

СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

Навчально-науковий інститут (факультет) інформаційних технологій та електроніки

Кафедра інформаційних технологій та програмування

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до кваліфікаційної випускної роботи

освітній ступінь бакалавр
спеціальність 172 „Телекомунікації та радіотехніка”
(шифр і назва спеціальності)

на тему «Розробка та моделювання електричних параметрів регулятора обертів
двигуна»

Виконав: студент групи РЕА-216д

(підпис)

О.В. Кирдан

(ініціали і прізвище)

Керівник

(підпис)

І.С. Тюндер

(ініціали і прізвище)

Завідувач кафедри

(підпис)

О.І. Захожай

(ініціали і прізвище)

Рецензент В.А. Зінченко

Київ – 2025

СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

Навчально-науковий інститут (факультет) інформаційних технологій та електроніки

Кафедра інформаційних технологій та програмування

Освітній ступінь бакалавр

спеціальність 172 „Телекомунікації та радіотехніка”

(шифр і назва спеціальності)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

“___” _____ Захожай О.І.
2025 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ ВИПУСКНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Кирдан Олексій Володимирович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Розробка та моделювання електричних параметрів регулятора обертів двигуна

керівник роботи Тюндер Ірина Сергіївна, ст.викладач

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджений наказом університету від “27__”_05_2025 року
№ 67/15.15-С

2. Строк подання студентом роботи 08.06.2025р.

3. Вихідні дані до роботи: Об'єктом даної роботи є процес створення регулятора обертів двигуна

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Вступ. Аналітичний огляд, з висвітленням наступних питань: аналіз аналогів розроблюваного пристрою.

Основна частина, в якій висвітлено аналіз електричної принципової схеми, Аналіз елементної бази розроблюваного пристрою, розрахунок параметрів друкованої плати, моделювання електричних параметрів операційного підсилювача. Висновки. Перелік використаних джерел.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслеників) Додаток А. Трасування друкованої плати, Додаток

В. Складальне креслення друкованої плати

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 31.03.2025р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання кваліфікаційної випускної роботи	Строк виконання етапів	Примітка
1	Одержання завдання на виконання роботи	31.03.25	виконано
2	Укладання і погодження з керівником плану і етапів виконання роботи	07.04.25	виконано
3	Узагальнення даних літературних джерел, укладання розділу «Аналіз предметної галузі»	14.04.25	виконано
4	Аналіз шляхів виконання завдання. Вибір і погодження з керівником оптимального шляху	21.04.25	виконано
5	Дослідження та модулювання об'єктів або процесів	28.04.25	виконано
6	Укладання, оформлення та погодження пояснювальної записки з керівником	05.05.25	виконано
7	Здача готової пояснювальної записки на кафедру	09.06.25	виконано
8	Укладання доповіді і презентації	10.06.25	виконано

Студент

_____ О.В. Кирдан
підпис (ініціали і прізвище)

Керівник роботи

_____ І.С. Тюндер
підпис (ініціали і прізвище)

РЕФЕРАТ

Робота містить:

69 сторінок основного тексту, 4 сторінки додатків, 31 рисунок, 11 використаних джерел, 9 таблиць.

Метою випускної кваліфікаційної роботи є розробка та моделювання електричних параметрів операційного підсилювача, який є в складі регулятора обертів двигуна.

В ході розробки пристрою були проаналізовані аналогі регулятора обертів двигуна. В ході виконання роботи було спроектована топологія плати регулятора обертів двигуна на основі схеми електричної принципової відповідно до вимог технічного завдання. Проведені конструктивні розрахунки, розрахунки по постійному та змінному струму. Проаналізовані та узагальнені отримані результати. Промодельовані параметри операційного підсилювача за допомогою програми Electronic Workbench. Продемонстровано результат виконаної роботи.

Проектований пристрій задовольняє всім вимогам, пред'явленим в технічному завданні.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД АНАЛОГІВ ПРОЕКТОВАНОГО ПРИБОРУ	8
1.1. Простий регулятор обертів електродвигуна від 6 до 25 вольт	8
1.2. Регулятор обертів колекторного двигуна 220В	11
1.3. ШІМ - регулятор обертів двигуна 12 вольт на таймері ne555	13
1.4. Двонаправлений регулятор швидкості обертання двигуна постійного струму з використанням методу ШІМ	15
2.АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ	20
2.1. Аналіз призначення і принципової схеми виробу	20
2.2. Вибір елементної бази	22
2.3.Конструктивно-технологічні вимоги проектного виробу	41
3.РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ПРИБОРУ	42
3.1. Вибір конструкції друкованої плати	42
3.2. Конструктивно-технологічний розрахунок друкарського монтажу	44
3.3. Розрахунок по постійному струму	51
3.4. Розрахунок по змінному струму	52
4.ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ОПЕРАЦІЙНОГО ПІДСИЛЮВАЧА ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОГРАМИ ELECTRONIC WORKBENCH	55
4.1.Основні відомості про операційні підсилювачі	55
4.2. Дослідження електричних параметрів операційного підсилювача TL074 за допомогою програми Electronic Workbench	59
4.3. Дослідження неінвертуючих і інвертуючих схем включення операційного підсилювача (ОП)	64
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ	68
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	69

Додаток А	70
Додаток В	72

ВСТУП

Актуальність. Регулятор швидкості двигуна має попит в електричних силових установках різного типу і потужності. Сьогодні сфери застосування електродвигунів настільки різноманітні, але вимоги до них різні. Навіщо потрібний регулятор швидкості двигуна. Справа в тому, що ефективне налаштування методу керування двигуном дозволяє створювати невеликі енергозберігаючі та точно працюючі установки.

Замість використання більш важкого і потужного двигуна, в окремих ситуаціях більш практичним рішенням буде використання дешевшої і легшої моделі з меншою інерцією та енергоспоживанням, оснащеною таким блоком, як контролер обертів двигуна.

Об'єкт дослідження: регулятор швидкості двигуна.

Предмет дослідження: розроблена плата регулятора швидкості двигуна на основі принципової електричної схеми.

Мета дослідження: створення електронного пристрою.

Задачі дослідження:

1. Вибір електричної принципової схеми регулятора швидкості двигуна;
2. Розробка друкованої плати електронного пристрою регулятора швидкості двигуна;
3. Моделювання електричних параметрів операційного підсилювача за допомогою програми Electronic Workbench.

1.АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД АНАЛОГІВ ПРОЕКТОВАНОГО ПРИСТРОЮ

1.1. Простий регулятор обертів електродвигуна від 6 до 25 вольт.

Між джерелом живлення та навантаженням може бути підключений цей простий та надійний регулятор обертів електродвигуна. Для підключення регулятора обертів може використовуватися батарея або AC/DC адаптер навантаження.

В цьому випадку лампа розжарювання або двигун постійного струму може бути навантаженням. Схема може працювати майже без втрати енергії. Все відбувається завдяки імпульсній роботі (ШИМ). Використовувати радіатор для транзистора керування не треба.

Ця схема може бути використана для виготовлення регулятора обертів дреля для свердління плат. В цьому випадку забезпечується робота дреля з відносно великим моментом, що крутить, навіть під час малих оборотів.



Рисунок 1. Зовнішній вигляд простого регулятора обертів електродвигуна

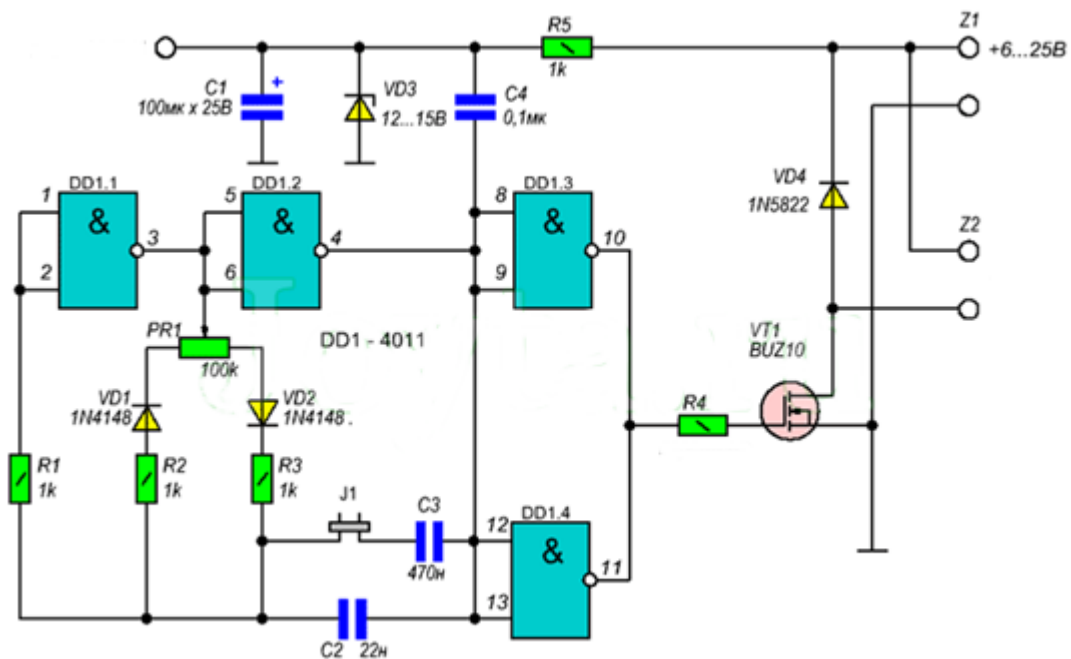


Рисунок 2. Електрична принципова схема простого регулятора обертів електродвигуна

Для побудови ШІМ генератора використовуються логічні елементи DD1.1, DD1.2 (CD4011). Захисну функцію виконує резистор R1. Опор потенціометра PR1 з R2, R3 та ємністями C2 або C3 визначають частоту генератора. При цьому транзистором MOSFET (VT1) керують логічні елементи DD1.3, DD1.4, які паралельно з'єднані між собою.

Не потрібен резистор R4 при використанні схеми транзистора MOSFET. На місце резистора R4 встановлюється перемичка. Цей резистор (R4) передбачений тільки на той випадок, якщо замість MOSFET буде встановлено транзистор Дарлінгтона структури n-p-n, наприклад, BD649. Резистор R4 повинен мати значення 1кОм...2,2кОм для обмеження струму бази.

Коефіцієнт заповнення сигналу, що генерується можна змінювати приблизно від 1% до 99% потенціометром PR1. Транзистор VT1 відкриває та закриває періодичний сигнал з генератора. При цьому від коефіцієнта заповнення сигналу буде залежить середня потужність, що надходить на

навантаження (роз'єм Z2). Потенціометр PR1 дає можливість плавно регулювати потужність, що подається на навантаження.

При індуктивному навантаженні використовується включений „навпаки” діод VD4. На стоку транзистора VT1 виникають імпульси, що значно перевищують допустиме значення для транзистора, якщо не використовувати діод VD4 в момент відключення. Це може вивести транзистор VT1 з ладу.

На транзисторі VT1 втрати потужності малі завдяки його імпульсній роботі. В цьому випадку транзистор можна використовувати без радіатора. Якщо струми в транзисторі порядку декількох ампер, то потужності навантаження є до 100 Вт. Обороти двигуна залежать від його навантаження. Стабілізатор оборотів двигуна є пристроєм регулятора потужності.

З'єднувальний шнур повинен мати вигляд крученої пари (звичайні два скручені між дроти). До гнізда живлення Z1 можна рекомендувати додатково підключити електролітичний конденсатор або набір конденсаторів ємністю 1000...10000мкФ.

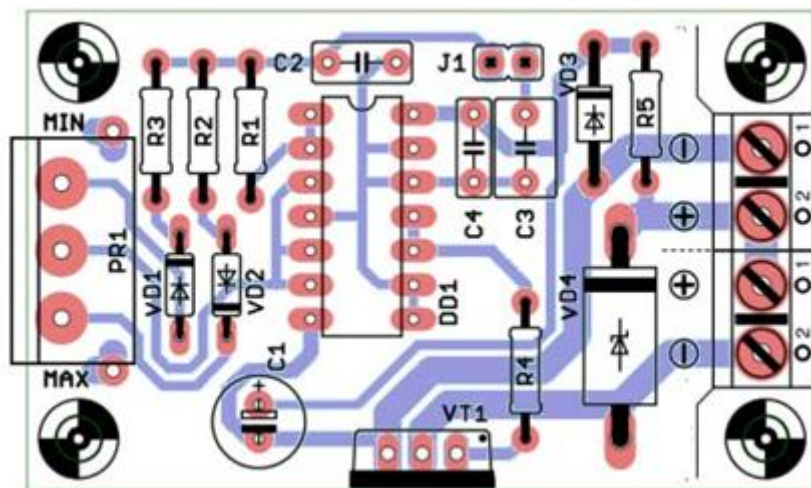


Рисунок 3. Складальне креслення друкованої плати простого регулятора оборотів електродвигуна

За допомогою перемички J1 в схемі підключають додатковий конденсатор С3. Включення цього конденсатора викликає зниження частоти роботи генератора з 700Гц до 25Гц.

Хоча в деяких випадках зниження частоти може бути неприйнятним, наприклад, це може призвести до помітного мерехтіння лампи. Тоді необхідно самостійно підібрати оптимальну ємність С3.

1.2. Регулятор обертів колекторного двигуна 220В.

Симістор ВТА26-600 використовується в схемі регулятора обертів колекторного двигуна. Симістр розрахован на напругу 220В і струм 25 ампер. Потужність підвищиться, якщо встановити симістор на радіатор. За допомогою схеми можна керувати дрилем, електролобзиком або УШМ інструментом до 4 кВт.

Регулятора також можна використовувати для плавного регулювання потужності нагрівальних приладів. І регулятор може працювати як диммер ламп розжарювання.

Цей пристрій не підходить для керування двигунами постійного струму, трифазними двигунами змінного струму, асинхронними або іншими електродвигунами безколекторними змінного струму.

Мікросхема U2008У застосовується в регуляторі. Для керування фазою розроблена мікросхема U2008В за біполярною технологією. Чіп визначає струм навантаження та керує фазою з компенсацією мережі. Мікросхема призначена для захисту від перевантаження та керування двигуном із зворотним зв'язком по струму навантаження.

З особливостей мікросхеми U2008:

- модуль плавного запуску
- блок виявлення навантаження
- стабілізатор швидкості обертання
- стабілізатор напруги
- прецизійний компаратор
- джерело опорної напруги



Рисунок 4. Розпинування та призначення виводів U2008

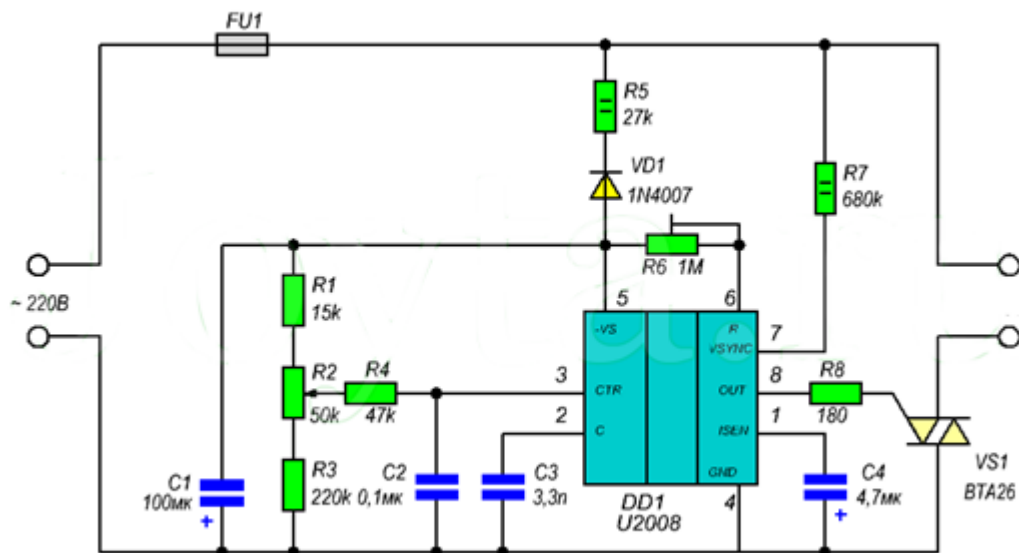


Рисунок 5. Електрична принципова схема регулятора обертів колекторного двигуна 220В

Для обмеження напруги до безпечного значення використовується резистор R5. Однонапівперіодним випрямлячем є діод VD1. В якості діода VD1 використовується 1N4007. Для фільтрації напруги живлення використовується конденсатор C1. Конденсатор C4 використовують для за плавного пуску. Для того щоб визначити величину потужності, яку подають на навантаження треба використовувати резистори R1, R3 та потенціометр R2.

Коли симістр переходить через нуль, то відбувається керування їм за допомогою резистора R7, який підключають до фазного дроту. При цьому рівень перешкод, що генеруються зводиться до мінімуму.

Якщо на навантаження подається мінімальна напруга, то встановлюється максимальний кут включення симистора за допомогою потенціометр R6. Для того щоб отримати мінімальні обороти двигуна треба виставити потенціометр R6 і R2 в крайнє ліве положення (мінімум).

При першому увімкненні регулятора треба виконати нескладне регулювання. Треба підключити до регулятора навантаження, наприклад, електродвигун або лампочку та встановити потенціометри R2 та R6 відповідно до потреб. Потенціометром R2 можна плавно відрегулювати обороти, а потенціометром R6 задати початковий кут включення симистора, тобто мінімальну ефективну напругу на навантаженні.

У схеми відсутня гальванічна розв'язка із електромережею. Тому складання та налаштування схеми треба виконувати при вимкненій електромережі.

1.3. ШІМ - регулятор обертів двигуна 12 вольт на таймері ne555

Широтно-імпульсна модуляція або просто ШІМ може бути використана в схемі регулятора обертів двигуна постійного струму на 12 вольт. Якщо

використовувати зміну постійної напруги, яка буде подаватися на двигун, то в цьому випадку можна отримати меншу продуктивність ніж за допомогою регулювання частоти обертання валу за допомогою ШІМ.

На популярному таймері NE555 побудовано ШІМ мультівібратор. ШІМ мультівібратор підключений до польового транзистора VT1 і керує двигуном. Через застосування таймера NE555 схема регулювання обертів вийшла досить простою.

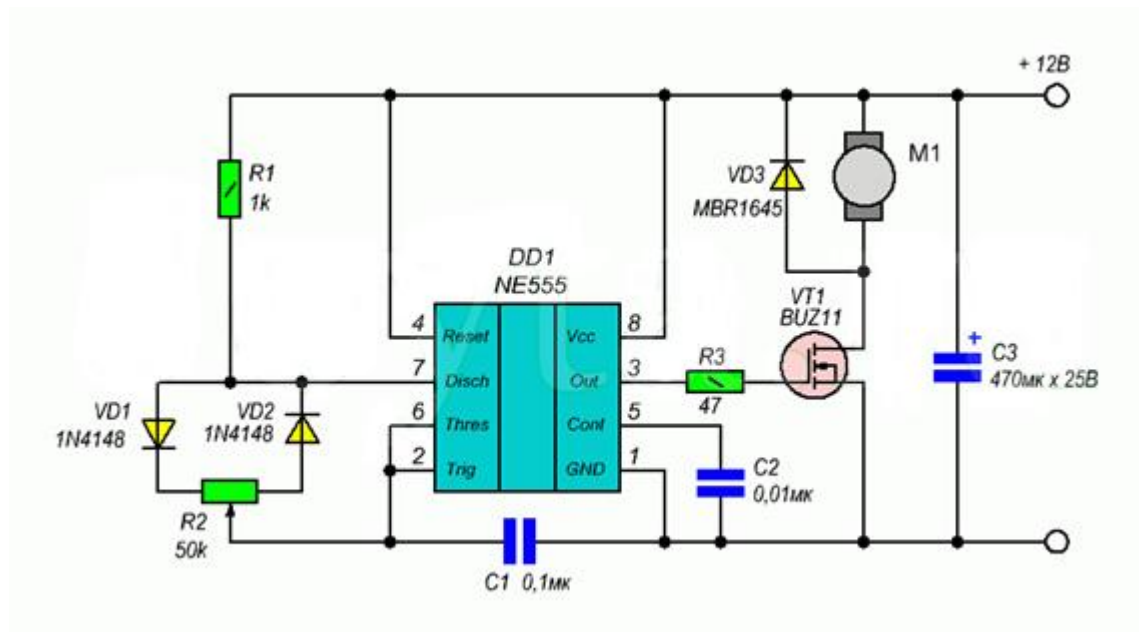


Рисунок 6. Електрична принципова схема ШІМ - регулятора обертів двигуна 12 вольт на таймері ne555

На таймері NE555 виконаний нестабільний мультівібратор з частотою 50 Гц, на основі якого зроблено ШІМ - регулятор обертів двигуна. Сигнали з виходу мультівібратора забезпечують зміщення на затворі MOSFET транзистора.

Змінним резистором R2 можна регулювати тривалість позитивного імпульсу. Потужність, яка надходить на двигун постійного струму залежить від ширини позитивного імпульсу транзистора. Чим більше ширина позитивного імпульсу транзистора, що надходить на затвор MOSFET, тим

більша потужність. Для зниження оборотів двигуна треба звузити ширина позитивного імпульсу транзистора. В цьому випадку передається менша потужність. Дана схема може працювати від джерела живлення 12 вольт.

1.4. Двонаправлений регулятор швидкості обертання двигуна постійного струму з використанням методу ШІМ.

Зміна швидкості двигуна постійного струму є фундаментальним завданням у багатьох пристроях, у яких використовуються двигуни.

Наведений пристрій є нескладним, а головне — «не мікроконтролерним» двонаправленим регулятором швидкості обертання двигуна постійного струму з використанням методу ШІМ.

У цьому пристрої для установки швидкості двигуна використовується потенціометр. У крайніх положеннях двигун працює на максимальній швидкості в заданому напрямку.

Зміна напрямку обертання виконується автоматично в залежності від положення потенціометра. У крайніх положеннях сигнал ШІМ має 100% заповнення, що забезпечує мінімальні втрати при максимальній швидкості.

На контролер можна подавати напругу в діапазоні 8 ... 30 В постійного струму, що забезпечує сумісність з типовими двигунами постійного струму.

Електрична принципова схема регулятора швидкості обертання двигуна показана на рисунку 7.

Регулятор складається з чотирьох функціональних блоків:

- ШІМ генератор (0 ... 100%), керований напругою — інтегральна схема LTC6992-1 (DD1).
- Блок обробки сигналу керування на мікросхемі LM324 (DA1).

- Детектор напряду та логічне керування приводом двигуна на мікросхемі 74HC00 (DD2).
- Драйвер двигуна із захистом – інтегральна мікросхема DRV8871 (DD3).

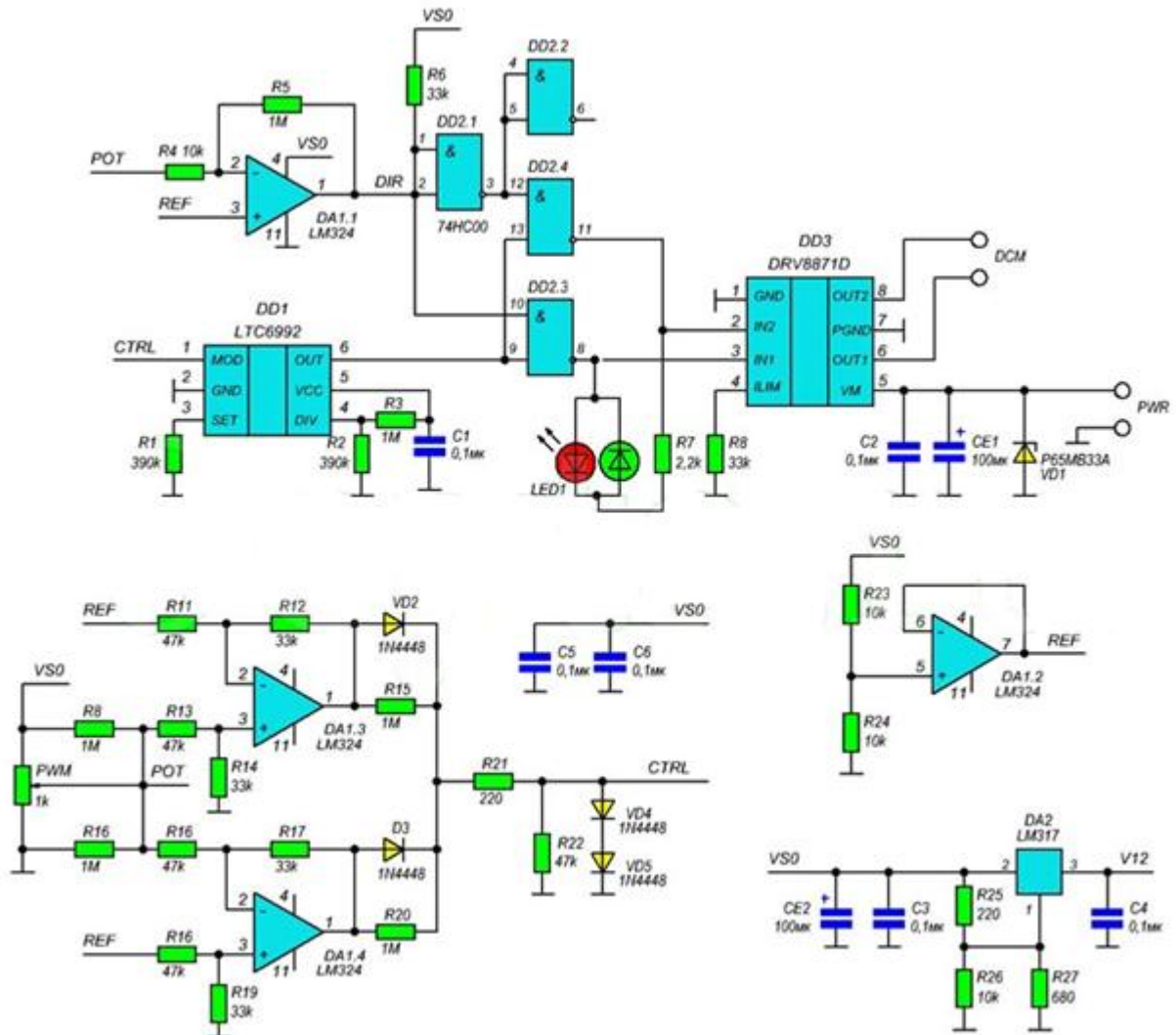


Рисунок 7. Електрична принципова схема регулятора швидкості обертання двигуна

Пристрій живиться від стабілізатора LM317 (DA2). Схема драйвера двигуна зібрана на спеціалізованій інтегральній схемі DRV8871 (DD3).

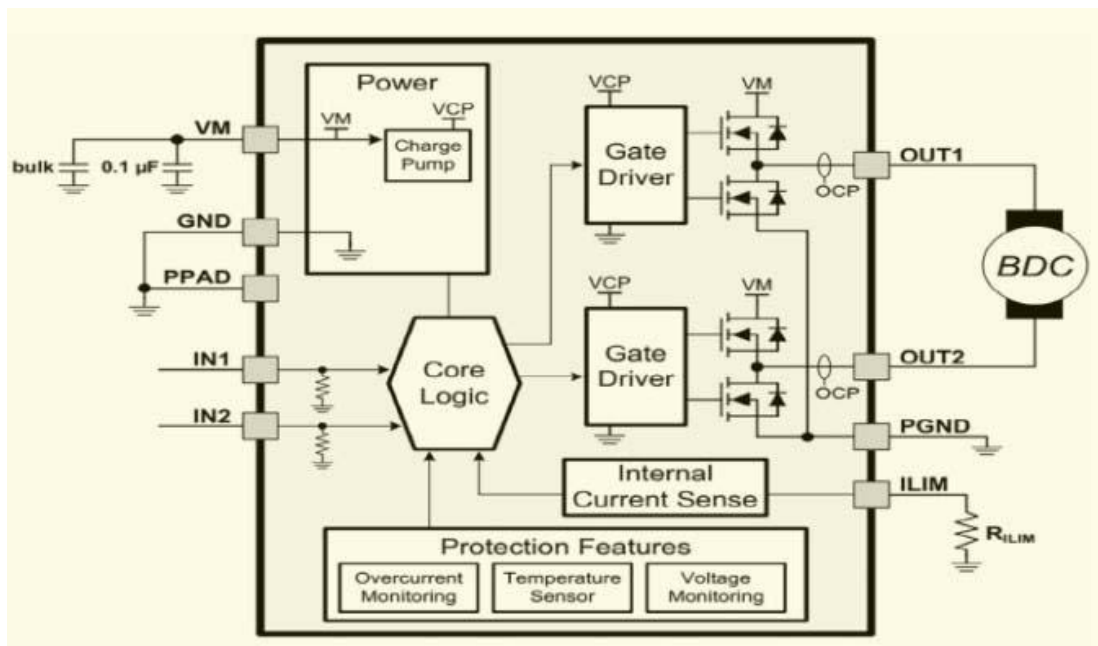


Рисунок 8. Спеціалізована інтегральна схема DRV8871 (DD3).

Мікросхема DRV8871 містить усі компоненти, необхідні для реалізації керування щітковим електродвигуном постійного струму:

- два MOSFET напівмоста з низьким опором $R_{ds(on)}$ та систему вимірювання струму двигуна, для якої не потрібні зовнішні компоненти,
- захисну логіку,
- зарядний насос для керування силовими транзисторами,
- вбудовану систему захисту від навантаження,
- тепловий захист,
- логіку керування входом.

Вбудований датчик струму двигуна не вимагає зовнішнього вимірювального резистора, але, як і раніше, можна змінити максимальний струм обмотки шляхом підключення відповідного резистора до виводу I_{lim} , відповідно до формули:

$$I_{lim} = 64/R_8$$

У прототипі струм був встановлений на рівні 2 А, що відповідає опорі R8 близько 33 кОм. Мінімальне значення опору резистора становить 15 кОм. Резистор слід підібрати залежно від двигуна.

Напрямок обертання двигуна регулюється з використанням входів IN1/IN2. Логічні схеми, побудовані з використанням мікросхеми DD2 (74HC00), змінюють спосіб керування стандартом PWM/DIR. Двоколірний світлодіод LED1 вказує на напрямок обертання та індикацію заповнення ШІМ.

Компаратор на операційному підсилювачі DA1.1 порівнює напругу з повзунка потенціометра ШІМ з опорною напругою $REF = 2,5$, генеруючи внутрішній сигнал DIR, що визначає напрям обертання двигуна.

Опорна напруга є похідною від напруги живлення 5 (стабілізований DA2) через резистивний дільник R23 / R24 і буферизується через DA1.2.

Коли заповнення сигналу ШІМ дорівнює 0%, двигун зупиняється, тобто замикається вбудованими ключами до маси. Сигнал ШІМ генерується мікросхемою LTC6992-1 (DD1), блок-схема якої показана на рисунку 9.

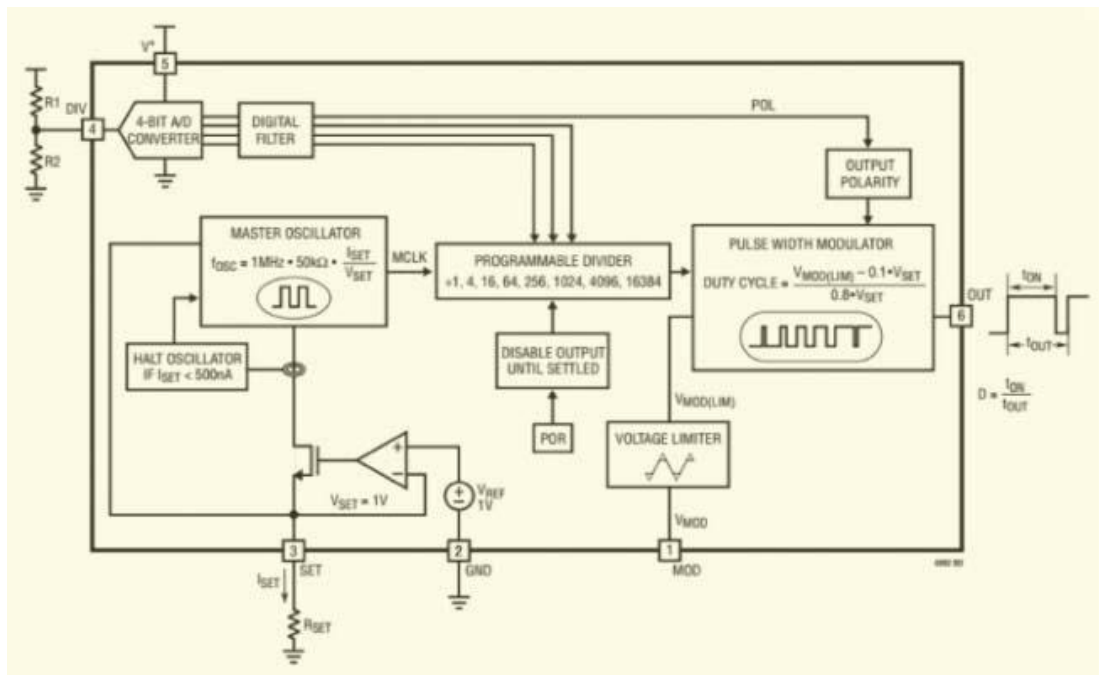


Рисунок 9. Блок-схема мікросхеми LTC6992-1

Дана мікросхема містить усі блоки, необхідні для реалізації генератора ШІМ з фіксованою частотою та регульованим робочим циклом. Опорна частота вбудованого генератора встановлюється резистором, підключеним до входу SET (R1). Додатковий розподіл частоти встановлює дільник, підключений до виводу DIV (R2/R3).

Зміна напруги на клемі MOD в діапазоні 0...1 змінює робочий цикл в межах 0...100%. У прототипі частота генератора була встановлена на рівні близько 128 кГц, а ступінь розподілу на рівні 256, що дає тактову частоту 500 Гц.

Керуючий сигнал генератора ШІМ виробляється за допомогою двох диференціальних підсилювачів DA1.3/DA1.4, які відповідають за перетворення напруги 0 ... 5 від повзунка потенціометра ШІМ в керуючу напругу MOD U1 в діапазоні 0 ... 1 В.

Підсилювач DA1.3 працює для напруги повзунка потенціометра в діапазоні 2,5...5 В, масштабуючи до діапазону 0...1,7 В, а DA1.4 відповідно - 0...2,5 В масштабуючи до 1,7...0 В.

Діоди VD2 і VD3 складають напругу підсилювачів DA1.3/DA1.4 та вводять разом з резисторами R15, R20 невелику мертву зону в середньому положенні потенціометра. Діоди VD4 та VD5 захищають вхід MOD DD1 від перевищення допустимого діапазону напруги.

Напруга живлення 5 подається стабілізатором DA2 типу LM317 у своєму типовому застосуванні. Живлення на регулятор подається через роз'єм PWR напругою 8...30 В з потужністю, що відповідає двигуну, що використовується. Двигун підключено до гнізда DCM.

Залежно від необхідної точності регулювання замість звичайного 9-міліметрового потенціометра (ШІМ) можна припаяти SIP-роз'єм та використовувати зовнішній багатооборотний потенціометр з опором 1 кОм.

Мікросхему DD3 необхідно забезпечити невеликим радіатором для корпусу SO8 для полегшення розсіювання тепла. Модуль, зібраний із справних компонентів, не вимагає налагодження, але варто перевірити напругу CTRL, DIR, PWM, що управляє, залежно від положення потенціометра.

2. АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

2.1. Аналіз призначення і принципової схеми виробу

Регулювати швидкість обертання малопотужного колекторного електродвигуна можна шляхом підключення постійного резистора до ланцюга живлення. Але цей варіант створює дуже низький ККД, до того ж відсутня можливість здійснювати плавну зміну швидкості обертання.

ШІМ регулятор обертів двигуна. Електрична принципова схема цього регулятора (рис. 10) має генератор напруги, що задає, що виробляє імпульси трикутної форми, частота яких становить 2 кГц. У ролі генератора, що задає, реалізований генератор напруги для чого використаний операційний підсилювач DA1.1. Зміна швидкості обертання двигуна здійснюється за допомогою змінного резистора R7, який змінює тривалість імпульсів. Так як амплітуда ШІМ постійна і дорівнює напрузі живлення електродвигуна, двигун не зупиниться навіть при дуже малій швидкості обертання.

У схемі є елемент стабілізації частоти обертання при збільшенні або зменшенні навантаження на валу двигуна.

Суть схеми – присутність позитивного зворотного зв'язку (ПЗЗ) через елементи R12, R11, VD1, C2 та DA1.4, яка стабілізує частоту обертання валу електродвигуна при збільшенні чи зменшенні навантаження.

При налагодженні схеми з певним двигуном опором R12 вибирають таку глибину позитивного зворотного зв'язку, при якій ще не відбуваються автоколивання частоти обертання при зміні навантаження.

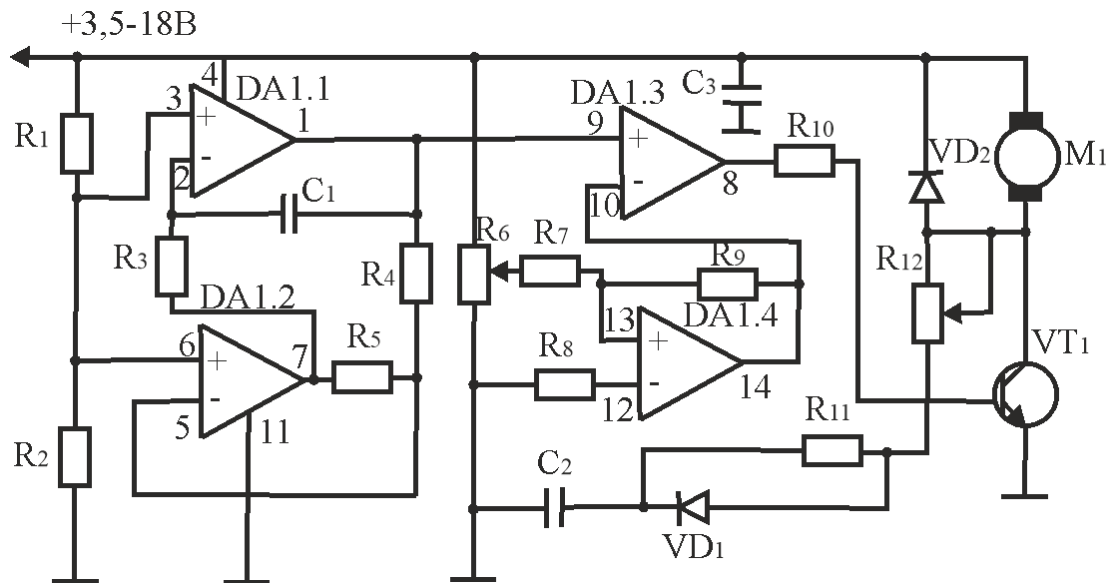


Рисунок 10. Електрична принципова схема регулятора обертів двигуна

У наведених вище схемах можна використовувати такі заміни деталей: транзистор КТ117А можна замінити на КТ117Б-Г або 2N2646; КТ-817Б - КТ-815, КТ805; мікросхему К140УД7 - К140УД6, КР544УД1, TL071, TL081, таймер NE555 - C555, КР1006ВІ1, мікросхему TL074 - TL064, TL084, LM324.

Для підключення більш потужного навантаження ключовий транзистор КТ817 можна замінити на потужний польовий транзистор, наприклад, IRF3905 або йому подібний. Такий транзистор може комутувати струми до 50А.

2.2. Вибір елементної бази

Мікросхема TL074

Операційні підсилювачі

- Найменування: TL074
- Каналів: 4
- Опис: Quad Low-Noise JFET-Input General-Purpose Operational Amplifier
- Напруга живлення (вхідна напруга) (min) ($U_{\text{пит (min)}}$): 7 В
- Напруга живлення (вхідна напруга) (max) ($U_{\text{пит (max)}}$): 36 В
- Струм споживання (на канал) ($I_{\text{пот}}$): 2.5 мА

Вхідна напруга усунення ($U_{\text{см}}$): 10 мВ

Вхідний струм зміщення ($I_{\text{вх}}$): 200 пА

Швидкість наростання вихідної напруги (V_U): 13 В/мкс

Гранична частота посилення ($F_{\text{гр}}$): 3 МГц

Коефіцієнт ослаблення синфазного сигналу ($K_{\text{ос}}$): 70 дБ

- Мінімальна робоча температура (t_{min}): -40 °C
- Максимальна робоча температура (t_{max}): 85 °C
- Корпус: 14PDIP, 14SOIC, 14TSSOP, 14SO
- Виробник: Texas Instruments

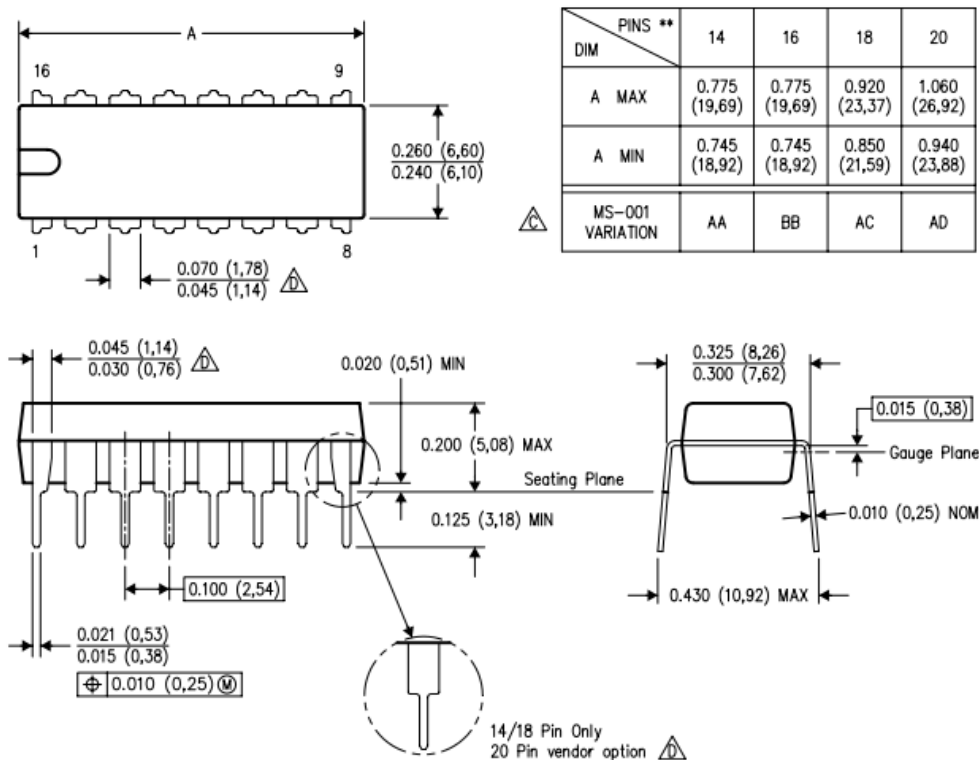
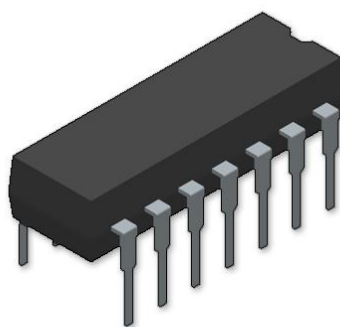


Рисунок 11. Корпус 14PDIP

TL074 Low Noise JFET Dual Op-Amp має входи JFET (для високого вхідного імпедансу) у поєднанні з біполярними вихідними каскадами, інтегрованими на одному монолітному кристалі. ІС має ряд робочих умов, широкий діапазон робочих напруг і має можливість прямого сполучення практично з будь-яким пристроєм PMOS, CMOS і NMOS. Більш того, ІС пропонує широкий спектр функцій, таких як висока стійкість до перешкод, блокування/зниження ESD і виключно низьке розсіювання потужності.



TL074

Рисунок 12. Зовнішній вигляд мікросхеми TL074

Операційний підсилювач або op-amp це просто електронна лінійна інтегральна схема або ІС, що має кілька виводів. Операційний підсилювач - це пристрій посилення напруги, який призначений для роботи із зовнішніми компонентами зворотного зв'язку, такими як резистори та конденсатори. Операційні підсилювачі вважаються одним з найбільш широко використовуваних електронних компонентів з областями застосування від невеликих споживчих електронних компонентів, таких як смартфони, планшети, ПК, до великомасштабних промислових вимірювальних приладів, таких як датчики отруйних газів та перетворювачі для виявлення домішок.

TL074 Pinout

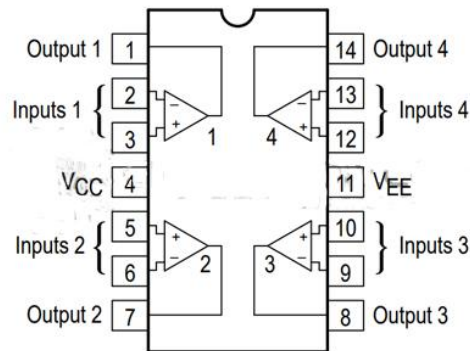


Рисунок 13. Розпинування TL074

Таблиця 1. Конфігурація виводів TL074

Номер контакту	Ім'я пін-коду	Опис
1	ВИХІД 1	Вихід підсилювача 1
2	ІНВ-ВХІД 1	Інвертуючий вхід підсилювача 1

Номер контакту	Ім'я пін-коду	Опис
3	НЕ-ІНВ-ВХІД 1	Підсилювач, що не інвертує, 1
4	ВКЦ	Напруга живлення колектора
5	НЕІНВ-ВХІД 2	Неінвертуючий вхід підсилювача 2
6	ІНВ-ВХІД 2	Інвертуючий вхід підсилювача 2
7	ВИХІД 2	Вихід підсилювача 2
8	ВИХІД 3	Вихід підсилювача 3
9	ІНВ-ВХІД 3	Інвертуючий вхід підсилювача 3
10	НЕІНВ-ВХІД 3	Підсилювач, що не інвертує, 3
11	ВЕЕ	Напруга живлення емітера
12	НЕІНВ-ВХІД 4	Неінвертуючий вхід підсилювача 4

Номер контакту	Ім'я пін-коду	Опис
13	ІНВ-ВХІД 4	Інвертуючий підсилювача 4 вхід
14	ВИХІД 4	Вихід підсилювача 4

Характеристики TL074

- Низька вхідна шумова напруга: 18 нВ/Гц тип.
- Низький рівень гармонійних спотворень: 0,01% тип.
- Високий вхідний опір: 1012 Ом (тип.)
- Висока швидкість наростання: 13 В/мкс (типове значення)
- Широка смуга пропускання посилення: 4,0 МГц тип.
- Низький струм живлення: 1,4 мА на

Додаток

- Сонячна енергія: гірлянда та центральний інвертор
- Приводи двигунів: керування приводами змінного струму та сервоприводами,
- модулі силового ступеня
- Однофазний онлайн ДБЖ
- Трифазний LIPS
- Професійні аудіомікшери
- Устаткування для тестування акумуляторних батарей

Транзистор КТ817Б

Транзистори КТ817Б кремнієві епітаксійно-планарні структури прп посилені. Призначені для застосування в підсилювачах низької частоти, операційних та диференціальних підсилювачах, перетворювачах та імпульсних пристроях. Використовується для роботи у радіоелектронній апаратурі загального призначення. Випускаються у пластмасовому корпусі з жорсткими виводами. Маркуються цифро-літерним кодом на корпусі транзистора.

Тип корпусу: КТ-27-2 (ТО-126).

Маса транзистора трохи більше 1,0 р.

Вид кліматичного виконання: "УХЛ2" за ГОСТом 15150-69.

Категорія якості: "ОТК".

Технічні умови:

- Прийом «1» АА0.336.187ТУ/02.

Мінімальний термін зберігання щонайменше 12 років із дня виготовлення.

Імпортний аналог: 2SC790, 2SD235, BD175, BD233, BD437, BD615, BD933.

Основні технічні характеристики транзистору КТ817Б:

Структура транзистору: прп;

- $P_{\text{к\text{тmax}}}$ — постійна потужність колектора, що розсіюється, з тепловідведенням: 25 Вт;
- $f_{\text{гр}}$ — гранична частота коефіцієнта передачі струму транзистора для схеми із загальним емітером: не менше 3 МГц;

- $U_{Kер\ max}$ — Максимальна напруга колектор-емітер при заданому струмі колектора та опорі в ланцюзі база-емітер: 45 В (1 кОм);
- $U_{ебо\ max}$ — Максимальна напруга емітер-база при заданому зворотному струмі імітера та розімкнутого ланцюга колектора: 5 В;
- $I_{к\ max}$ — максимально допустимий постійний струм колектора: 3 А;
- $I_{кбо}$ — зворотний струм колектора — струм через колекторний перехід при заданій зворотній напрузі колектор-база та розімкнутому виведенні емітера: не більше 0,1 мА (45 В);
- h_{21e} - Статичний коефіцієнт передачі струму транзистора для схем із загальним емітером: більше 25;
- C_k — ємність колекторного переходу: трохи більше 60 пФ;
- $R_{ке\ нас}$ - Опір насичення між колектором та емітером: не більше 0,6 Ом

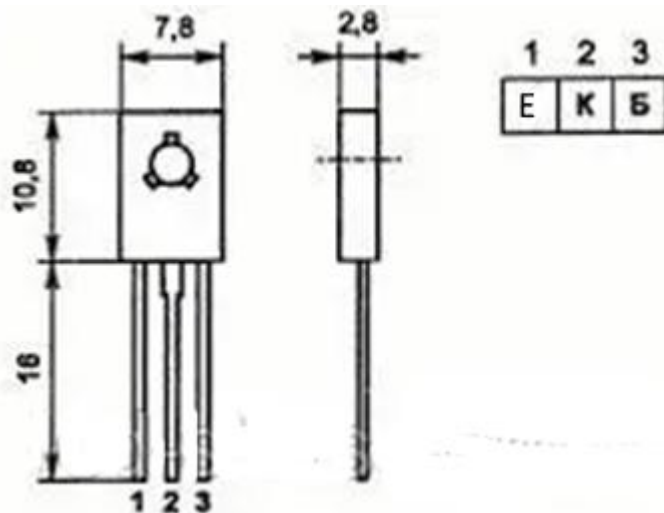


Рисунок 14. Транзистор КТ817Б

Діод Д9Б

Діоди германієві Д9Б, точкові. Випускаються у скляному корпусі з гнучкими виводами.

Маркуються точками або кільцями на корпусі:

- Д9Б - червоними,
- Д9В - помаранчевими,
- Д9Г - жовтими,
- Д9Д - білими,
- Д9Е - блакитними,
- Д9Ж - зеленими,
- Д9І - двома жовтими,
- Д9К - двома білими,
- Д9Л - двома зеленими

Позитивний вивод позначається червоною точкою. Маса діода трохи більше 0,3 р. Технічні умови: АА0.336.473 ТУ.

Таблиця 2. Основні технічні характеристики

Основні	
Максимальна постійна зворотна напруга	50 В
Максимальний зворотний струм	10 мкА
Тип діода	Випрямляч
Матеріал виготовлення	Кремній
Призначення діода	Імпульсний
Країна виробник	Україна
Максимальна імпульсна зворотна напруга	50 В

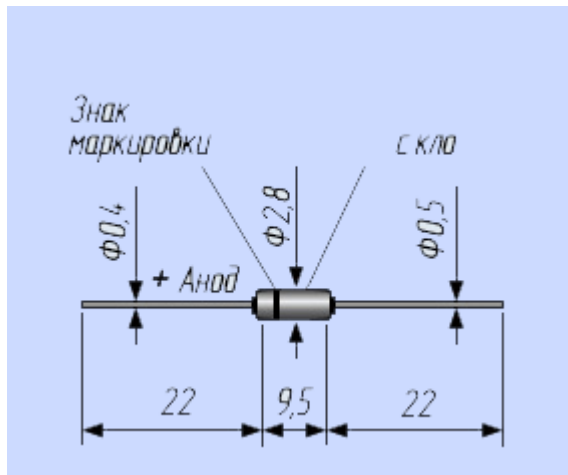


Рисунок 15. Діод Д9Б

Діод 1N4001

Діод 1N4001 кремнієвий випрямляч загального призначення. Призначений для перетворення змінної напруги частотою 70 кГц. Кольоровою смугою позначено виведення катода.

Тип корпусу: DO-41 (DO-204AL).

Маса діода: трохи більше 0,5 р.

Характеристики діода 1N4001 Вивчаючи технічні характеристики 1N4001 можна помітити, що перед нами один із найслабших випрямляючих діодів із серії 1n400х. Якщо порівняти такі пристрої за параметрами, взятими з окремого часу, то мінуси будуть очевидними. Так, за максимальними значеннями підтримуваних напруг 1N4001 значно поступається своїм «побратимам», але в іншому практично нічим від них не відрізняється.

Цоколювка

1N4001 виробляють переважно у пластикових корпусах DO-41 (DO-204AL). Зустрічаються також у пластмасовій упаковці А-405, CASE59-10. Всі версії мають два аксіальні дротяні виводи, які крім основного призначення

використовуються як тепловідведення (за умови правильного монтажу на плату). Світлою смужкою виробником відзначена катодна сторона. Існують також SMD-версії 1N4001(DO-214AC) для поверхневого монтажу на плату. За своїми параметрами вони практично нічим не відрізняються від розглянутих вище, за винятком конструкції пластикового корпусу. При цьому майже всі сучасні версії упаковок відповідають європейському екологічному стандарту EC 2002/95/EC (RoHS) та вимогам до вогнестійкості UL94-V0.

Характеристики

Майже всі виробники відзначають основні особливості 1N4001: незначний струм витоку; низьке пряме падіння напруги; здатність до великих імпульсних навантажень. У певних термінах вказується можливість використання діода в різних малопотужних додатках загального призначення, випрямлячах джерел живлення, інверторах, перетворювачах та ін. Вважається, що пристрій був спеціально адаптований до роботи в електричних ланцюгах (до 50 В) з робочою частотою до 60 Гц.

Максимальні характеристики 1N4001:

середній прямий випрямлений струм:

постійний ($I_{F(AV)}$) до 1.0 А;

імпульсний (I_{FSM}) до 30 А (8.3 мс, синусоїдальна хвиля);

пікова зворотна напруга:

імпульсне (V_{RRM}) до 50 В;

середньоквадратичне (V_{RMS}) до 30 В;

блокує постійного струму ($V_{R(DC)}$) до 50 В;

діапазон робочих температура та зберігання (T_J , T_{STG}) від -50 до + 175 °С.

Розглянемо типові електричні параметри 1N4001.

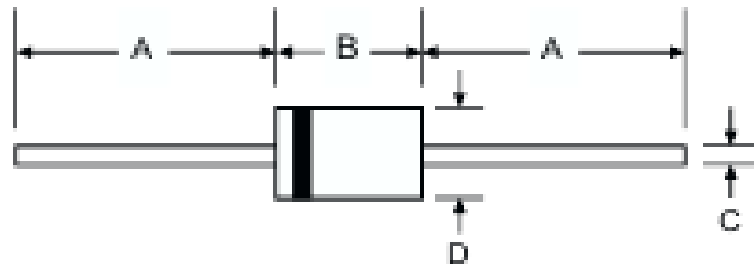
Основні технічні характеристики діода 1N4001:

- Максимальна постійна зворотна напруга 50 В
- Максимальний постійний прямий струм 1 А
- Ємність діода - 15 пФ
- Максимальна пряма напруга 1,1 В
- Робоча температура -65...+175 °С
- Тип корпусу – DO-41.
- Маса – 0,33 г

Ємність переходу (C_J) виміряна при зворотній напрузі (V_R) 4.0 В, на частоті 1.0 МГц. Усі наведені значення справедливі лише за температури навколишнього середовища (T_A) трохи більше +25 °С, з урахуванням вимог розміщення корпусу пристрою від монтажною плати з відривом до 9.5 мм. Необхідно відзначити, що більш ранні версії розглянутого випрямного діода мали кращий час відновлення і більшу ємність переходу (C_J) при всіх напругах зворотного зміщення (наприклад, 8 пФ проти 15 пФ при $V_R=10$), якщо порівнювати їх з 1N4005-1N4007. В даний час виробники вказують однакове значення C_J для всієї серії.

Аналоги

Підібрати для 1N4001 аналог – нетривіальне завдання. У таких випадках добре підійдуть закордонні: EM513, EM516, EM518. Тому найчастіше, в рамках ремонту, їх змінюють на будь-який випрямляючий діод із серії 1N400х.



	DO-41 Plastic		A-405	
Dim	Min	Max	Min	Max
A	25.40	—	25.40	—
B	4.06	5.21	4.10	5.20
C	0.71	0.864	0.53	0.64
D	2.00	2.72	2.00	2.70
All Dimensions in mm				

"L" Suffix Designates A-405 Package
No Suffix Designates DO-41 Package

Рисунок 16. Діод 1N4001

Конденсатор K52-15B

Конденсатор K52-15B електролітичний танталовий полярний об'ємно-пористий. Герметизований, у металевому циліндричному корпусі з різноспрямованими дрітряними виводами. Призначений для роботи в ланцюгах постійного та пульсуючого струмів та в імпульсному режимі. Виготовляється у всекліматичному виконанні [2.1] за ГОСТ 15150-69. Технічні умови: АДПК.673543.001 ТУ.

Основні технічні параметри конденсаторів K52-15B:

- діапазон номінальних ємностей 10... 1500 мкФ;
- номінальна напруга..... 6,3; 10; 16; 25; 32; 50; 63 В;

- Допустимі відхилення ємності ± 10 ; ± 20 ; $\pm 30\%$;
- тангенс кута втрат, не більше 45%;
- Струм витоку, не більше $(0,003 \cdot C_{ном} \cdot U_{ном} + 1)$ мкА;
- відносна вологість повітря при температурі $+35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 98 %;
- інтервал робочих температур..... $-60...+85\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- мінімальне напруження, не менше 5000 годин;
- Маса, не більше..... 10,0 г.

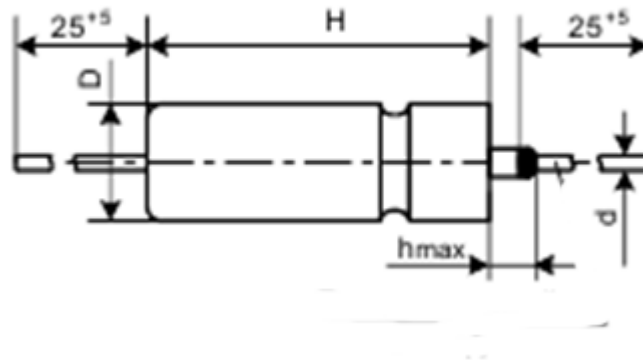


Рисунок 17. Конденсатор K52-15B

Таблиця 3. Основні розміри корпусу

позначення корпусу	Розміри, мм				Маса, г макс
	D	H	h _{max}	d	
1	4,8	18	6,5	0,6	3,5
2	6,0	20	5,0		6,5
3	7,5	22		0,8	10

Таблиця 4. Позначення корпусу

C _{НОМ} , мкФ	U _{НОМ} , В						
	6,3	10	16	25	32	50	63
10							1
47							1
68						1	
100					1		2
150				1		2	
220			1		2		3
330		1		2		3	
470	1		2		3		
680		2		3			
1000			3				
1500		3					

Конденсатор K10-17A M1500 0.022 мкф

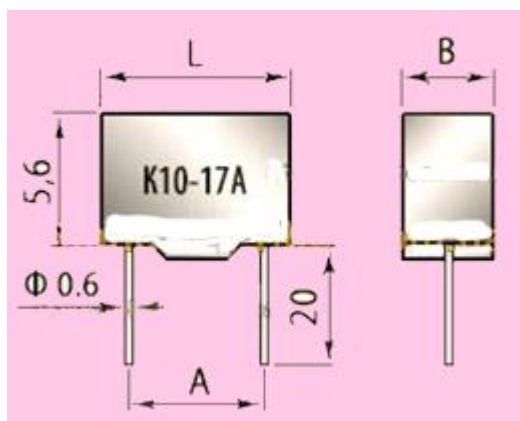


Рисунок 18. Конденсатор K10-17A M1500 0.022 мкф

Короткий технічний опис на конденсатор K10-17A M1500 0.022 мкф

Конденсатори К10-17А монолітні керамічні постійної ємності універсального призначення. Ізольовані, правильної форми, з односпрямованими висновками. Призначені для роботи в ланцюгах постійного та змінного струму та в імпульсних режимах. Допускають роботу за умов підвищеної вологості без додаткового захисту. Всекліматичне виконання (В). Виготовляється у водородостійкому (С) та неводородостійкому виконанні.

Основні технічні параметри конденсаторів К10-17А:

- Діапазон номінальних ємностей. 2,2 пФ..... 2,2 мкФ;
- Номінальна напруга... 50; 100 В;
- Група з температурної стабільності. ПЗ3; МП0; М47; М750; М1500; Н20; Н50; Н90;
- Допустимі відхилення ємності ± 5 ; ± 10 ; ± 20 ; $+50/-20$; $+80/-20\%$;
- Тангенс кута втрат, не більше... 0,035;
- Опір ізоляції, щонайменше 4000 МОм;
- Відносна вологість повітря при температурі $+35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 98%;
- Діапазон температур... $-60 \dots +125\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- Мінімальне напрацювання 15000 годин;

Резистори ОМЛТ-1 100

Резистори ОМЛТ-1 постійні металоплівкові лаковані теплостійкі. Металодиелектричні з металоелектричним провідним шаром неізолювані для навісного монтажу. Призначені для роботи в електричних ланцюгах постійного, змінного та імпульсного струмів. Проміжні значення номінальних опорів для ОМЛТ відповідають ряду Е6 з допусками ± 5 , ± 10 % та ряду Е96 з допуском ± 2 %. Технічні умови: ОЖ0.467.107ТУ.

Основні технічні параметри резисторів ОМЛТ-1:

Діапазон номінальних опорів.....1,0 Ом...10,0 МОм;

- номінальна потужність..... 1,25 Вт;

- гранична напруга 500 В;

- Допустимі відхилення опорів ± 2 ; ± 5 ; $\pm 10\%$;

- відносна вологість навколишнього повітря при 40 ° С 98%;

- атмосферний знижений тиск, мм рт.ст. від 5 до 2280 мм рт.ст.;

- Лінійні навантаження із прискоренням.....200g;

- Температура навколишнього середовища.....-60...+70 °С;

- маса резистора, не більше 2,0 г;

- Мінімальне напруцювання 25000 годин.

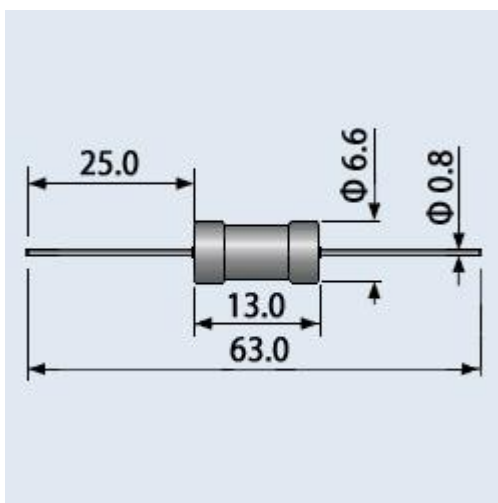


Рисунок 19. Резистор ОМЛТ-1

Таблиця 5. Основні технічні параметри резисторів ОМЛТ-1

Тип резистора	Номинальна потужність	Діапазон номінальних опорів	Ряд номінальних опорів	Допустиме відхилення, %	Рівень власних шумів, мкВ/В	Температурний коефіцієнт опорів, ТКС×10 ⁻⁶ 1/°C	Гранична робоча напру-га, В	Темпе-ратура навко-лішнього середо-вища, °C
ОМЛТ-0,125	0,125Вт	8,2Ом – 3МОм	Е6;Е96	±2;±5;±10	5,0	±1200	200	-60....+70
ОМЛТ-0,25	0,25Вт	8,2Ом – 5,1МОм	Е6;Е96	±2;±5;±10	5,0	±1200	250	-60....+70
ОМЛТ-0,5	0,5Вт	1,0Ом – 5,1МОм	Е6;Е96	±2;±5;±10	5,0	±1200	350	-60....+70
ОМЛТ-1,0	1,0Вт	1,0Ом – 10МОм	Е6;Е96	±2;±5;±10	5,0	±1200	500	-60....+70
ОМЛТ-2,0	2,0Вт	1,0Ом – 10МОм	Е6;Е96	±2;±5;±10	5,0	±1200	700	-60....+70

Змінні резистори СП4-1А 0.5Вт 100К

Резистори змінні СП4-1А регульовальні дротяні, для навісного монтажу. Одноелементні однооборотні без вимикача з круговим переміщенням рухомої системи та кінцем валу ВС-2. Призначені для роботи в ланцюгах постійного, змінного та імпульсного струмів. Проміжні значення номінальних опорів відповідають ряду Е6 з ± 20 допусками; $\pm 30\%$. Виготовляються у всекліматичному виконанні [В] та виконанні для помірного та холодного клімату [УХЛ].

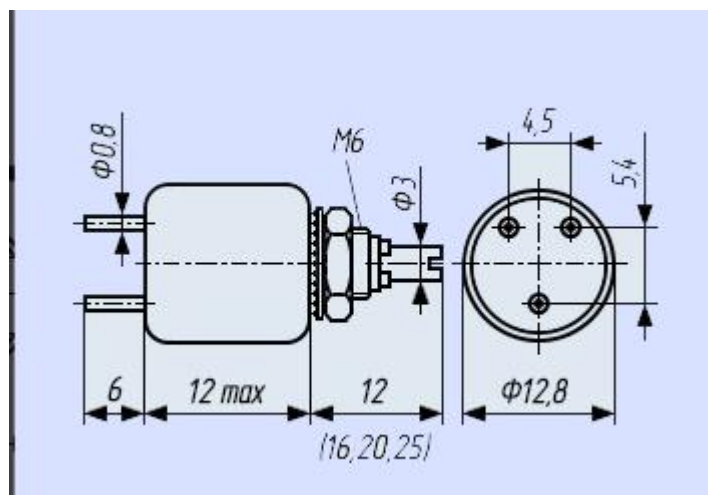


Рисунок 21. Змінні резистори СП4-1А 0.5Вт 100К

Функціональна характеристика – А, Б, В.

Основні технічні параметри резисторів СП4-1А:

- Діапазон номінальних опорів..... 100 Ом... 4,7 МОм;
- номінальна потужність..... 0,25, 0,5 Вт;
- гранична робоча напруга 200, 250 В;

- рівень власних шумів, не більше 5 мкВ/В;
- зносостійкість, не менше 25000 циклів;
- відносна вологість повітря при температурі +35 °С 98 %;
- Температура навколишнього середовища..... -60...+125 °С;
- Мінімальне напруження, не менше 10000 годин;
- маса резистора, не більше 8,7 г.

2.3. Конструктивно-технологічні вимоги проектного виробу

Конструктивно-технологічні вимоги полягають у наступному:

матеріали та комплектуючі вироби повинні застосовуватися за чинними стандартами та технічними умовами на них;

конструкція виробу повинна забезпечувати складання під час виготовлення без створення та застосування спеціального обладнання. Допускається застосування спеціальних пристроїв;

показники технологічності конструкції виробу мають відповідати ГОСТ 14.201 – 73.

Маса модуля – не більше 3 кг.

Габарити пристрою – не задані.

Вимога до надійності полягає в тому, що напруження на відмову пристрою має бути 2500 годин у нормальних умовах експлуатації.

Маркування пристрою, що розробляється, має відповідати вимогам ГОСТ 21552 - 84.

Тип виробництва: дрібносерійне.

3. РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ПРИСТРОЮ

3.1. Вибір конструкції друкованої плати

Основними матеріалами виготовлення ДП застосовуються фольговані діелектрики. Як ізоляційну основу застосовують гетинакс, склотекстоліт, поліамід. Основа покривається з одного або двох сторін шарами мідної фольги. Товщина мідної фольги може бути від 5 до 50 мкм. Найчастіше застосовується фольга з товщиною 35 та 50 мкм.

Для виготовлення друкованих плат застосовують багато матеріалів: текстоліт, гетинакс, склотекстоліт, ебоніт та мікалекс.

Основними критеріями при виборі класу точності ДП є:

- конструкторська складність - ступінь насиченості поверхні ДП електронних компонентів при традиційній елементній базі або кількість виводів при поверхневому монтажі (SMD) та крок їх розташування;

елементна база (дискретні електронні компоненти, інтегральні мікросхеми, компоненти поверхневого монтажу, безкорпусні компоненти);

конструкторська складність - ступінь насиченості поверхні ДП електронних компонентів при традиційній елементній базі або кількість виводів при поверхневому монтажі (SMD) та крок їх розташування;

тип, число та крок виводів електронних компонентів (штирьові, планарні, безвихідні, матричні та ін.);

швидкодія;

надійність;

масогабаритні характеристики;

вартість;

умови експлуатації;

максимальні струм та напруга;

рівень технологічного оснащення конкретного виробництва.

Таблиця 6. Клас точності друкованих плат.

Умовне позначення	Номінальне значення основних параметрів для класу точності				
	1	2	3	4	5
t, мм	0,75	0,45	0,25	0,15	0,10
S, мм	0,75	0,45	0,25	0,15	0,10
b, мм	0,30	0, 20	0,10	0,05	0,025
γ *	0,40	0,40	0,33	0,25	0, 20

Виходячи з вимоги - надійності виберемо склотекстоліт як найбільш міцний матеріал. Склотекстоліт буває одношаровим та двошаровим. Розроблювану схему важко розвести в одному шарі.

Тому застосовується двостороння друкована плата. Крім того, при розведенні в одному шарі збільшаться розміри ДП, доведеться використовувати перемички, а все це знижує міцність та надійність ДП. Отже, схему розводитимемо у двох шарах і, виходячи з цього, вибираємо двосторонній фольгований склотекстоліт СФ-2-35, товщиною 2 мм і з товщиною фольги 35 мкм. Товщина обраної марки склотекстоліту задовольняє

навантаженням характерним для модуля, що розробляється, в заданих умовах експлуатації.

3.2. Конструктивно - технологічний розрахунок друкованої плати

Вибравши матеріал друкованої плати, визначаємо ширину друкованого провідника за формулою:

$$t \geq \frac{I}{j \cdot h} \quad (3.1.)$$

де I - струм, А, що протікає по провіднику; h – товщина фольги, мм; j - густина струму, А/мм².

Мінімальна відстань між друкованими провідниками визначається з міркувань забезпечення електричної міцності.

Таблиця 7. Мінімальна відстань між друкованими провідниками.

Відстань між елементами рисунка, що проводить	Значення робочої напруги, В	
	ГФ	СФ
От 0,1 до 0,2 мм	-	25
Св.0,2 " 0,3 "	30	50
" 0,3 " 0,4 "	100	150
" 0,4 " 0,7 "	150	300
" 0,7 " 1,2 "	300	400
" 1,2 " 2,0 "	400	600

Знаючи t і S , конструктивних міркувань вибирається клас точності друкованої плати.

Опір друкованого провідника розраховується за такою формулою:

$$R = \frac{\rho \cdot l}{t \cdot h} \quad (3.2.)$$

де ρ - питомий опір міді, Ом·мм²/м; l – довжина провідника, м.м.

Для вибору розмірів друкованої плати потрібно визначити її площу.

Площу можна визначити за формулою:

$$F = \frac{F_{\text{ЕРЕ}} + F_{\text{ТО}} + F_{\text{ВІ}}}{K_3} \quad (3.3.)$$

де $F_{\text{ЕРЕ}}$ - площа, яку займає електрорадіоелемент (ЕРЕ); $F_{\text{ТО}}$ - площа, що займається технологічними та/або кріпильними отворами; $F_{\text{ВІ}}$ - площа, яку не повинні займати електрорадіоелементи з конструктивних міркувань; K_3 - коефіцієнт заповнення друкованої плати, зазвичай береться не більше 0,3-0,8.

Площа, яку займає ЕРЕ, визначається за настановними розмірами електрорадіоелементів.

Площа, що займається технологічними та/або отворами кріплення визначається за формулою:

$$F_{\text{ТО}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{ТО}}^2}{4} \cdot n \quad (3.4.)$$

де $d_{\text{ТО}}$ - діаметр технологічних та/або кріпильних отворів; n – кількість отворів. Порахувавши площу друкованої плати, необхідно вибрати розміри плати згідно з ГОСТ 10317-79.

Визначається реальний коефіцієнт заповнення друкованої плати за такою формулою:

$$K_3 = \frac{F_{\text{EPE}} + F_{\text{TO}} + F_{\text{BI}}}{A \cdot B} \quad (3.5.)$$

де – А і В обрані розміри друкованої плати.

Зона розміщення електрорадіоелементів (EPE) є основною і визначається за формулою:

$$S = \frac{1}{K_S} \sum_{i=1}^N S_{\text{наст}}^i \quad (3.6.)$$

де K_S - коефіцієнт заповнення ДП EPE, що визначається залежно від класу РЕА та об'єкта установки в межах 0,4....0,85 залежно від призначення, умов експлуатації та методу складання проектного пристрою; $S_{\text{наст}}^i$ - настановна площа компонентів. Максимальну довжину провідника можна визначити як суму двох різних сторін ДП:

$$L_{\text{max}} = a + b, \quad (3.7.)$$

де а та b - довжини сторін ДП.

Отримане значення L_{max} порівнюють з довжиною хвилі λ найбільш високочастотної складової спектру сигналів, що передаються в межах плати.

Площа елементів, що встановлюються на дану друковану плату, розраховується за формулою:

$$S_{\text{заг}} = S_{\text{DA}} + S_{\text{VD}} + S_{\text{C}} + S_{\text{R}} + S_{\text{oe}} \quad (3.8.)$$

де S_{DA} – площа необхідна для встановлення мікросхем; S_{VD} – площі необхідні для встановлення активних елементів (діодів, транзисторів,

стабілітронів тощо); S_C, S_R - площі необхідні установки пасивних елементів (конденсатори, резистори); S_{oc}' - площа необхідна для встановлення інших елементів, що входять до друкованої плати.

Загальна площа займана компонентами на друкованій платі становить $4\,462,5\text{ мм}^2$.

Державний стандарт обмежує довжину сторони друкованих плат розміром 470 мм. При розробці перевага надається малогабаритним платам, оскільки зі збільшенням габаритів знижується механічна міцність та зростає складність виготовлення. Розміри сторін друкованих плат мають бути кратними 2,5 при довжині до 100 мм, 5,0 при довжині до 350 мм і 10 при довжині, що перевищує 350 мм.

Крок сітки: 1,25 мм.

Розміри кожної сторони ДП: $a = 105\text{ мм}$; $b = 42,5\text{ мм}$.

Висновок: Таким чином розміри ДП становить ГОСТ Р 53429-2009 $a = 105\text{ мм}$; $b = 42,5\text{ мм}$.

При розрахунку площі друкованої плати для побутової РЕА за ГОСТ Р 53429 – 2009 прийнято враховувати коефіцієнт заповнення площі ДП, $k_3 = 0,6$.

Площа друкованої плати з урахуванням коефіцієнт заповнення площі $k_3 = 0,6$ складе:

$$S_{\text{пл}} = 105 \cdot 42,5 = 4\,462,5\text{ мм}^2$$

Знаючи площу ДП, максимально допустиму довжину провідника, задаючи співвідношення сторін ДП, вибирають її лінійні розміри, керуючись ГОСТ 10317-79.

Ширина друкованого провідника залежить від електричних, конструктивних та технологічних вимог. Для провідників, що формують сигнальні кола, головним є вимоги щодо тепловиділення. Необхідно, щоб перегрів провідника щодо навколишнього середовища за рахунок джоулевого тепла, що виділяється в ньому, не перевищив допустимого рівня.

При розрахунках ширини друкованого провідника перетин провідника приймається прямокутним, факт спотворення перерізу з допомогою підтравлювання до уваги береться.

Найменше номінальне значення ширини друкованого провідника t , мм розраховують за формулою:

$$t = t_{minD} + |\Delta t_{нв}| \quad (3.9.)$$

де t_{minD} – мінімально допустима ширина провідника; $t_{нв}$ – нижнє граничне відхилення ширини друкованого провідника.

Величину t_{minD} визначають за такою формулою:

$$t_{minD} = \frac{I_{max}}{j_{доп} \cdot h} \quad (3.10.)$$

де I_{max} - чинне значення максимального струму, що у провідниках (визначають з аналізу електричної принципової схеми); $j_{доп}$ - допустима щільність струму; h – товщина друкованого провідника.

Значення допустимої щільності струму вибирається:

для мідної фольги - $(100...250) \cdot 106 \text{ А/м}^2$ ($100...250 \text{ А/мм}^2$);

для гальванічної міді - $(60...100) \cdot 106 \text{ А/м}^2$ ($60...100 \text{ А/мм}^2$).

Мінімально допустиму ширину провідника з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому $U_{доп}$, якщо конструкція провідника складається з одного шару міді, визначають так:

$$t_{minD} = \frac{\rho I_{max} l}{U_{доп} \cdot h} \quad (3.11.)$$

де ρ - питомий опір шару міді; l – максимально допустима довжина провідника.

Номінальний діаметр d монтажних металізованих та неметалізованих отворів встановлюють з наступного співвідношення:

$$d - |\Delta d_{нв}| \geq d_e + r \quad (3.12.)$$

де $d_{но}$ – нижнє граничне відхилення діаметра отвору; d_e -максимальне значення діаметра виводу електронного компонента, що встановлюється на друковану плату; r - різниця (гарантований зазор) між мінімальним значенням діаметра отвору і максимальним діаметром виводу електронного компонента, що встановлюється.

Розрахункове значення d слід округлити у бік збільшення до цілих десятих часток міліметра з низки бажаних діаметрів отворів: 0,7; 0,9; 1,1; 1,3; 1,5мм. Товщину друкованої плати визначають із співвідношення:

$$H = d / \gamma \quad (3.13.)$$

де H – товщина друкованої плати; d – номінальне значення діаметра наскрізного отвору до товщини друкованої плати; γ - відношення діаметра металізованого отвору до товщини друкованої плати.

Таблиця 8. Граничні відхилення діаметрів монтажних та перехідних отворів.

Діаметр отвору, мм	Наявність металізації	Граничні відхилення діаметра $\Delta d_{но}$				Δd_{60} , мм
				за класами точності		
		1	2	3	4	5
До 1,0	Без металізації	$\pm 0,10$	$\pm 0,10$	$\pm 0,05$	$\pm 0,05$	$\pm 0,0025$
	З металізацією	$+0,05$	$+0,05$			
ВКЛЮЧНО	без оплавлення	-	-0,15	0; -	0; -	0;-
	З металізацією	$+0,05$	$+0,05$			
	з оплавленням	-0,18	-0,12	0; -0,13	0; -0,13	0; -0,13
Понад 1,0	Без металізації	$\pm 0,15$	$\pm 0,15$	$\pm 0,10$	$\pm 0,10$	$\pm 0,10$
	З металізацією	$+0,10$	$+0,10$	$+0,05$	$+0,05$	$+0,05$
	без оплавлення	-0,20	-0,20	-0,15	-0,15	-0,15
	З металізацією	$+0,10$	$+0,10$	$+0,05$	$+0,05$	$+0,03$
	з оплавленням	-0,23	-0,23	-0,18	-0,18	-0,18

Таблиця 9. Питомий об'ємний опір різних металів.

Метал	Питомий об'ємний опір, $\times 10^{-8}$, Ом·м
Мідна фольга	1,72
Гальванічна мідь	1,90
Хімічна мідь	2,80
Олово	12,00
Срібло	1,59
Золото	2,22
Нікель	7,80
Паладій	10,80

Відношення γ залежить від класу точності.

Для 1 та 2го - 0.4. Для 3 го – 0.33. Для 4 го – 0.25. Для 3 го – 0.20.

3.3 Розрахунок по постійному струму

При установці мікросхем на друковану плату рядами ширина друкованого провідника шини живлення й землі визначається вираженням

$$t_{пз} \geq P_{IC} \rho / (0,01 E^2 h_{\phi}), \quad (3.14)$$

де P_{IC} – потужність IC, Вт (максимальна споживана потужність мікросхеми TL074);

ρ - питомий опір провідника ($\rho = 1,72 \times 10^{-8}$ Ом/м) [1];

h_{ϕ} - товщина фольги ($h_{\phi} = 35 \times 10^{-6}$ м) [1];

E_n – номінальне значення напруги живлення ($E_n = 5$ В).

$$t_{пз} \geq 0,5 \times 1,72 \times 10^{-8} / (0,01 \times 5^2 \times 35 \times 10^{-6}) = 0,1 \times 10^{-2} \text{ м} = 1 \text{ мм}.$$

Тому що друковані шини живлення й землі рекомендується виконувати шириною не менш 1мм, те приймаємо $t_{пз} = 1$ мм.

3.4 Розрахунок по змінному струму

При передачі по друкованих елементах плати високочастотних імпульсних сигналів через наявність індуктивного опору провідників, взаємній індуктивності і ємності, опору витoku між провідниками сигнали спотворюються, з'являються перехресні перешкоди. Розрахунок по змінному струму дозволяє уточнити максимальну довжину одиночного провідника, максимальну довжину спільного проходження розташованих рядом провідників, зазори між провідниками.

Припустимо довжину трьох паралельно розташованих сигнальних провідників визначають за формулою

$$l_d = \frac{0,5 \times l_{cd} \times l_{md}}{l_{cd} + l_{md}} \quad (3.15.)$$

де l_{cd} , l_{md} - припустима довжина паралельно розташованих провідників при впливі тільки ємнісного паразитного зв'язку й тільки індуктивного паразитного зв'язку відповідно.

Припустима довжина паралельно розташованих сусідніх провідників при впливі тільки ємнісного паразитного зв'язку визначається по формулі

$$l_{cd} = \frac{C_d}{C_n} \quad (3.16)$$

де C_d – припустима ємність паразитного зв'язку, обумовлена завадостійкістю мікросхем ($C_d = 22$ пФ);

C_n – погонна ємність пФ/см, визначається за формулою

$$C_n = K_n \times E', \quad (3.17)$$

де K_n – коефіцієнт пропорційності ($K_n = 0,25$); E' - діелектрична проникність середовища.

Для провідників, розташованих на поверхні плати;

$$E' = \frac{E_0 + E}{2}, \quad (3.18)$$

де E_0 – діелектрична проникність повітря або лаку, якщо плата покрита лаком; E - діелектрична проникність матеріалу плати.

Для склотекстоліта марок СТФ1, СТФ2 – $E = 6$. Для лаку – $E_0 = 4$.

По формулі (3.18) одержуємо, що

$$E' = \frac{4 + 6}{2} = 5$$

Підставляючи E' в (3.17), одержуємо значення погонної ємності C_{Π} :

$$C_{\Pi} = 0,25 \times 5 = 1,25 \text{ пФ/см}$$

Значення C підставляємо у формулу (3.17) і обчислюємо припустиму довжину паралельно розташованих сусідніх провідників при впливі тільки ємнісного паразитного зв'язку:

$$l_{\text{сд}} = \frac{22}{1,25} \approx 17,6 \text{ см}$$

Припустима довжина паралельно розташованих сусідніх провідників при впливі тільки індуктивного паразитного зв'язку для плати без площини, що екранує, визначають по рівнянню (3.19):

$$l_{\text{мд}} \times L_n \left(\frac{2 \times l_{\text{мд}}}{s + 0,5 \times (t_1 + t_2)} - 1 \right) = t_{\text{зср}} \times \frac{U_{\text{зс}} + U_0}{K_3 + \Delta I} \quad (3.19)$$

де $U_{\text{зс}}$ – значення завадостійкості мікросхем наведене в ТУ, довідниках, В ($U_{\text{зс}} = 1,5 \text{ В}$);

U_0 - напруга логічного 0, наведеного в ТУ, В ($U_0 = 1,5 \text{ В}$);

ΔI - перепад струму в ланцюзі живлення при перемиканні ІС ($I = 0,01 \text{ А}$);

$t_{\text{зср}}$ - середній час затримки ($t_{\text{зср}} = 75 \text{ нс}$);

K_3 - коефіцієнт запасу ($K_3 = 0,7$).

Для рішення даного рівняння скористаємося ітераційним методом Ньютона. Введемо позначення

$$Z = l_{\text{мд}};$$

$$C = t_{3\text{ ср}} \times (U_{3\text{с}} + U_o) / K_3 \times \Delta I);$$

$$B = -1;$$

$$A = S + 0.5 \times (t_1 + t_2) / 2.$$

Тоді вихідне рівняння перетвориться до виду

$$Z \times [\ln (Z / A) + B] - C = 0 ,$$

і ітераційна формула буде

$$Z_{i+1} = (Z_i + C) / [\ln (Z_i / A) + B + 1].$$

Обчислення по ітераційній формулі виконують доти, поки не виконається умова

$$| Z_{i+1} - Z_i | \leq \Delta ,$$

де Δ - точність обчислень.

Рекомендується вибирати $Z_o = 10...100$, $\Delta = 1$.

Тоді при $t_{3\text{ порівн}} = 75\text{нс}$, $U_{\text{пу}} = 1,5\text{ В}$; $U_o = 1,5\text{ В}$; $K_3 = 0,7$; $\Delta I = 0,01\text{А}$; $S = 0,025\text{ см}$; $t_1 = t_2 = 0,025\text{ см}$, маємо:

$$C = 75 \times (1,5 + 1,5) / (0.7 \times 0,01) = 317;$$

$$B = -1;$$

$$A = 0.025 + 0.5 \times (0.025 + 0.025) / 2 = 0.038.$$

Тоді:

$$Z1 = (100 + 317) / (\ln (100 / 0.038) + (-1) + 1) = 52;$$

$$/ 52 - 100 / = 48 > 1;$$

$$Z2 = (52 + 317) / (\ln (52/0.038) + (-1) + 1) = 51,11;$$

$$/ 51,11 - 52 / = 0,89 < 1 \text{ умова виконується.}$$

Отже, $l_{\text{мд}} = 51,11\text{ см}$.

Тоді по формулі (3.16) припустима довжина трьох паралельних провідників буде:

$$l_d = \frac{0,5 \times 17,6 \times 51,11}{17,6 + 51,11} \approx 6,5 \text{ см}$$

Звідси можна зробити висновок, що довжину трьох паралельно розташованих сигнальних провідників не можна робити більше чим 6,5 см.

4. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ОПЕРАЦІЙНОГО ПІДСИЛЮВАЧА ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОГРАМИ ELECTRONIC WORKBENCH

4.1. Основні відомості про операційні підсилювачі

Операційний підсилювач (ОП) - це підсилювач постійного струму, який за своїми характеристиками наближається до "ідеального підсилювача".

Ідеальний підсилювач має такі властивості:

- 1) нескінченний коефіцієнт посилення за напругою ($K_U \rightarrow \infty$);
- 2) нескінченний повний вхідний опір ($Z_{\text{вх}} \rightarrow \infty$);
- 3) нульовий повний вихідний опір ($Z_{\text{вих}} \rightarrow 0$);
- 4) рівність нулю вихідної напруги ($U_{\text{вих}} = 0$) при рівних напругах на входах ($U_1 = U_2$);
- 5) нескінченна ширина смуги пропускання ($\Delta f_{\text{пр}} = \infty$).

На практиці жодна з цих властивостей не може бути здійснена повністю, проте до них можна наблизитися з достатньою для багатьох програм точністю.

На рисунку 21 зображена спрощена схема операційного підсилювача. Диференціальний підсилювач (ДП) є першим каскадом. По відношенню до різниці вхідних сигналів $U_2 - U_1$ диференціальний підсилювач має високий коефіцієнт посилення. По відношенню до однакових сигналів, які подаються на входи одночасно (синфазні сигнали) ДП має низький коефіцієнт посилення. При цьому величина $Z_{вх}$ визначається вхідним каскадом ОП. Вхідний каскад є найбільш відповідальним, так як в ньому мінімізується чутливість до синфазних сигналів та напруга зсуву.

Проміжні каскади, які йдуть за вхідним каскадом, забезпечують на виході підсилювача зменшення напруги зсуву до близької до нуля величини. Також проміжні каскади відповідають за посилення напруги і струму.

Низький повний вихідний опір ОП забезпечується вихідним каскадом. Також вихідний каскад відповідає за струм, достатній для живлення очікуваних навантажень. При цьому емітерний повторювач може бути використаний в якості вихідного каскаду.

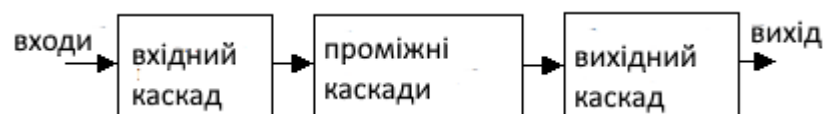


Рисунок 21. Спрощена схема операційного підсилювача

Приклад умовного позначення та цоколювки ОП К544УД2 наведено на рисунку 22.

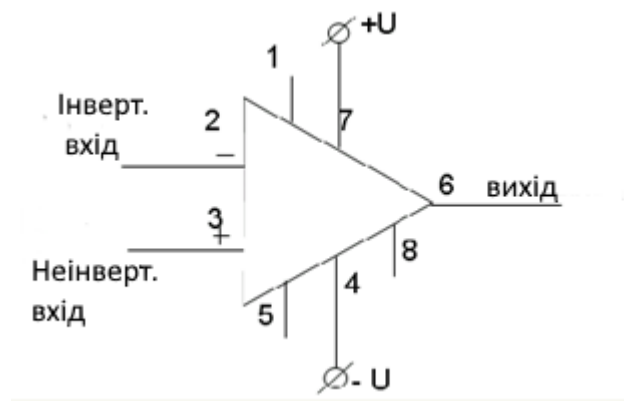


Рисунок 22. Умовне позначення операційного підсилювача

7, 4 - виводи живлення операційного підсилювача;

1, 8 - виводи частотної корекції (ці виводи використовуються для запобігання генерації операційного підсилювача, якщо останній не має внутрішньої корекції);

6 – вихід (вивод, з якого знімається посилена напруга);

2 – інвертуючий вхід (сигнал виходу буде зсунутим по фазі на 180° щодо сигналу на вході, якщо неінвертуючий вхід заземлити і сигнал подати на вхід, що інвертує);

3 – неінвертуючий вхід (вихідний сигнал буде синфазним з сигналом на вході, якщо інвертуючий вхід заземлити, а сигнал подати на вхід, що неінвертує).

Основні параметри ОП, які характеризують його роботу.

Середній вхідний струм $I_{вх}$. Через вхідні виводи ОП, якщо немає сигналу на входах ОП, протікають струми, які можуть бути викликані за рахунок базових струмів вхідних біполярних транзисторів. Або струми на входах ОП можуть бути викликані струмами витоку затворів для ОП з польовими транзисторами на вході. Якщо на виході ОП без сигналу на вході появляється падіння напруги, то це явище може бути викликане вхідними струмами, що проходять через внутрішній опір джерела вхідного сигналу. Компенсувати це

падіння напруги неможливе за рахунок того, що на 10...20% один від одного відрізняються струми на входах реальних ОП.

Величина середнього вхідного струму на вході ОП:

$$I_{\text{вх}} = \frac{I_1 + I_2}{2} \quad (4.1.)$$

де I_1 і I_2 відповідно струми інвертуючого та неінвертуючого входів.

Розрахунок різниці вхідних струмів $\Delta I_{\text{вх}}$ ОП:

$$\Delta I_{\text{вх}} = I_1 - I_2 \quad (4.2.)$$

Значення цієї величини по модулю вказують у довідниках.

Коефіцієнт посилення напруги на постійному струмі K_{UI} . Коефіцієнт посилення K_{UI} для ідеального ОП дорівнює нескінченності.

Напруга зміщення $U_{\text{зм}}$ - напруга, яку необхідно подати на вхід ОП, щоб напруга на його виході дорівнювала нулю.

Вхідний опір $R_{\text{вх}}$. Зазвичай для ОП розраховують дві складові вхідного опору. Двома складовими є диференціальний вхідний опір та вхідний опір за синфазним сигналом (опір витоку між кожним входом та «землею»). Якщо обчислити для біполярних ОП вхідний диференціальний опір, то він дорівнює від 10 кОм до 10МОм. Вхідний опір за синфазним сигналом визначається як відношення збільшення вхідної синфазної напруги $\Delta U_{\text{вх.сф.}}$ до викликаного збільшення середнього вхідного струму $\Delta I_{\text{вх. порівн.}}$:

$$R_{\text{вх.сф.}} = \frac{\Delta U_{\text{вх.сф.}}}{\Delta I_{\text{вх.ср}}} \quad (4.3.)$$

Диференціальний вхідний опір (між входами ОП) можна визначити таким чином:

$$R_{\text{вх.диф.}} = \frac{\Delta U_{\text{вх.}}}{\Delta I_{\text{вх.}}} \quad (4.4.)$$

де $\Delta U_{\text{вх}}$ – зміна напруги між входами ОП, $\Delta I_{\text{вх}}$ – зміна вхідного струму.

В інтегральних ОП вихідний опір R дорівнює від 20 Ом до 2000 Ом.

Якщо потрібно обчислити швидкість наростання вихідної напруги $V_{U_{\text{вих}}}$, то потрібно знайти відношення зміни вихідної напруги ОП на час її наростання при подачі на вхід стрибка напруги. Для того щоб обчислити час наростання, потрібно визначити інтервал часу, протягом якого вихідна напруга ОП змінюється від 10% до 90% від своїх значень.

Для цього потрібно подати імпульс у вигляді ступеня на вхід ОП, який охоплений негативним зворотним зв'язком (НЗЗ). Коефіцієнт посилення повинен змінюватися від 1 до 10.

4.2. Дослідження електричних параметрів операційного підсилювача TL074 за допомогою програми Electronic Workbench

Для вимірювання вхідних струмів ОП було зібрано схему, зображену на рисунку 23. За результатами вимірювань було обчислено середній вхідний струм $I_{\text{вх}}$ та різницю $\Delta I_{\text{вх}}$ вхідних струмів ОП.

Для вимірювання напруги зсуву використовували схему, зображену на рисунку 23.

За результатами вимірювань було обчислено напругу зміщення $U_{зм}$, використовуючи коефіцієнт посилення схеми на ОП.

Коефіцієнт посилення напруги схеми підсилювача на ОП (рис. 25) обчислюється за такою формулою:

$$K_U = -\frac{R_2}{R_1} \quad (4.5.)$$

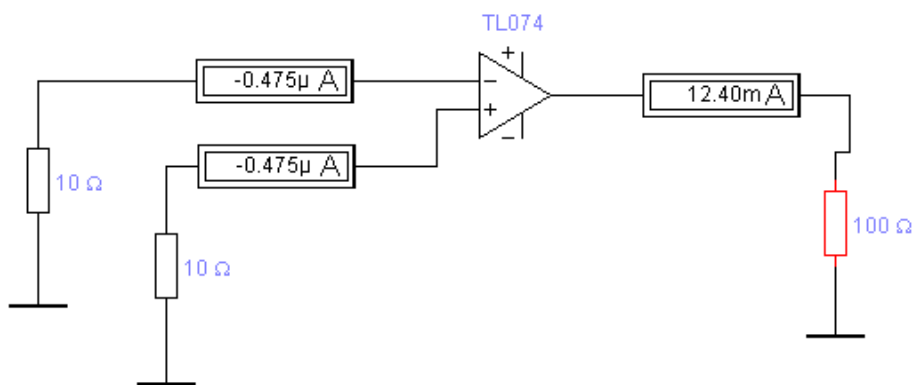


Рисунок 23. Схема для вимірювання входних струмів ОП

Результати вимірювань.

Вимірювання входних струмів.

Струм неінвертованого входу $I_1 = \underline{-0,475 \text{ мкА}}$

Струм інвертуючого входу $I_2 = \underline{-0,475 \text{ мкА}}$

Середній входний струм $I_{вх}$ (розрахунок за результатами вимірів)
0,475 мкА

Різниця входних струмів $\Delta I_{вх}$ (розрахунок за результатами вимірювань)
0

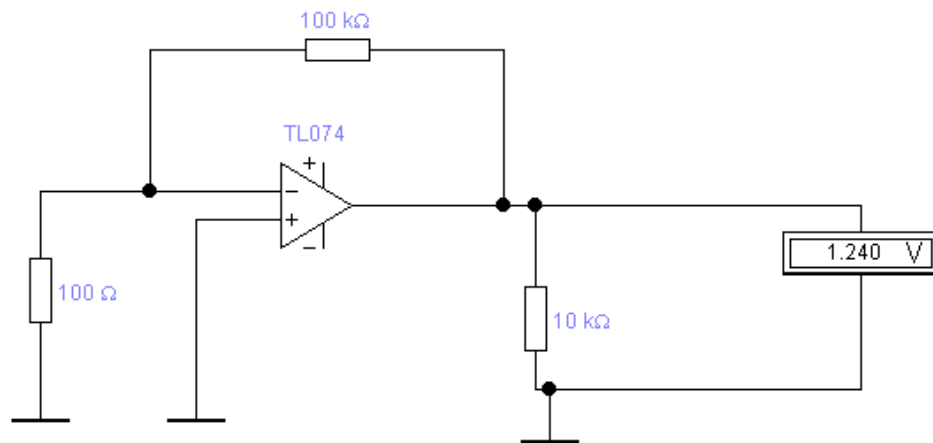


Рисунок 24. Схема для вимірювання напруги зсуву

Результати вимірювання напруги зсуву.

Вихідна напруга підсилювача $U_{\text{вих}}$ 1,24В

Коефіцієнт посилення схеми (розрахунок) 1000

Напруга зсуву $U_{\text{зс}}$ (розрахунок за результатами вимірювань) 0,00124В

$$K_U = - \frac{1000000\text{Ом}}{1000\text{Ом}} = 1000$$

$$U_{\text{зс}} = U_{\text{вих}} / K = 1,24\text{В} / 1000 = 0,00124\text{В}$$

Для вимірювання вхідного та вихідного опорів було зібрано схему, зображену на рисунках 25, 26, 27. Для вимірювання вхідного опору треба виміряти вхідний струм $I_{\text{вх}}$ та вихідну напругу $U_{\text{вих}}$. Перемикайте ключ [Space]. Виміряйте вхідний струм після перемикання ключа. Розрахуйте зміну вхідної напруги та струму. За отриманими результатами обчисліть диференціальний опір вхідний ОП.

Зменшуйте опір навантажувального резистора R_2 до тих пір, поки вихідна напруга $U_{\text{вих}}$ не буде приблизно дорівнювати половині значення,

отриманого раніше. Запишіть значення опору R_2 , яке в цьому випадку приблизно дорівнює вихідному опору $U_{\text{вих}}$ ОП.

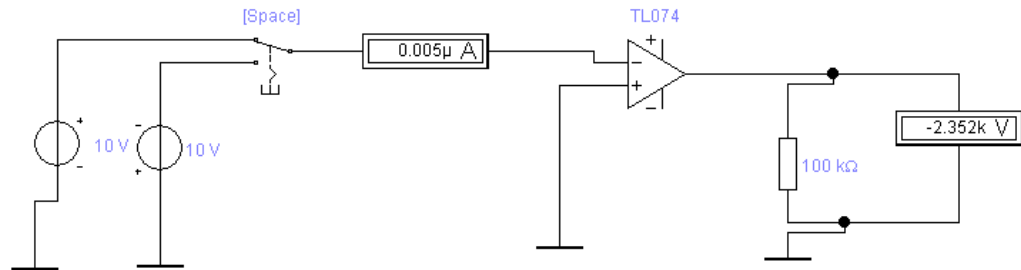


Рисунок 25. Схема для вимірювання вхідного опору

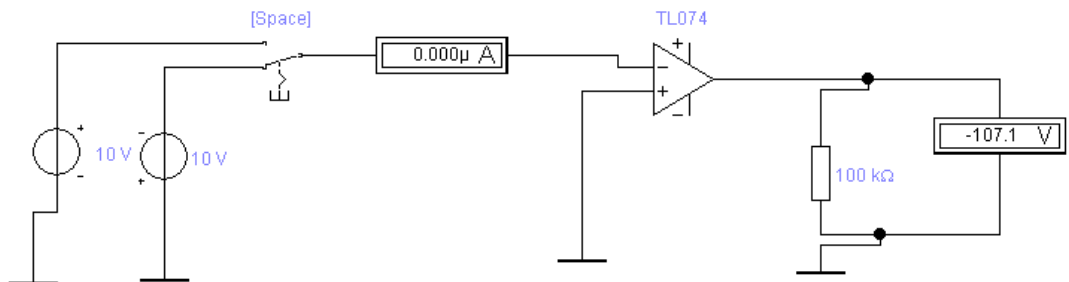


Рисунок 26. Схема для вимірювання вхідного опору після перемикавання ключа

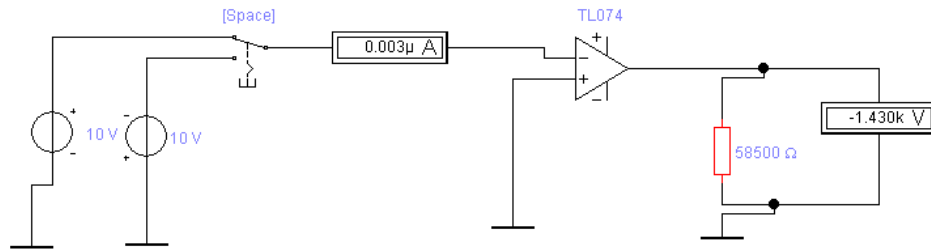


Рисунок 27. Схема для вимірювання вихідного опору

Результати вимірювання вхідного та вихідного опорів.

а) Вхідний струм $I_{вх}$, мкА до перемикання ключа 0,005

Вхідний струм $I_{вх}$, мкА після перемикання ключа 0

Зміна вхідної напруги, В (розрахунок) 10

Зміни вхідного струму, мкА (розрахунок) 0,005

Вхідний диференціальний опір ОП(розрахунок) 2×10^8 Ом

б) Вихідна напруга $U_{вих}$ = 2352 В

Вихідний опір ОП $R_{вих}$ 47×10^9 Ом

Для вимірювання часу наростання вихідної напруги ОП було зібрано схему, зображену на рисунку 28. Було замальовано осцилограму вихідної напруги. За осцилограмою було визначено величину вихідної напруги, час її встановлення та обчислена швидкість наростання вихідної напруги у В/мкс.

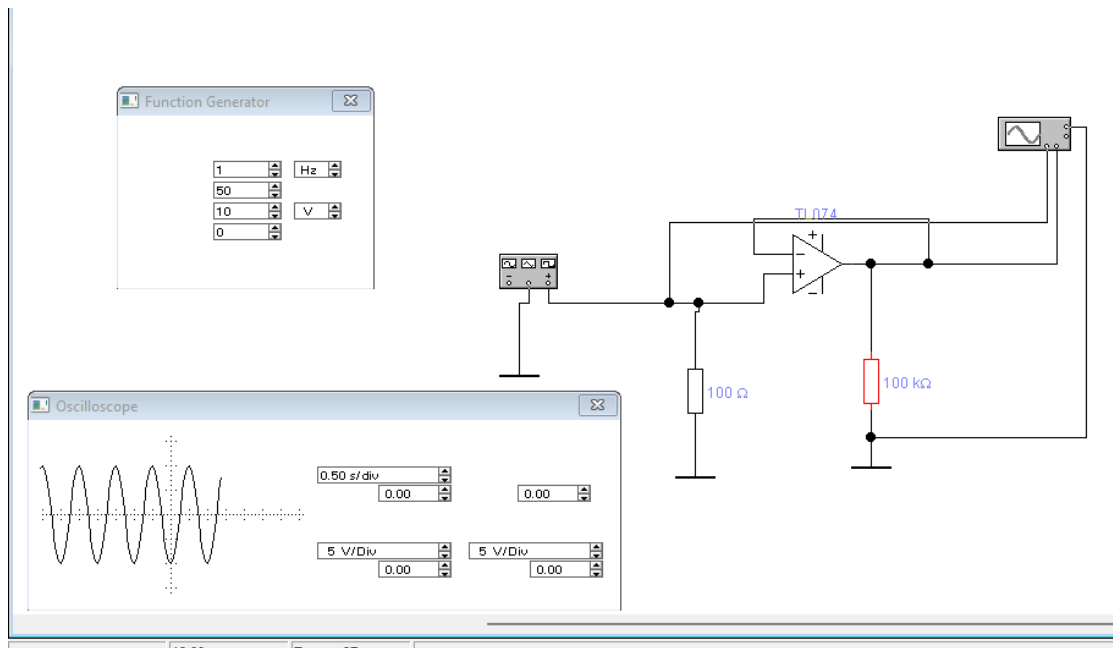


Рисунок 28. Схема для вимірювання часу наростання вихідної напруги ОП

Результати вимірювання часу наростання вихідної напруги ОП.

Вихідна напруга $U_{\text{вих}}$ 10V

Час встановлення вихідної напруги 1с

Швидкість наростання вихідної напруги ОП $V_{\text{увих}}$ 10V/с

Осцилограми вхідної та вихідної напруги

4.3. Дослідження неінвертуючих і інвертуючих схем включення операційного підсилювача (ОП)

Коефіцієнт посилення схеми неінвертуючого підсилювача на ОП (рис.29) обчислюється за такою формулою:

$$K_{\Pi} = 1 + \frac{R_1}{R_2} \quad (4.6.)$$

Постійна складова вихідної напруги підсилювача $U_{0\text{вих}}$ визначається добутком напруги зміщення $U_{\text{зм}}$ на коефіцієнт посилення схеми $K_{\text{п}}$:

$$U_{0\text{вих}} = U_{\text{зм}} K_{\text{п}} . \quad (4.7.)$$

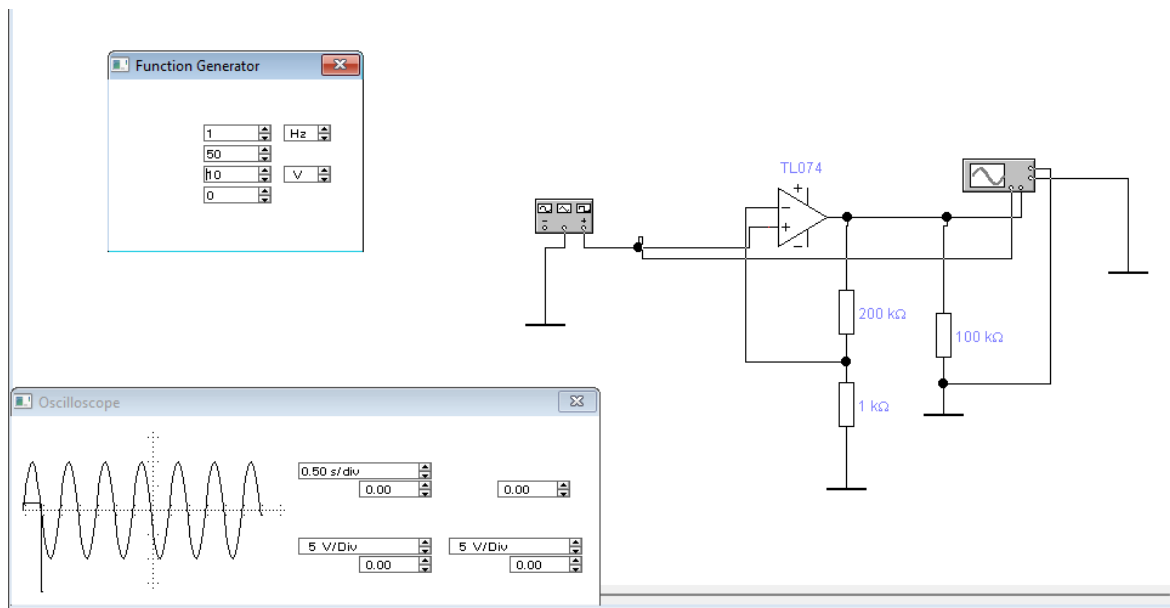


Рисунок 29. Підсилювач, що не інвертує, на ОП

Коефіцієнт посилення підсилювача, що інвертує, на ОП зі зворотним зв'язком (рис.30) обчислюється за формулою:

$$K_{\text{п}} = -\frac{R_2}{R_1} \quad (4.8.)$$

Знак "мінус" у формулі означає, що вихідна напруга підсилювача, що інвертує, знаходиться в протифазі з вхідною напругою.

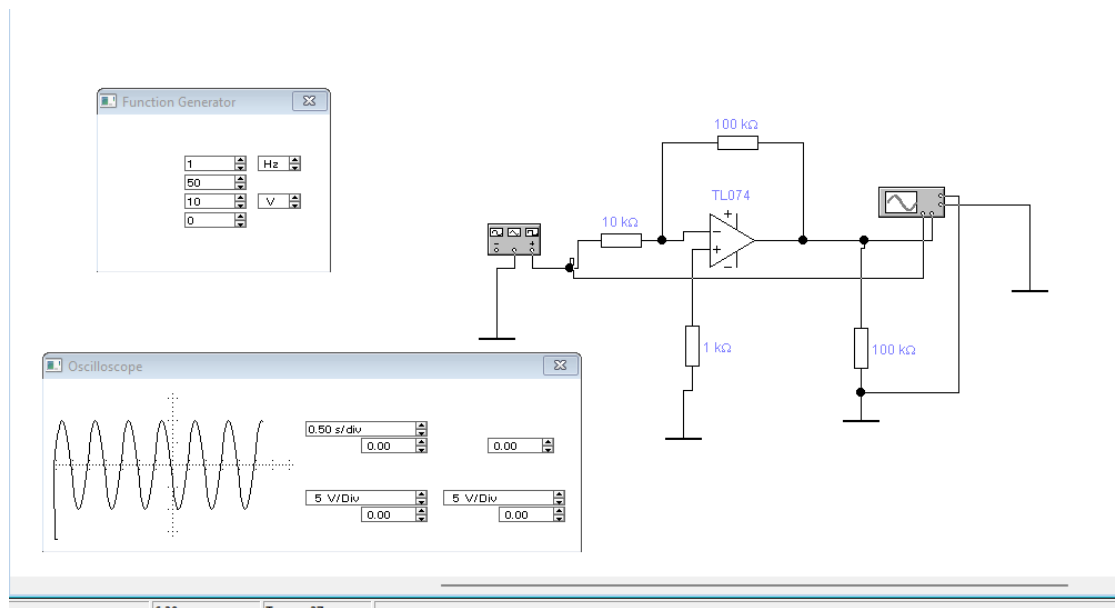


Рисунок 30. Інвертуючий підсилювач

Для дослідження роботи підсилювача, що не інвертує, в режимі посилення синусоїдальної напруги було зібрано схему, зображену на рисунку 29. Було розраховано коефіцієнт посилення напруги K_n підсилювача за заданими значеннями параметрів компонентів схеми. Для цього було виміряно амплітуди вхідної та вихідної синусоїдальної напруги, постійну складову вихідної напруги $U_{0\text{вих}}$ і різницю фаз між вхідною та вихідною напругою. За результатами вимірів було обчислено коефіцієнт посилення за напругою K_U підсилювача. Використовуючи значення напруги зміщення $U_{\text{зм}}$ обчислене у попередньому пункті та обчислене теоретичне значення коефіцієнта посилення, було обчислено постійну складову вихідної напруги $U_{0\text{вих}}$.

Для дослідження роботи підсилювача, що інвертує, в режимі посилення синусоїдальної напруги було зібрано схему, зображену на рисунку 30. Також було розраховано коефіцієнт посилення напруги K_U підсилювача за значеннями параметрів компонентів схеми. Для цього було виміряно амплітуду вхідної та вихідної синусоїдальної напруги, постійну складову вихідної напруги $U_{0\text{вих}}$ та різницю фаз між вхідною та вихідною напругою. За

результатами вимірювань обчислено коефіцієнт підсилення напруги підсилювача.

Для дослідження роботи підсилювача у режимі посилення синусоїдальної напруги було зібрано схему на рисунку 31.

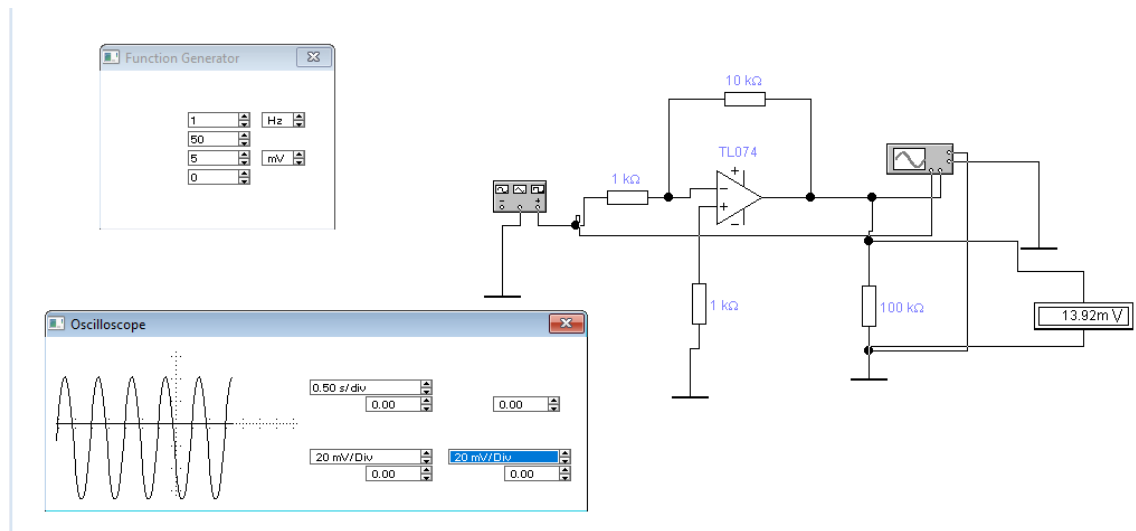


Рисунок 31. Схема для дослідження роботи підсилювача у режимі посилення синусоїдальної напруги

Було розраховано коефіцієнт посилення напруги підсилювача K_U за значеннями параметрів компонентів схеми. Для цього було виміряно амплітуду вхідної $U_{вх}$ і вихідної $U_{вих}$ синусоїдальної напруги, постійну складову вихідної напруги $U_{0вих}$ і різницю фаз між вхідною і вихідною напругою. За результатами вимірювань було обчислено коефіцієнт підсилення за напругою підсилювача K_U .

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

Регулятор швидкості двигуна має попит в електричних силових установках різного типу і потужності. Сьогодні сфери застосування електродвигунів настільки різноманітні, але вимоги до них різні.

В дипломній роботі було розроблено регулятор швидкості двигуна та досліджені електричні параметри операційного підсилювача TL074, на основі якого зроблено пристрій. Було зроблено аналіз аналогів регулятора швидкості двигуна та обрано електричну принципову схему пристрою. Також було обрано технічні параметри елементної бази розроблюваного пристрою. У проведеній роботі з аналізу технічного завдання були проаналізовані умови експлуатації розроблюваного пристрою, його застосування й принцип роботи. Основною частиною пристрою є операційний підсилювач TL074.

Після вибору матеріалу друкованої плати були розраховані габаритні розміри друкованої плати – 105 x 42,5 мм регулятора швидкості двигуна.

За результатами розрахунків параметрів друкованого монтажу з урахуванням технологічних можливостей виробництва був обраний третій клас точності плати. Конструкторсько-технологічний розрахунок був уточнений перевірочними розрахунками по постійному та змінному струму.

Виконані трасування, одержані креслення і конструкторська документація. Креслення друкованої плати й складальне креслення представлені в графічній частині проекту.

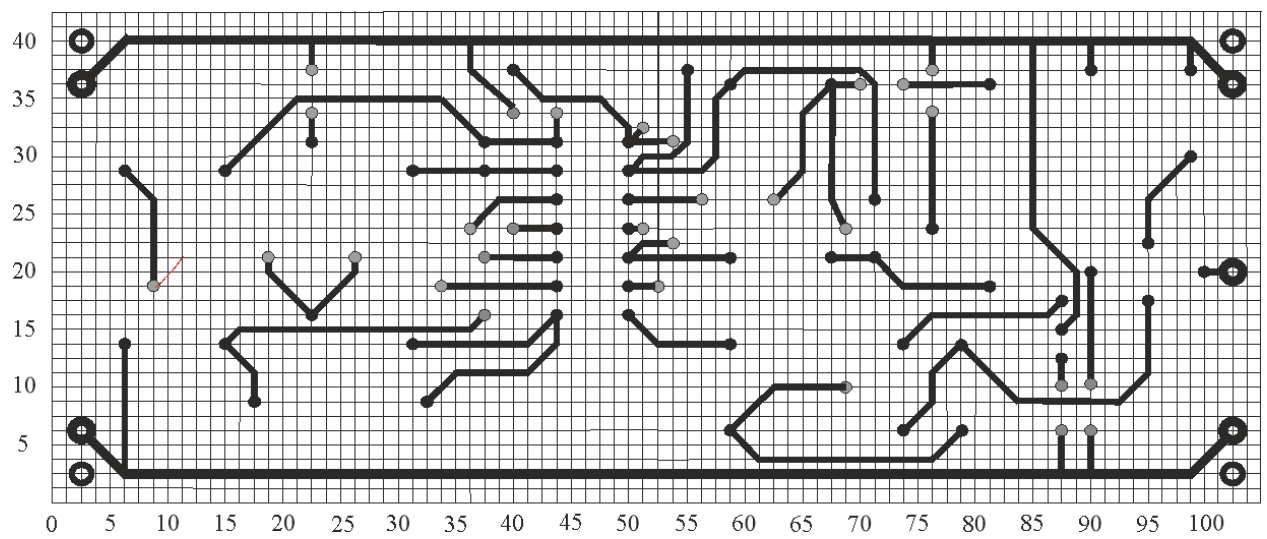
Було промодельовано електричні параметри операційного підсилювача TL074 за допомогою системи схемотехнічного моделювання електронних схем ELECTRONICS WORKBENCH 5_12.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

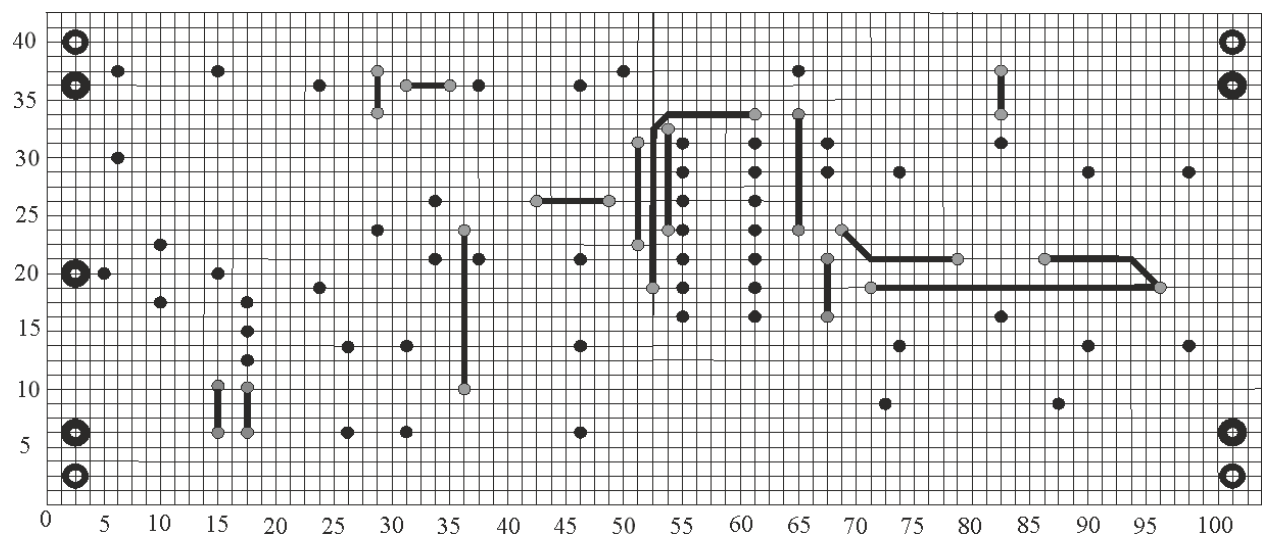
1. Попович М.Г., Ковальчук О.В. Теорія автоматичного керування: Підручник. – К.: Либідь, 1997. – 544 с.
2. Колб А. А. Теорія електроприводу: Навчальний посібник / А. А. Колб, А. А. Колб. – Д.: Національний гірничий університет, 2006. – 511 с.
3. Попович М. Г. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи: Навч. Посібник / М. Г. Попович, О. Ю. Лозинський, В. Б. Клепіков. – К.: Либідь, 2005. – 680 с.
4. Піцан Р., Бардачевский В., Бойчук Б. Збірник задач до курсу “Електропривод”. – Львів, Видавництво “Львівська політехніка”, 1999. – 426 с.
5. Теорія електропривода: Підручник / М.Г. Попович, М.Г. Борисюк, В.А. Гаврилюк та ін.; За ред. М.Г. Поповича. – К.: Вища шк., 1993. – 494 с.
6. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи: Навч. посібник / М.Г. Попович, О.Ю. Лозинський, В.Б. Клепіков та ін.; За ред. М.Г Поповича, О.Ю. Лозинського. – К. : Либідь, 2005. – 680 с
7. J.R. Hendershot & T.J.E. Miller Design of Brushless Permanent-Magnet Machines. – Motor Design Books LLC; Second Edition (March 30, 2010). – 882 p.
8. Jacek F. Gieras, Rong-Jie Wang, Maarten J. Kamper Axial Flux Permanent Magnet Brushless Machines. Springer; 2nd ed. 2008 edition (November 21, 2014). – 373 p.
9. Ahmed F. Zobaa, Shady H.E. Abdel Aleem Brushless Electric Machines with Axial Magnetic Flux: Analysis and Synthesis. 2021. – 118 p.
10. Безрученко В. М., Варченко В. К., Чумак В. В. Тягові електричні машини електрорухомого складу – Дніпропетровськ, ДНУЗТ, 2003. – 253 с
11. Частотно-регульований асинхронний електропривод / Schneider Electric, Одеса, 2007. – 39 с.

Додаток А.

Трасування друкованої плати



Дзеркальне відображення друкованої плати



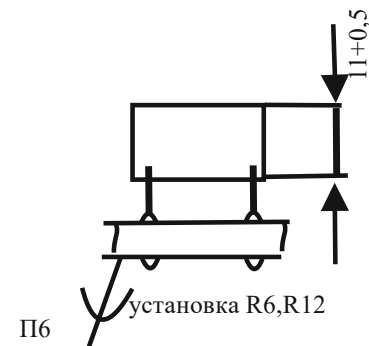
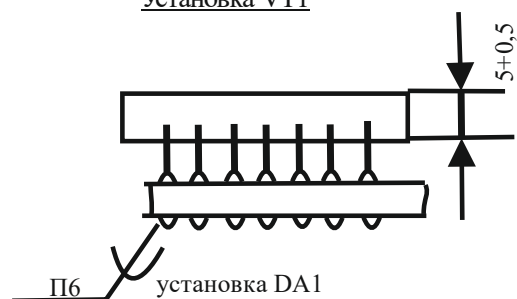
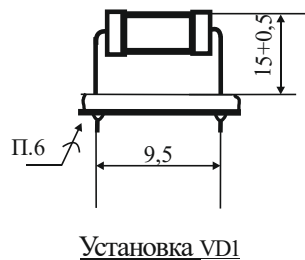
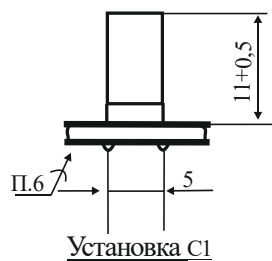
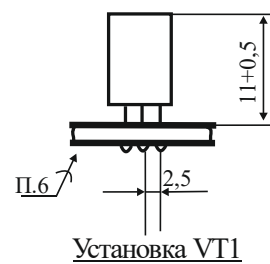
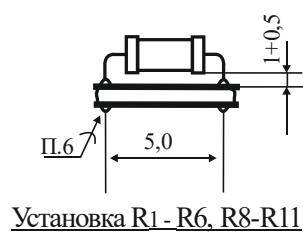
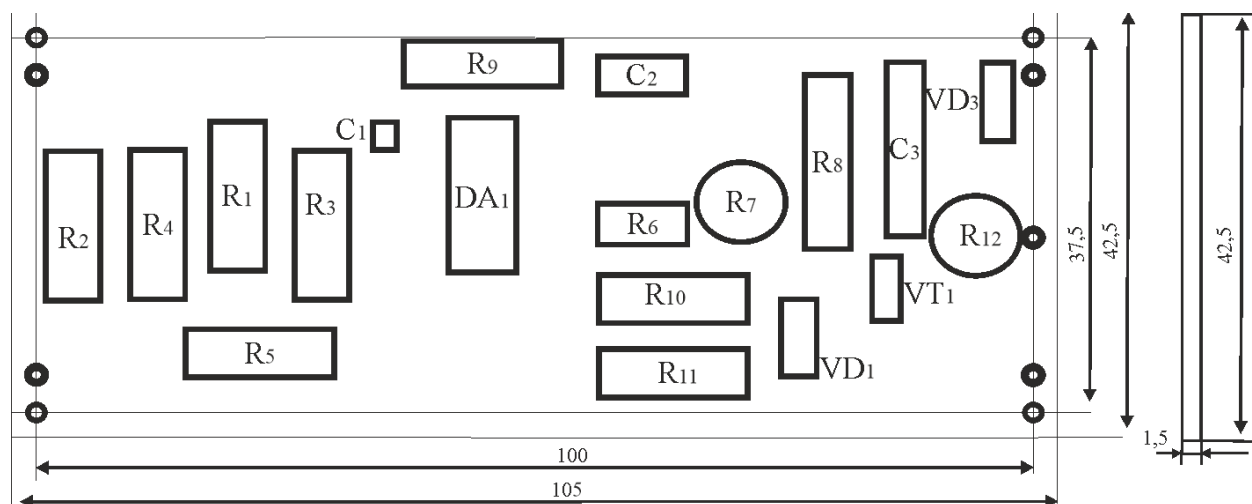
Таблиця отворів

графіч. зображ.	діаметр КМ	діаметр отвору	наявність металу	призначення
•	1,5	1,3	так	монтажне
●	0,9	0,7	так	перехідне
○	2,4	2,0	так	монтажне
◯	5,3	5	ні	кріплення

- *
- 1. Розміри довідок
- 2. Плату зробити комбінованим позитивним способом.
- 3. Плата має відповідати ГОСТ 23752-86, група жорсткості 3.
- 4. Клас точності 3 за ГОСТ 23751-86.
- 5. Крок основної координатної сітки 1,25 мм. Лінії координатної сітки показано через 1,25 мм.
- 6. Відстань між двома провідниками, контактними майданчиками, провідником та контактним майданчиком не менше 0,25мм.
- 7. Ширина друкарського провідника 0,25 мм шини живлення.
- 8. Провідники покрити сплавом Розі за ТУ-09-4065-88.
- 9. Інші ТУ за ДСТУ 4ГО.070.015

Додаток В

Складальні креслення друкованої плати



1. Плата должна соответствовать требованиям ГОСТ 23752-79. Группа жесткости 1.
2. Класс точности 3 по ГОСТ 23751-88.
3. * Размер для справки
4. Конфигурация проводников выдерживать по координатной сетке с отклонением от чертежа $\pm 0,1\text{ мм}$
5. Ширина проводника *  0,5 мм *  1,5 мм *
 3 мм
6. Форма и размеры контактных площадок определяются возможностями технических средств и устанавливаются предприятием-изготовителем фотолитога. Размер контактной площадки определяется диаметром вписанной окружности и должен соответствовать ГОСТ 23751-88.
7. Маркировку проводником выполнять шрифтом 2,5-Пр3 ГОСТ 26.020-80. Допускается шрифт, выполненный на координатозащитах с программным управлением. Расстояние от маркировки до края платы не менее 0,5 мм. Допускается тиснение маркировочных обозначений одного печатного элемента.
8. Плату печатную покрыть глянцевым защитным лаком (глянцевой маской) в соответствии с технической инструкцией завода-изготовителя. Тип глянцевого защитного лака устанавливает завод-изготовитель.
9. Маркировать краской PLASTSTAR OE-025, белой, фирмы "SERICOL". Шрифт 2,5-Пр3 ГОСТ 26.020-80.
10. Клеивать краской PLASTSTAR OE-025, белой, фирмы "SERICOL".
11. Допускается маркировать и клеивать краской прозрачной для негитидирующих поверхностей ТНФ-84, белой ТНФ-01, черной TV 29-02-889-88, УНН или краской PLASTSTAR OE-001, черной, фирмы "SERICOL".
12. Маркировочный слой выполнить краской ТНФ-84, белой TV 29-02-889-88, УНН. Шрифт 2-Пр3 ГОСТ 26.020-80.
13. Условные обозначения и размеры отверстий см. табл. лист . Наименование столбцов таблицы отверстий: Hole Dia(мм)–Диаметр отверстий(мм); Symbol–Условное обозначение; Quantity–Количество Plated–Наличие металлизации (Yes–Есть, No–Нет).
14. Допускается замена материала на стеклотекстолит СТФ-2-35-1,5 ТМ6-503.161.-83.
15. Площадь металлизации 85 кв.см
16. Обработку печатной платы по контуру выполнять фрезерованием согласно
17. Остальные технические требования по ОСТ4 П.070.014.