. Бабиц Н.Н., Жуков И.А. Основы цифровой схемотехники. Учеб. пособие. – М.: Издательский дом «ДОДЭКА-XXI», К.: «МК-Пресс», 2007. – 480 с.
7. Схемотехніка електронних систем. / Жуйков В.Я., Бойко В.І., Зорін А.А., Співак В.М. – К.: Аверс, 2002. – 772 с.
8. Гольперин М.В. Практическая схемотехника в промышленной автоматике. - М.: Энергоатомиздат, 1967. – 432 с.
9. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника. - М.: Мир, 1982. – 234 с.
10. Алексенко А.Г., Шагурин И.И. Микросхемотехника. - М.: Радио и связь, 1962. – 345 с.
11. Агаханян Т.М. Интегральные микросхемы. - М.: Энергоатомиздат, 1963.
12. Алексенко А.Г., Коломбет Е.А., Стародуб Г.И. Применение прецизионных аналоговых интегральных схем. - М.: Радио и связь, 1960.
13. Нестеренко Б.К. Интегральные операционные усилители: Справ. пособие по применению. - М.: Энергия, 1962,
14. Сигорский В.П., Петренко А.И. Основы теории электронных схем. -К.: Тэхника, 1972.
15. Гребен А.Б. Проектирование аналоговых интегральных схем. - М.: Энергия, 1976.
16. Достал И. Операционные усилители. - М.: 1982.
17. Зааль Р. Справочник по расчету фильтров. - М.: Радио и связь, 1983.
18. Капустян В.И. Активные RC-фильтры высокого порядка. - М.:Радио и связь, 1965.
19. Справочник по расчету и проектированию А С-схем / С.А Букашкин, В.П. Власов и др.; Под ред. А.А. Ланнэ. - М.: Радио и связь, 1964.

20. Шилов В.Я. Функциональные аналоговые интегральные микросхемы. -М.: Радио и связь, 1962.
21. Петренко А.И. Основы автоматизированного проектирования. - К.: Техника, 1962.
22. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники. - Т. I, 2. - М.: Мир, 1963.
23. Полонников Д.Е. Операционные усилители: принципы построения, теория, схемотехника. - М.: Энергоатомиздат, 1963.
24. Хьюлсман Л.П. Активные фильтры. - М.: Мир, 1972.
25. Головин О.В. Радиоприемные устройства. - М.: Высш. шк., 1967.
26. Источники электропитания радиоэлектронной аппаратуры: Справочник / Под ред. Г.С.Найвельта. - М.: Радио и связь, 1965.
27. Додик С.Д. Полупроводниковые стабилизаторы постоянного напряжения и тока. - М.: Сов. радио, 1960.
28. Полянин К.П. Интегральные стабилизаторы напряжения. - М.: Энергия, 1979.
29. Гутников В.С. Интегральная электроника в измерительных устройствах. - Л.: Энергия, 1960.
30. Радиопередающие устройства на полупроводниковых приборах. Проектирование и расчет / Под ред. Р.А. Валитова. - М.: Сов. радио, 1973.
31. Шитиков Г.Т. и др. Высокостабильные кварцевые автогенераторы. - М.: Сов. радио, 1974.
32. Фишер Д.Э., Гетланд Х.Б. Электроника - от теории к практике. -М.: Энергия, 1960.
33. Орнатский П.П. Теоретические основы информационно-измерительной техники. - К.: Высш шк., 1983.
34. Чинаев П.И., Чумаков П.В. и др. Расчет исполнительных, корректирующих и преобразовательных элементов автоматических систем. -К.: Техника, 1971.
35. Варшавер Б.А. Расчет и проектирование импульсных усилителей. -М.: Высш. шк., 1975.
36. Ефимов В.В. и др. Проектирование усилительных устройств. -М.: Высш. шк., 1962.
37. Алексенко А.Г., Шагурин И.И. Микросхемотехника: Учеб. пособие. - М.: Радио и связь, 1962.
38. Гольденберг Л.М. Импульсные и цифровые устройства. - М.: Связь, 1973.
39. Расчет электронных схем. Примеры и задачи: Учеб. пособие /Г.И.Изыорова и др. - М.: Высш. шк., 1967.
40. Регицкий В.И. Акустоэлектронные радиокомпоненты. - М.: Сов. радио, 1960.
41. Автоматизация схемотехнического проектирования: Учеб. пособие для вузов /В.Н.Ильин, В.Т.Фролкин и др. - М.: Радио и связь, 1967.

42. Справочник по алгоритмам и программам на языке Бейсик для персональных ЭВМ / В.П.Дьяконов. - М.: Наука, 1987.
43. Найдеров В.З., Голованов А.И. и др. Функциональные устройства на микросхемах. - М.: Радио и связь, 1965.
44. Кузнецов Ю.А., Шилин В.А. Микросхемотехника БИС на приборах с зарядовой связью. - М.: Радио и связь, 1966.
45. Яковлев В.Н. Микроэлектронные генераторы импульсов. - К.: Техника, 1962.
46. Мкртиан С.О. Преобразователи уровней логических элементов. -М.: Радио и связь, 1962.
47. Гольденберг Л.М. и др. Цифровые фильтры. - М.: Связь, 1974.
48. Преснухин Л.Н. и др. Расчет элементов цифровых устройств. -М.: Высш. шк., 1982.
49. Применение интегральных микросхем в электронной вычислительной технике: Справочник /Под ред. Б.Н.Файзулаева, Б.В.Тарабрина. - М.: Радио и связь, 1986.
50. Бочаров Л.Н., Жебрянов С.К. Расчет электронных устройств на транзисторах. - М.: Энергия, 1978.
51. Агаханян Т.М. Расчет импульсных устройств на полупроводниковых приборах. - М.: Сов. радио, 1982.
52. Колосов В.Г., Малехин В.Ф. Проектирование узлов и систем автоматики и вычислительной техники. - Л.: Энергоатомиздат, 1983.
53. Миловзоров В.П. Элементы информационных систем. - М.: Высш. шк., 1969.
54. Федорков Б.Г., Телец В.А. Микросхемы ЦАП и АЦП: Функционирование, параметры, применение. - М.: Энергоатомиздат, 1990.
55. Марцинкявичюс А.К. Быстродействующие ИС ЦАП и АЦП и измерение их параметров. - М.: Радио и связь, 1988.
56. Караханян Э.Р., Шилин В.А. Динамические интегральные схемы памяти с МДД-структурой. - М.: Радио и связь, 1984.
57. Кармазинский А.Н. Синтез принципиальных схем цифровых элементов на МОП-транзисторах. - М.; Радио и связь, 1983.
58. Янсен Й. Курс цифровой электроники. - Т. 2. Проектирование устройств на цифровых ИС. Перевод с гол. - М.: Мир, 1987.
59. Гупта, К., Гардж Р., Чадха Р. Машинное проектирование СВЧ устройств. - М.: Радио и связь, 1987.
60. Автоматизированное проектирование устройств СВЧ /В.В.Никольский, В.П. Орлов, В.Г. Феоктистов и др. /Под ред. В.В. Никольского. -М.: Радио и связь, 1982.

61. Хелзайн Дж. Пассивные и активные цепи СВЧ. - Пер. с англ. В.А. Невзнера; Под ред. А.С. Галина. - М.: Радио и связь, 1981.
62. Сазонов Д.М., Гридин А.М., Мищустин Б.А. Устройства СВЧ. - М.: Высш. шк., 1981.
63. Справочник по расчету и конструированию СВЧ полосковых устройств /С.И. Бахарев, В.И. Вольман, Ю.Н. Либ и др.; /Под ред. В.И.Вольмана. - М.: Радио и связь, 1982.
64. Конструирование экранов и СВЧ-устройств: Учебник для вузов / А.М. Чернушенко, Б.В. Петров, Л.Г. Малорацкий и др.; /Под ред. А.М.Чернушенко. - М.: Радио и связь, 1990.
65. Нефедов Е.И., Фиалковский А.Т. Полосковые линии передачи: Электродинамические основы автоматизированного проектирования интегральных схем СВЧ. - М.: Наука, 1960.
66. ГОСТ 18238-72. Линии передачи СВЧ. Термины и определения.
67. 60. Данилин В.П., Кушниренко А.И., Петров Г.В. Аналоговые полупроводниковые интегральные схемы СВЧ. - М.: Радио и связь, 1965.
68. Полупроводниковые приборы в схемах СВЧ /Под ред. М. Хауэса, Д. Моргана; Пер. с англ. /Под ред. В.С. Эткина. - М.: Мир, 1979.
69. Микроэлектронные устройства СВЧ / Н.Т., Ю.Г. Ефремов, В.В. Конин и др. К.: Техника, 1984.
70. Кузьмин А.А. Маломощные усилители с распределенным усилением. -М.: Сов. радио, 1974.
71. Николаев И.М., Филинюк Н.А. Микроэлектронные устройства и основы их проектирования. - М.: Энергия, 1979.
72. Фуско В. СВЧ цепи. Анализ и автоматизированное проектирование: Пер. с англ. - М.: Радио и связь, 1990.
73. Микроэлектронные устройств СВЧ / Г.И. Веселов, Е.Н. Егоров, Ю.Н.Алехин и др.; /Под ред. Г.И. Веселова. - М.: Высш. шк., 1988.
74. Гассанов Л.Г., Липатов А.А., Макаров В.В., Могильченко Н.А; Твердотельные устройства СВЧ в технике связи. - М.: Радио и связь, 1988.
75. Хотунцев Ю.Л. Полупроводниковые СВЧ устройства. – М.: Связь, 1978.
76. Пятлин О.А., Овсишер П.И. и др. Проектирование микроэлектронных цифровых устройств. - М.: Сов. радио, 1977.
77. Угрюмов Е.П. Проектирование элементов и узлов ЭВМ. - М.: Высш. шк., 1987.
78. Шило В.Л. Популярныe цифровые микросхемы: Справочник. - М.: Радио и связь, 1987.
79. Блейкли Т.Р. Проектирование цифровых устройств с малыми и большими интегральными схемами. - К.: Выща шк., 1981.

80. Голдсуорт Б. Проектирование цифровых логических устройств. -М.: Машиностроение, 1985.
81. Каган Б.М., Сташин В.В. Основы проектирования микропроцессорных устройств автоматики. - М.: Энергоатомиздат, 1967.
82. Микропроцессоры: В 3-х кн. /Под ред. Л.Н. Преснухина. - М.: Высш. шк., 1986.
83. Алексенко А.Г., Галицын А.А., Иванников А.Д. Проектирование радиоэлектронной аппаратуры на микропроцессорах. - М.: Радио и связь, 1984.
84. Анисимов Б.В., Соломатов Н.М. Основы расчета и проектирования ЦВМ. - М.: Высш. шк., 1974.
85. Каган Б.М., Сташин В.В. Основы проектирования микропроцессорных устройств автоматики. - М.: Энергоатомиздат, 1987.
86. Аналоговые интегральные микросхемы: Справочник / Б.П. Кудряшов, Ю.В. Назаров и др. - М.: Радио и связь, 1981.
87. Аналоговые и цифровые интегральные микросхемы: Справочник / Под ред. С.В. Якубовского. - М.: Радио и связь, 1984.
88. Микропроцессорные комплекты интегральных схем. Состав и структура: Справочник / Под ред. А.А. Васенкова. - М.: Радио и связь, 1982.
89. Интегральные микросхемы: Справочник / В.В. Тарабрин, Л.Ф. Лунин и др. - М.: Радио и связь, 1985.
90. Гнатек Ю.Р. Справочник по ЦАП и АЦП: Пер. с англ. - М.: Радио и связь, 1982.
91. Справочник по учебному проектированию приемно-усилительных устройств /М. К. Белкин, В.Т. Белинский и др. - К.: Выща шк., 1988.
92. Герасимович М.В. Справочник по электронно-лучевым трубкам. -К.: Тэхника, 1986.
93. Бондаренко О.Е., Федотов Л.М. Конструкторско-технологические основы проектирования микросборок. - М.: Радио и связь, 1988.
94. Аксенова И.К., Мельников А.А. Основы конструирования радиоэлектронных приборов. - М.: Высш. шк., 1966.
95. Тули С. Справ. пособие по цифровой электронике: Пер. с англ. М.: Энергоатомиздат, 1990.
96. Хвощ С.Т., Варлинский Н.Н. и др. Микропроцессоры и микро-ЭВМ в системах автоматического управления: Справочник. - Л.: Машиностроение, 1967.
97. Проектирование микропроцессорной электронно-вычислительной аппаратуры: Справочник /В.Г. Артюхов, А.А. Будняк и др. -К.: Тэхника, 1986.
98. Справочник по микропроцессорным устройствам / А.А. Молчанов и др. К.: Тэхника, 1967.

99. Щербаков В.И., Грездов Г.И. Электронные схемы на операционных усилителях: Справочник. - К.: Техника, 1983.
100. Вениаминов В.Н., Лебедев С.Н. Микросхемы и их применение. -М.: Радио и связь, 1969.
101. Справочник по цифровой-схемотехнике / В.И. Зубчук, В.П. Сигорский, А.Н. Шкуро. - К.: Техника, 1990.
102. Справочник по импульсной технике / В.Н. Яковлев, В.В. Воскресенский и др. -К.: Техника, 1970.
103. Аналоговые и цифровые интегральные микросхемы /Под ред. С.В. Якубовского. - М.: Радио и связь, 1964.
104. Интегральные микросхемы: Справочник /В.В. Тарабрин и др. -М.: Радио и связь, 1964.
105. Транзисторы для аппаратуры широкого применения: Справочник / Под ред. Б.Я. Перельмана. - М.: Радио и связь, 1962.
106. Системы автоматизированного проектирования в радиоэлектронике: Справочник / Под ред. И.П. Норенкова. - М.: Радио и связь, 1966.
107. Полупроводниковые приборы. Диоды, тиристоры, оптоэлектронные приборы: Справочник / Под ред. Н.Н. Горюнова. - М.: Энергоатомиздат, 1982.
108. Разработка и оформление конструкторской документации радиоэлектронной аппаратуры: Справочник / Э.Т. Романычев, А.Н. Иванова и др. -М.: Радио и связь, 1969.
109. ЕСКД. Справочное пособие. - М.: Издательство стандартов, 1986.
110. Автоматизация чертежно-конструкторских работ / Под ред. Э.Т. Романычевой. - М.: МИЭТ, 1967.
111. Горелик А.Г. Автоматизация инженерно-графических работ с помощью ЭВМ. - Минск; Вышэйш. шк., 1960.
112. ГОСТ 2.108 – 68(73). ЕСКД. Спецификация.
113. ГОСТ 2.306 - 68(80). ЕСКД. Обозначения графические материалов и правила их нанесения на чертежах.
114. ГОСТ 2.307 - 68(73). ЕСКД. Нанесение размеров и предельных отклонений.
115. ГОСТ 2.310 – 68(88). ЕСКД. Нанесение на чертежах обозначений покрытий, термической и других видов обработки.
116. ГОСТ 2.316 – 68(89). ЕСКД. Правила нанесения на чертежах надписей технических требований и таблиц.
117. ГОСТ 2.319 – 83в. ЕСКД. Правила выполнения диаграмм.
118. ГОСТ 2.701 – 84(91). ЕСКД. Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению.

119. ГОСТ 2.702 – 75(91). ЕСКД. Правила выполнения электрических схем.
120. ГОСТ 2.703 – 68(81). ЕСКД. Правила выполнения кинематических схем.
121. ГОСТ 2.704 – 76(81). ЕСКД. Правила выполнения гидравлических и пневматических схем.
122. ГОСТ 2.710 – 81(89). ЕСКД. Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах.
123. ГОСТ 2.721 – 74(91). ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Обозначения общего применения.
124. ГОСТ 2.770 – 68(82). ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Элементы кинематики.
125. ГОСТ 8.417 - 81. ГСИ. Единицы физических величин.
126. Графическое изображение электрорадиосхем. Справочник / Усатенко С.Т. и др. – К.: Техника, 1986. – 120 с.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. ДСТУ 3008 – 95. Документація. Звіти в сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення.
2. Разработка и оформление конструкторской документации РЭА: Справ. пособие / Э.Т. Романычева, А. К. Иванова, А. С. Куликов, Т. П. Новикова. – М.: Радио и связь, 1984. – 256 с.
3. Дипломне проектування: Методичні рекомендації до виконання дипломних проектів з спеціальності приладобудування / Укл. Л.П. Медяний. – Київ: НТУУ «КПІ», 1998. – 78 с.



## Додаток А

### Теми курсових проектів

#### А.1. Загальні теми

У наведеному далі переліку тим зазначені назви проєктованих пристроїв та їх основні параметри по п'ятьох варіантах. Кілька значень одного параметра для одного варіанта відповідають програмованим перемиканням за допомогою вхідного коду (паралельного або послідовного, за узгодженням з викладачем).

У тих випадках, коли зазначені межі зміни параметра, передбачається програмне перемикання з дискретністю перемикання 0,1 або 0,01 від величини діапазону.

Всі пристрої повинні мати індикацію гранично припустимого значення основного параметра (наприклад, максимальна вихідна потужність, струм або ін.) або автоматичний захист. Вимірювальні пристрої повинні мати цифрову індикацію. Для всіх пристроїв передбачається діапазон робочих температур 0...50 °С, у якому припустимі відхилення основних параметрів не повинні перевищувати 10 % від номінальних при 25 °С. Уточнення та вибір додаткових параметрів проводиться за узгодженням з керівником проєкту.

Таблиця А.1 – Підсилювач гармонічних сигналів

Параметр	Варіант				
	1	2 3	3	4	5
Коефіцієнт підсилення $K_{\text{во}} \times 10^3$	1; 2; 4; 10	1...10	10; 20; 50	0,1...1	1; 10 20
Смуга пропускання: $f_H$ /Гц/ $f_B$ /КГц/	50 103	20 200	0 $2 \times 10^3$	100 $10^4$	0 1
Коефіцієнт частотних спотворень, М	1,2	1,3	1,4	1,1	1,5
Максимальна вихідна напруга $U_M$ , в при коефіцієнті нелінійних спотворень 10 %	50	1	10	5	12

Продовження таблиці А.1

1	2	3	4	5	6
Вхідний опір $R_{вх}$ , кОм	1	100	10	0,05	50
Опір навантаження $R_{н}$ , кОм	0,05	1	2	0,05	1
Ємність навантаження $C_{н}$ , пФ	10	15	50	5	15

Таблиця А.2 – Імпульсний підсилювач

Параметр	Варіант				
	1	2	3	4	5
Максимальна амплітуда вихідного сигналу $U_m$ , В	5	5	10	15	20
Полярність сигналу	+	+, -	+, -	-	+
Коефіцієнт підсилення, $\times 10^2$	2; 10; 100	1; 10; 50; 100; 200	10; 20; 30; 40	1; 2; 3; 4; 5; 10	1; 2; 3; 4; 5; 10
Тривалість імпульсу $T_{и}$ , с	0,1...1	1...10 <sup>3</sup>	10...10 <sup>4</sup>	1...10 <sup>4</sup>	1...10 <sup>3</sup>
Тривалість фронту вхідного імпульсу, мкс	0,01	0,1	0,1	0,1	0,1
Максимальна тривалість фронту вхідного імпульсу, мкс	0,03	0,5	3	0,5	0,5
Скол вершини імпульсу, не більше $\delta$ , %	0	5	10	10	10
Опір навантаження $R_{н}$ , Ом	50	100	75	200	200
Ємність навантаження $C_{н}$ , пФ	10	15	20	10	10
Вхідний опір, не менше $R_{вх}$ , кОм	1	10	100	100	100

Таблиця А.3 – Підсилювач потужності

Параметр	Варіант				
	1	2	3	4	5
Вихідна потужність, Вт	1...5	1...10	1...20	1...30	1...50
Смуга підсилення					
$f_H$ /Гц/	10	20	30	40	50
$f_B$ /кГц/	20	18	15	15	18
Коефіцієнт частотних спотворень, М	1,2	1,1	1,3	1,4	1,4
Коефіцієнт нелінійних спотворень $\gamma$ , %	1	2	3	5	10
Опір навантаження $R_H$ , Ом	8	16	16	8	4
Ємність навантаження $C_H$ , пФ	20	10	10	10	10
Вхідна напруга $U_{вх}$ , мВ	1	2	5	10	10

Таблиця А.4 – Генератор гармонічних сигналів

Параметр	Варіант				
	1	2	3	4	5
Частота генерації $f_G$ , кГц	1; 2; 3; 5; 10	1...100	0,2...5	1...20	1...50
Вихідна потужність $P$ , Вт	1	2	5	0,1	0,5
Опір навантаження $R_H$ , Ом	5	10	75	50	50
Нестабільність частоти $C_H$ , %	0,1	0,5	1	0,1	0,5
Коефіцієнт нелінійних спотворень $\gamma$ , %	1	1	2	0,5	1

Таблиця А.5 – Джерело живлення

Параметр	Варіант				
	1	2	3	4	5
Вихідна напруга, В	0...10	0...5	0...24	200 300 400 600	1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; /±
Максимальний струм навантаження, А	3	5	1	0,1	5
Коефіцієнт нестабільності по напрузі, %	0,01	0,001	0,1	1	0,01
Коефіцієнт нестабільності по струму, %	0,1	0,01	0,5	5	0,1
Напруга мережі, В	220	220	24	12	220
Частота мережі, Гц	50	50	0	0	50

Таблиця А.6 – Частотний фільтр

Параметр	Варіант				
	1	2	3	4	5
Тип фільтра	ФНЧ	ФВЧ	ПФ	ЗФ	ФНЧ
Максимальний коефіцієнт передачі у смузі пропускання $K_0$ , дБ	100 50 10	100 50 10	1000 100 10	0	0
Частота зрізу (на рівні зменшення коефіцієнта передачі на 3 дБ), $f_c$ , кГц	2	5	8,12	6,12	0,2 0,6 0,8
Частота затримки $f_z$ , кГц	4	3	5,18	8,10	0,4 1,2 1,6
Відносне затухання коефіцієнта передачі на частоті затримки $K_z/K_0$ , дБ	-40	-40	-40	-30	-30
Вид апроксимації	Батт.	Батт.	Чебиш.	Батт.	Чебиш.
Вхідний опір, кОм	100	50	100	50	500
Опір навантаження, кОм	1	2	0,1	0,2	0,05

Таблиця А.7 – Генератор імпульсних сигналів

Параметр	Варіант				
	1	2	3	4	5
Амплітуда $U_M$ , В	1...10	1...5	1, 2, 5, 10	1...10	1...20
Полярність	+	+	+	-	-
Форма	Т	П	С	Т	П
Тривалість $t_u$ , мкс	500	1...100	1000	10...100	1...200
Тривалість фронту $t_f$ , мкс	10	0,5	100	1	1
Частота повторення, кГц	0,5	10	0,1	8	2
Кількість ступенів	-	-	4; 8; 10	-	-
Не лінійність $\gamma$ , %	-	0,1	-	-	1
Опір навантаження, Ом	100	50	100	50	500
Ємність навантаження, пФ	10	20	20	10	15

Примітка: Т- трапецидальна , П-пилкоподібна, С- ступенева.

Таблиця А.8 – Електронний таймер

Параметр	Варіант				
	1	2	3	4	5
Часовий інтервал, с	0...100	0...10 <sup>3</sup>	1...10 <sup>4</sup>	1...10 <sup>5</sup>	0...10
Похибка встановлення часового інтервалу, %	0,01	0,1	0,01	0,001	0,01
Число вихідних каналів управління	4	3	2	2	4
Комутаційна напруга, В, і струм, А	220 5	220 5	24 3	60 5	220 5
Індикація: хв - хвилини, с - секунди	с	с; хв	с; хв	с; хв	10 <sup>-3</sup> с

Таблиця А.9 – Вимірювач параметрів електричного сигналу

Параметр	Варіант				
	1	2	3	4	5
Тип сигналу	С	І	С	І	П
Вимірюваний параметр	Амплітуда	Амплітуда	Частота	Тривалість імпульсу	Напруга
Діапазон вимірювання	0...10, В	0...10, В	0,1...100, кГц	1...1000, мкс	0...100, В
Кількість піддіапазонів	2	2	3	3	3
Похибка, %	0,1	1	0,1	0,5	0,1
Не вимірювальні параметри сигналу: частота, мГц амплітуда, В тривалість, мкс	0,01...1 - -	0,01...1 - -	- 0,1...10 1...5	10 <sup>-1</sup> 0,1...10 -	- - -
Вхідний опір, кОм	10	10	100	0,1	1000

Примітка: С-Синусоїдальний, І-імпульсний, П-постійна напруга.

Таблиця А.10 – Вимірювач неелектричних величин

Параметр	Варіант				
	1	2	3	4	5
Вимірювана величина	Т	Ч	М	Р	С
Діапазон вимірювання	-50...100, °С	1 мкс...1, с	0...10, кг	0...100, мР/год.	0...10, лм
Кількість піддіапазонів вимірювання	2	3	3	3	4
Похибка вимірювання в піддіапазоні, %	1	0,1	0,1	5	1
Час вимірювання, с	10	2	10	10	0,1

Примітка: Т - температура, Ч - час, М - вага, Р - рівень радіації, С - світловий потік.

Таблиця А.11 – Арифметико-логічний пристрій

Параметр	Варіант				
	1	2	3	4	5
Кількість вхідних операндів	2	2	3	3	4
Розрядність операндів	4	8	3	4	2
Кількість логічних і арифметичних операцій	16	8	12	8	16
Вид логічних і арифметичних операцій	Визначається керівником проекту				
Тип логіки: + - позитивний, - негативний	+	-	+	+	-
Максимальна частота перетворення, МГц	10	1	5	10	8
Рівні вхідних і вихідних сигналів, В	+2 -2	-4 -0,5	10 1	3 0,5	0,5 5

Таблиця А.12 – Лічильник-формувач кода

Параметр	Варіант				
	1	2	3	4	5
Основні рахунки	6	10	12	16	16
Код, що формується	Грея	7421	Джонсона	Джонсона	Грея
Амплітуда вхідних імпульсів, В	$10^{-3}$	0,05	0,01	0,01	0,05
Тривалість імпульсів, нс	10	50	60	80	100
Частота лічби, МГц	50	10	5	5	1
Число розрядів	4	6	4	4	4
Індикація: Д - десятковими цифрами - Г-гексокодом	Д	Д	Г	Г	Г

Таблиця А.13 – Цифровий формувач періодичних сигналів

Параметр	Варіант				
	1	2	3	4	5
Форма сигналів					
Амплітуда, В	1	5	8	10	12
Частота, кГц	1; 2; 4; 10;	5; 10; 20	1...10	0,1...10	1; 4; 10
Похибка, %	0,1	1	2	1	5
Опір навантаження, Ом	100	50	200	50	500

Таблиця А.14 – Цифровий вимірювач імпедансу

Параметр	Варіант				
	1	2	3	4	5
Вимірювана величина	Опір	Провідність	Ємність	Індуктивність	Ємність
Межі вимірювання	0,01...10 <sup>3</sup> , кОм	0,1...10 <sup>4</sup> , См	0,1...10 <sup>4</sup> , нФ	0,1...10 <sup>4</sup> , мГн	0,01...10 <sup>3</sup> , мФ
Похибка, %	1	1	2	1	1
Час вимірювання, с	0,1	0,1	1	1	1

## А.2. Спеціальні теми

Таблиця А.15

№	Тема
1	2
1.	Цифровий вимірювач частоти пульсу
2.	Генератор терапевтичного магнітного поля
3.	Електронний імітатор PQRS-T-комплексу
4.	Пристрій для електроіскрової терапії
5.	Цифровий вимірювач біопотенціалів
6.	Цифровий таймер лікувальних процедур
7.	Медичний цифровий вимірювач температури
8.	Багатоканальний реєстратор ЕЕГ
9.	Пристрій для вимірювання ВАХ БАТ



Продовження таблиці А.15

1	2
10.	Цифровий вимірювач вологості БАТ
11.	Електронний стереофонендоскоп
12.	Програмований генератор імпульсів для стимуляції БАТ
13.	Електронний КВЧ-стимулятор БАТ
14.	Цифровий вимірювач опору БАТ
15.	Генератор для лазеропунктури
16.	Пристрій для біорезонансної терапії
17.	Пристрій для реєстрації фонокардіограм
18.	Цифровий вимірювач радіоактивності
19.	Цифровий вимірювач дози опромінення
20.	Цифровий вимірювач концентрації газів
21.	Пристрій для реєстрації ЕКГ
22.	Цифровий вимірювач артеріального тиску
23.	Цифровий вимірювач насичення крові киснем
24.	Пристрій для реєстрації пульсових хвиль
25.	Цифровий електронний спірометр
26.	Генератор для дарсонвалізації ділянки тіла
27.	Пристрій для акустотерапії
28.	Пристрій для термпунктури
29.	Реєстратор випромінювання біооб'єктів
30.	Фазовий детектор для обробки сигналів МРТ
31.	Канал перетворення сигналів для рентгенівського комп'ютерного томографа
32.	Аналоговий канал підсилення сигналів ультразвукового ехоскопа
33.	Генератор імпульсів для УЗД-ехоскопа
34.	Система часового керування підсиленням сигналів УЗД-ехоскопа
35.	Цифровий генератор імпульсних послідовностей для магніто-резонансного томографа.
36.	Неінвазивний вимірювач рівня глюкози в крові.

Додаток Б  
Зразки документів до курсового проекту

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**  
**“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”**  
**Факультет електроніки**  
**Кафедра фізичної та біомедичної електроніки**

Інв. № \_\_\_\_\_

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

до курсового проекту по курсу "Цифрова схемотехніка"

на тему: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Студент групи \_\_\_\_\_  
номер групи підпис ім'я, по-батькові, прізвище

Керівник роботи \_\_\_\_\_ к.т.н., ст. викл. А.О. Попов

Національний технічний університет України  
“Київський політехнічний інститут”

Факультет електроніки  
Кафедра фізичної та біомедичної електроніки

**ЗАВДАННЯ**

**на курсовий проект по курсу “Цифрова схемотехніка”**

студенту \_\_\_\_\_

1. **Тема проекту** \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

2. **Термін здачі** студентом закінченого проекту “ 17.” грудня 2008 р.

3. **Дані до проекту** \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**4. Перелік питань, які мають бути розроблені:**

огляд літератури по темі КП, опис принципів роботи пристрою, аналіз варіантів виконання пристрою, обґрунтування критеріїв вибору, вибір та обґрунтування використання елементної бази, розрахунок вузлів принципової схеми, розрахунок номіналів елементів схеми, розрахунок необхідних параметрів пристрою в різних

режимах, порівняння отриманого результату з заданими вимогами, моделювання роботи пристрою

5. Перелік обов'язкового графічного матеріалу:

креслення схеми структурної, схеми електричної принципової, плати друкованої

6. Дата видачі завдання “\_\_\_\_\_” \_\_\_\_\_ 200\_\_ р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН-ГРАФІК  
виконання курсового проекту**

№ з/п	Назва етапів роботи та питань, які мають бути розроблені відповідно до завдання	Термін виконання	Позначки керівника про виконання завдань
1	Аналіз завдання на КП, підбір та огляд літератури, уточнення технічних умов.	до 01.10.2008	
2	Вибір принципів побудови та конструкції майбутнього приладу, написання теоретичної частини ПЗ.	01.10.2008 – 31.10.2008	
3	Розрахунок вузлів принципової схеми, моделювання роботи пристрою, підбір компонентів, підготовка креслень.	01.11.2008 – 30.11.2008	
4	Оформлення ПЗ до КП згідно вимог ЄСКД та ДСТУ 3008-95.	01.12.2008- 16.12.2008	
5	Здача готового проекту на перевірку.	до 17.12.2008	

Керівник проекту \_\_\_\_\_

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_

## Додаток В

## Зразок оформлення специфікації

Позиційне позначення	Найменування	Кількість	Примітка
	Резистори		
P1	МЛТ-0,5-27 кОм $\pm$ 5% ГОСТ 7113-77	1	
P2	МЛТ-0,5-27 кОм $\pm$ 5%	1	
P3	СП5-16ВА-0,5-4,7К $\pm$ 5%	1	
P4	МЛ-0,125-1 кОм $\pm$ 5%	1	
P5	СЗ-33Н-0,125-110 Ом $\pm$ 1%	1	
P6-P8	МЛТ-0,15-1,5 кОм $\pm$ 5%	3	
	Конденсатори		
	КМ-56 ОЖО.460.043 ТУ		
	К50-6 ОЖО. 464.031 ТУ		
С-1	КМ-56-0,047 $\pm$ 5%	1	
С-2	К50-6-6В-4.7 мкФ	1	
С3-С4	КМ-56-0,01 $\pm$ 5%	2	