

СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ  
ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

Факультет інформаційних технологій та електроніки

Кафедра інформаційних технологій та програмування

**Пояснювальна записка**  
до магістерської дипломної роботи

магістр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: «Дослідження процесів зміни ємності акумулятора»

Виконав: студент 2 курсу, групи ЕЛ-23зм  
171 «Електроніка»

(шифр і назва спеціальності)

Шевченко А.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник Самойлова Ж.Г.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Захожай О.І.

(прізвище та ініціали)

Київ – 2024 року

СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА  
ДАЛЯ

Факультет інформаційних технологій та електроніки  
Кафедра інформаційних технологій та програмування  
Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр  
Спеціальність 171 «Електроніка»  
(шифр і назва спеціальності)

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри ІТП  
\_\_\_\_\_ д.т.н., проф. Захожай О.І.  
(підпис)  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 р.

### ЗАВДАННЯ

на магістерську дипломну роботу студенту  
Шевченко Артему Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Дослідження процесів зміни ємності акумулятора»,  
керівник роботи доцент, к.т.н. Самойлова Жанна Георгіївна,  
(вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ім'я, по батькові)  
затверджені наказом університету від « 06 » 12 2024 року №361/15.15-С
  2. Строк подання студентом роботи: 15 грудня 2024 р.
  3. Вихідні дані до роботи: Матеріали науково-дослідної практики, науково-методична література; дані інтернет-мережі .
  4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
    - 4.1 Вступ
    - 4.2 Аналітичний огляд питання (огляд публічних джерел інформації)
    - 4.3 Основна частина, в якій висвітлити методи, які будуть використовуватися для реалізації проекту.
    - 4.4 Практична частина – розробка конструкції тестера ємності акумулятора і моделювання електричних параметрів операційного підсилювача.
    - 4.4 Висновки
    - 4.5 Перелік використаних джерел
  5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
- 
-

## 6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

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

7. Дата видачі завдання 08 листопада 2024р.**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Одержання завдання на виконання роботи	08.11.2024	
2.	Укладання і погодження з керівником плану і етапів виконання роботи	11.11.2024	
3.	Узагальнення даних літературних джерел	12.11.2024	
4.	Аналіз шляхів виконання завдання. Вибір і погодження з керівником оптимального шляху виконання завдання	18.11.2024	
5.	Аналіз технічних засобів та існуючих систем	21.11.2024	
6.	Реалізація практичної частини завдання	29.11.2024	
7.	Укладання, оформлення та погодження пояснювальної записки з керівником	05.12.2024	
8.	Надання пояснювальної записки на кафедрі	06.12.2024	
9.	Підготовка доповіді та презентації	09.12.2024	

Студент Шевченко А.С.  
(підпис) (прізвище та ініціали)Керівник роботи Самойлова Ж.Г.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломного проекту містить:

80 сторінок , 57 рисунків, 10 таблиць, 12 джерел, мова - українська.

АКУМУЛЯТОР, ЄМНІСТЬ, ЕЛЕКТРОРАДІОЕЛЕМЕНТ, РЕЗИСТОР, КОНДЕНСАТОР, МІКРОСХЕМА, МІКРОКОНТРОЛЕР, ДРУКОВАНИЙ ПРОВІДНИК, МОНТАЖНИЙ ОТВІР, КОНТАКТНА ПЛОЩАДКА, КОНСТРУКЦІЯ, ТРАСУВАННЯ, ОПЕРАЦІЙНИЙ ПІДСИЛЮВАЧ

Об'єкт розробки – дослідження процесу зміни ємності акумулятора, топологічне проектування і моделювання параметрів тестера ємності акумулятора.

Мета роботи - дослідити процес розробки тестера ємності акумулятора, спроектувати топологію плати тестера ємності акумулятора на основі схеми електричної принципової відповідно до вимог технічного завдання та промодельовати параметри операційного підсилювача.

Метод дослідження - теоретичний із застосуванням комп'ютерної техніки.

У дипломній роботі досліджені процеси розробки тестера ємності акумулятора, розраховані показники безвідмовності та спроектована топологія плати тестера ємності акумулятора на основі схеми електричної принципової. Проведені конструктивні розрахунки, розрахунки по постійному та змінному струму. Проаналізовані та узагальнені отримані результати. При моделюванні електричних параметрів операційного підсилювача використовувалась програма **ELECTRONICS WORKBENCH 5\_12**.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	7
ВСТУП.....	8
1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД АНАЛОГІВ ПРОЕКТОВАНОГО ПРИСТРОЮ.....	9
<b>1.1.</b> Вимірювач ємності акумуляторів на Arduino.....	9
<b>1.2.</b> Вимірювач ємності акумулятора (АКБ).....	14
<b>1.3.</b> Тестер ємності літій-іонних батарей 18650 на Arduino.....	18
2. АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ.....	24
2.1. Аналіз схеми електричної принципової.....	24
2.2. Вибір елементної бази.....	28
3. РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ПРИСТРОЮ.....	52
3.1. Вибір конструкції друкованої плати.....	52
3.2. Конструктивно-технологічний розрахунок друкарського монтажу.....	53
3.3. Визначення мінімальної ширини друкованих провідників.....	54
3.4. Визначення діаметрів контактних майданчиків.....	57
4. МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ТЕСТЕРА ЄМНОСТІ АКУМУЛЯТОРА .....	61
4.1. Основні визначення і параметри операційного підсилювача.....	61
4.2. Підсилювач, що інвертує.....	62
4.3. Підсилювач, що не інвертує.....	63
4.4. Інвертуючий суматор.....	64
4.5. Диференціальний підсилювач.....	65
4.6. Інтегратор.....	65

4.7. Моделювання електричних параметрів операційного підсилювача в схемі тестера ємності акумулятора за допомогою програми Electronic Workbench.....	66
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ.....	74
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	75
Додаток А.....	76
Додаток В .....	78

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ШІМ - широтно-імпульсна модуляція;

ФНЧ - фільтра низьких частот;

АВН - автоматичний визначеник номеру;

РКІ - рідиннокристалічний індикатор;

АКБ – акумуляторна батарея;

ЕРЕ - електрорадіоелемент;

НЕ - начіпний елемент;

ДП - друкована плата;

ІС - інтегральна схема;

РЕА - радіоелектронна апаратура;

УГП - умовне графічне позначення;

ДДП - двостороння друковна плата;

ОП – операційний підсилювач;

АЦП - аналого-цифрового перетворення.

## ВСТУП

Ємність є провідним індикатором працездатності акумулятора, але оцінити її без відповідних вимірювань досить складно.

У тестерах для акумуляторних батарей зараз немає жодної нестачі, але більшості з них не вистачає точності. Ємність, що веде індикатор працездатності, важко виміряти безпосередньо під час експлуатації. Традиційний цикл заряджання/розряджання залишається найнадійнішим вимірюванням ємності. Але в той час як невеликі портативні акумулятори можуть пройти таке тестування відносно швидко, для великих моделей свинцево-кислотний даний метод непрактичний.

Без надійного тестуючого пристрою під рукою, вимірювання параметрів акумулятора неможливі. В результаті хороші зразки замінюються дуже рано, а слабкі залишаються в експлуатації, виходячи з ладу після перевірки. Відсутність точного тестування також призводить до непотрібних замін ще гарантійних акумуляторів.

У даній дипломній роботі досліджувалася розробка тестера для вимірювання ємності акумулятора і моделювання його електричних параметрів. В ході виконання роботи було зроблено аналіз вихідних даних на предмет оптимального вибору електричної принципової схеми та типу електронних компонентів, що входять до складу пристрою, розрахунок ланцюгів тестера та параметрів його компонентів.

Оптимізація вибору складових компонентів полягає в тому, що при проектуванні тестера слід використовувати такі елементи, щоб їх параметри забезпечували максимальну ефективність пристрою за заданими характеристиками, а також його економічність з точки зору витрати енергії живлення та собівартості компонентів, що входять до нього.

Актуальність, теоретична та практична значущість проблеми, що вивчається, зумовили вибір теми дипломної роботи.



## 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД АНАЛОГІВ ПРОЕКТОВАНОГО ПРИСТРОЮ

### 1.4. Вимірювач ємності акумуляторів на Arduino

Сьогодні в експлуатації знаходиться велика кількість акумуляторів та акумуляторних батарей. Всі мобільні пристрої, насамперед, мобільні телефони, смартфони, планшети, програвачі, як правило, живляться від акумуляторів. Крім того, акумуляторні батареї встановлені в блоках безперебійного живлення, ноутбуках та нетбуках. Нерідко ці джерела живлення виходять з ладу - зменшується їхня ємність, збільшується внутрішній опір. Пропонований пристрій, зібраний на основі мікроконтролерної плати Arduino Uno, дозволяє провести діагностику акумуляторів та акумуляторних батарей - виміряти їх ємність та внутрішній опір.

Цей пристрій призначений для вимірювання електричної ємності акумуляторів та акумуляторних батарей (далі - акумуляторів) напругою від 1 до 15 В та ємністю до 20...30 А·год. Стабільний струм розрядки можна встановити змінними резисторами в інтервалі 0...3 А, напруга відключення - 0...15 В. Застосований дворядковий шістнадцятисимвольний рідиннокристалічний індикатор (РКІ), на який виводиться інформація про чотири параметри акумулятора: поточну напругу, напругу відключення (порогова) струмі та ємності. Причому ємність вимірюється постійно, і будь-якої миті можна переглянути її поточне значення. Коли напруга акумулятора стає менше порогової, розрядка зупиняється, лунає звуковий сигнал, включається світлодіод червоного світіння, а на РКІ будуть виведені всі вказані вище параметри. Крім того, якщо в процесі розрядки натиснути на кнопку, на РКІ додатково виводиться інформація про внутрішній опір акумулятора та його напругу без навантаження.

Схема пристрою показано на рисунку 1.1. Його основа - плата Arduino Uno, що керує всіма вузлами та виконує основні операції. На операційному підсилювачі (ОП) DA1.1, польовому транзисторі VT2 та датчику струму - резисторах R9 і R10

зібраний стабілізатор розрядного струму, значення якого встановлюють змінними резисторами R3 "Грубо" та R4 "Точно". Це дозволило задавати бажаний струм розрядки в широкому інтервалі, крім того, спростити програму і, зрештою, просто вимірювати час розрядки. Порогова напруга, до якої слід розряджати акумулятор, встановлюють змінними резисторами R5 "Грубо" та R6 "Точно". Напруга акумулятора, гранична, а також на датчику струму вимірює Arduino (входи A0, A1 і A2 відповідно). Значення перших двох напруг виводяться на РКІ HG1. Струм розрядки обчислюється як відношення напруги на датчику струму до його опору, а ємність акумулятора (C) - як добуток розрядного струму на час. Струм і ємність також відображаються на екрані РКІ. Інформацію про порогову напругу та струм розрядки модуль Arduino не запам'ятовує, а зчитує безпосередньо з двигунів змінних резисторів, тому після встановлення їх не слід чіпати.

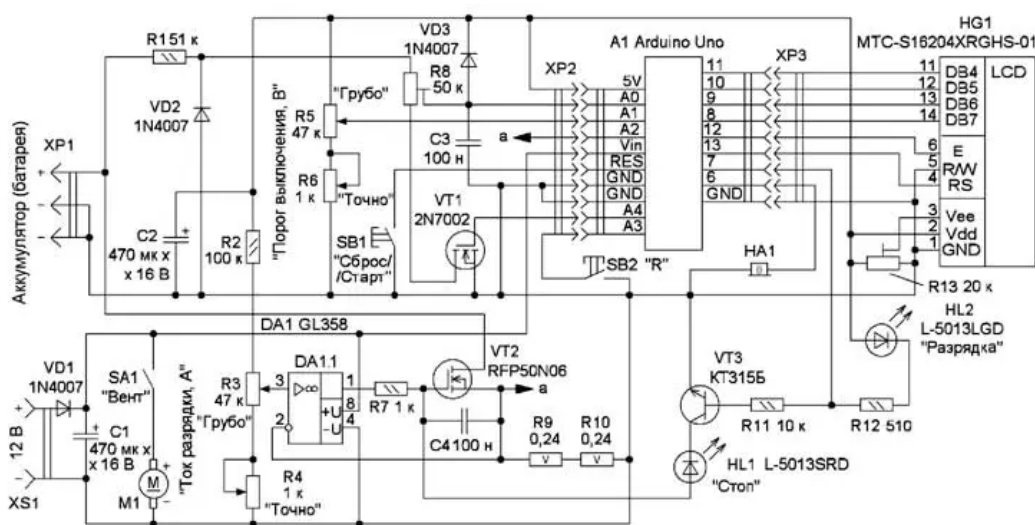


Рисунок 1.1. Схема пристрою

Для підвищення точності вимірювань весь інтервал вхідної напруги розбитий на два, межа між ними - 4,9 В. Інтервали автоматично перемикаються за допомогою керованого атенюатора на елементах R1, R8 і VT1. У першому інтервалі транзистор VT1 закритий, і вся напруга акумулятора надходить на вхід A0. У другому інтервалі високий рівень з виходу A4 відкриває транзистор VT1, і на вхід A0 надходить приблизно втричі меншу напругу.

Про режим розрядки сигналізує світлодіод HL2, що включається низьким логічним рівнем з виходу 7 плати Arduino. У цьому випадку транзистор VT3 закритий, світлодіод HL1 знеструмлений і напруга, що управляє, з виходу ОП DA1.1 безперешкодно надходить на затвор транзистора VT2. Після закінчення розрядки на виводі 7 з'являється високий рівень, світлодіод HL2 гасне, а транзистор VT3 відкривається. Вмикається світлодіод HL1 (струм через нього обмежує резистор R7), напруга на затворі транзистора VT2 зменшується до 1,82, в результаті чого він закривається і розрядка акумулятора припиняється. Одночасно це супроводжується триразовим звуковим сигналом. Діоди VD2 та VD3 захищають вхід A0 плати Arduino від перевищення або неправильної полярності вхідної напруги.

Якщо потужність, що розсіюється на транзисторі VT2, перевищує декілька ват, необхідно за допомогою вимикача SA1 увімкнути вентилятор.

Живлять пристрій від зовнішнього (краще стабілізованого) блоку живлення напругою 12В, який підключають до гнізда XS1. Для захисту від неправильної полярності напруги живлення встановлений діод VD1. У деяких випадках, наприклад, при вимірюванні параметрів акумулятора ємністю кілька ампер-годин та напругою 12 В, пристрої можна жити безпосередньо від нього. Але при цьому для коректного вимірювання ємності слід врахувати струм, який споживається самим пристроєм.

Якщо натиснути кнопку SB2 "R" під час розряджання, пристрій періодично стане короткочасно відключати струм розрядки і вимірювати напругу акумулятора під навантаженням і без неї. У цьому випадку на РКІ виводиться інформація про напругу акумулятора без навантаження та про його внутрішній опір.

Після подачі напруги живлення двигуни змінних резисторів R3 і R5 встановлюють в нижнє, а R4 і R6 - у верхнє за схемою положення і підключають акумулятор, що розряджається. Короткочасно натискають кнопку SB1 "Сброс/Старт". В результаті відбувається перезавантаження Arduino і вмикається світлодіод HL2 "Розрядка" зеленого свічення. У верхньому лівому кутку

рідкокристалічного індикатора (РКІ) з'явиться інформація про напругу акумулятора -  $U_b$  (у вольтах). З цього моменту починається відлік часу розрядки, поточна ємність  $C$  ( $A \cdot год$ ) виводиться в правому верхньому кутку РКІ. Змінними резисторами  $R_5$  і  $R_6$  встановлюють поріг вимикання  $U_t$  (у вольтах), при досягненні якого розрядка припиняється. Цей параметр виводиться в нижньому лівому куті РКІ. Резисторами  $R_3$  і  $R_4$  встановлюють розрядний струм  $I_b$  (в амперах), він індикується в нижньому правому кутку.

Підключаючи акумулятор, треба бути уважними, щоб не переплутати полярність. Справа в тому, що транзистор  $VT_2$  містить вбудований захисний діод, підключений анодом до початку, катодом - до стоку. Якщо полярність акумулятора виявиться неправильною, через цей діод та резистори  $R_9$ ,  $R_{10}$  може протікати великий струм. Його значення залежить від параметрів акумулятора, в першу чергу від напруги. В результаті, деякі елементи пристрою можуть вийти з ладу.

Більшість деталей розміщені на друкованій платі із фольгованого з одного боку склотекстоліту, яка виконана у вигляді плати розширення (shield). Для підключення до модуля Arduino Uno на платі пристрою змонтовано штирьові роз'єми (вилки  $XP_2$  та  $XP_3$ ). Це дозволяє в разі потреби швидко встановлювати та знімати Arduino Uno, використовуючи її в інших проектах.

У пристрої застосовані постійні резистори  $P_1-4$ ,  $C_2-23$  (крім  $R_9$  і  $R_{10}$ ), змінні -  $СП_4-1$ ,  $СП_3-4$  або імпорتنі, підстроювальні - імпорتنі або  $СП_3-19$ . У датчику струму використано два послідовно з'єднані резистори серії RWR ( $R_9$  і  $R_{10}$ ) опором по  $0,24$  Ом і допустимою потужністю розсіювання по  $5$  Вт. Зроблено це із двох причин. По-перше, вони були в наявності, а по-друге, при струмі до  $3$  А на них виділятиметься потужність не більше  $4,5$  Вт, тому розігріватись вони стануть не дуже сильно, що підвищить точність виміру. Світлодіоди - будь-які малопотужні відповідні кольори світіння з діаметром корпусу  $3$  або  $5$  мм.

Транзистор  $2N7002$  (встановлений на платі з боку друкованих провідників) можна замінити на транзистор  $2N7000$ ,  $КП505$ ,  $BSS88$ . Щоправда, у цьому випадку доведеться підкоригувати рисунок друкованих провідників. Натомість транзистора

КТ315Б підійде будь-який із серій КТ315, КТ312, КТ3102. Роз'єми ХР2, ХР3 – однорядні вилки PLS-10. Кнопки - будь-які із самоповерненням, наприклад КМ-2. Можна використовувати тактові кнопки ТС-0409 або аналогічні, закріпивши їх на панелі за допомогою клею. Гніздо для підключення джерела живлення може бути будь-яким.

Для підключення акумулятора, що перевіряється, використані штатні мережне гніздо і вилка (ХР1).

Після завантаження скетчу та підключення блока живлення починають налагодження пристрою спільно з комп'ютером, на якому встановлено інтегроване середовище розробки Arduino – Arduino IDE. В першу чергу, підстроювальним резистором R13 встановлюють необхідну контрастність зображення РКІ. Двигуни змінних резисторів R5 і R6 встановлюють в нижнє за схемою положення. Зразковим вольтметром вимірюють напругу живлення Vcc мікроконтролера на платі Arduino Uno і заносять в скетч, після чого завантажують його в Arduino Uno.

Вхід пристрою підключають через зразковий амперметр до регульованого лабораторного блоку живлення з вихідною напругою 0...15 і струмом до 3...4 А. Встановлюють напругу близько 4 В і змінним резистором R3 встановлюють розрядний струм 0,5...1 А. Порівнюють показання амперметра Iа та РКІ Ib. У разі відмінностей змінюють у скетчі чисельне значення опору датчика струму R1 і завантажують його Arduino Uno до отримання точного збігу показань.

Потім вхід пристрою підключають безпосередньо до лабораторного блоку живлення. До нього підключають і зразковий вольтметр. Двигуни змінних резисторів R3-R6 встановлюють в нижнє за схемою положення. Встановлюють напругу близько 2,5 і порівнюють показання вольтметра верб і Ub на РКІ. Зміною поправочного коефіцієнта K1 (у скетчі), за аналогією з попереднім випадком, досягають рівності показань.

Встановлюють на виході лабораторного блоку живлення напругу близько 7 і натискають на кнопку SB1 "Скидання/Старт". Після перезавантаження підстроювальним резистором R8 приблизно зрівнюють показання вольтметра верб

і  $U_b$  на РКІ. Добіркою поправочного коефіцієнта  $K_2$  (у скетчі) досягають більш точної рівності показань.

У пристрої для Arduino написано найпростішу програму з мінімальним набором функцій. Не змінюючи апаратну частину, можна значно розширити можливості приладу. Наприклад, підвищити точність вимірювання напруги, використовуючи способи вимірювання зразкової напруги та застосовуючи методи статистичної обробки результатів. Можна вимірювати і порівнювати з пороговим напруга акумулятора в процесі розрядки, а його ЕРС, відключаючи на цей час розрядний струм. Можна зробити два режими роботи пристрою: перший - з потужними батареями напругою 6...15 В та струмом розрядки до 5 А, другий - з малопотужними батареями та акумуляторами напругою до 5 В та розрядним струмом до 1 А. І нарешті, додавши вузол зарядки, можна зробити автоматичний зарядно-розрядний пристрій з вимірюванням отриманого та відданого акумулятором заряду.

### **1.5. Вимірювач ємності акумулятора (АКБ)**

Удосконалений вимірювач ємності. При розробці цього пристрою було поставлено завдання розробити вимірювач ємності акумуляторів зі звуковою індикацією несправності акумулятора і закінчення заряду. Також у пристрої повинна бути передбачена індикація внутрішнього опору акумулятора (при натисканні на одну з кнопок).

Схема пристрою показано на рисунку 1.2. Основою пристрою є мікроконтролер АТМega 8. Клавіатура з однопровідним інтерфейсом складається з шести кнопок. Інформація про всі параметри акумулятора виводиться на 9-розрядний світлодіодний індикатор. Вимір ємності заснований на розряді акумулятора стабільним струмом з підрахунком часу та подальшим перемноженням цих величин.

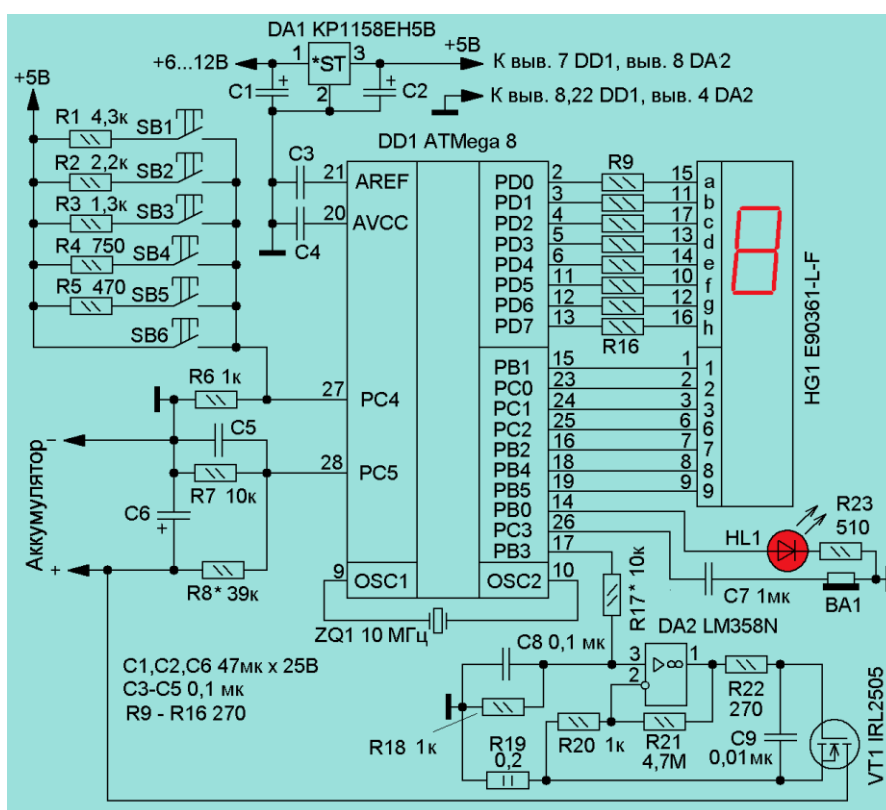


Рисунок 1.2. Схема удосконаленого вимірювача ємності

Якщо підключений акумулятор несправний (напруга менше 1 Вольта), клавіатура заблокована і випромінювач ВА1, видає три переривчасті звукові сигнали частотою 600 Гц. Якщо напруга акумулятора більше 1 Вольта, при струмі розрядки рівному нулю (за замовчуванням і по закінченні розрядки до встановленої напруги), випромінювач видає два уривчасті звукові сигнали з частотою 3000 Гц.

Після підключення акумулятора встановлюють напругу, до якої його потрібно розрядити (натисканням кнопок SB3 і SB4). Крок встановлення при короткочасному натисканні – 0,1 Вольт. При утриманні – перші 10 значень – 0,1 В, решта – 1 В. Далі, кнопками SB1 та SB2 встановлюють струм розрядки. Якщо кнопки SB1 та SB2 утримувати менше 5 секунд, значення струму не змінюється та відображається його поточне значення (символ і у нижній позиції). Якщо кнопки SB1 і SB2 утримувати більше 5 секунд, значення струму змінюватиметься зі змінним кроком – 50 і 150 мА. При цьому символ і відобразатиметься у верхній

позиції. Максимальне значення розрядного струму - 2,55 А. Максимальна розрядна напруга, що виставляється на індикаторі приладу, відповідає 25,5 V. Як тільки струм розряду прийме значення більше нуля (при напрузі акумулятора більше встановленого порога або рівному йому), звуковий сигнал зникне, а світлодіод HL1 почне блимати з частотою 0,25 Гц.

При натисканні на кнопку SB5 (тільки при струмі розряду, що дорівнює нулю), запам'ятовується поточна напруга, потім контролюється напруга при струмі, що дорівнює 1 А. Внутрішній опір в Омах визначається як різниця цих напруг і виводиться в молодші розряди індикатора з символом г.

При натисканні на кнопку SB6 у старших розрядах відображається поточна напруга акумулятора. За замовчуванням, у старших розрядах відображається напруга, до якої необхідно розрядити акумулятор, а у молодших ємність у форматі XX, XX А/год. При цьому незначні нулі десятків Вольт і Ампер/годин гасяться програмно.

Можна також дещо переробити схему, а саме поставити індикатор від автоматичного визначника номеру (АВН) і змінити LM358 на МСР601. Тому що з МСР601 лінійність вийшла чудова  $\leq 1,5\%$  по всьому діапазону, та ще й струм розрядки акумулятора при відключеному ІТУН (DA2, VT1 з обв'язкою) становив менше одного міліампера.

Тому інший варіант схеми:



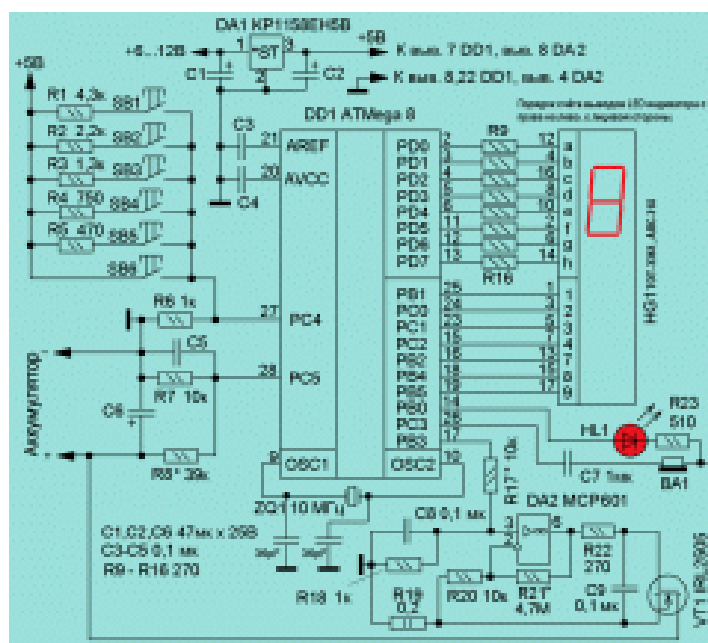


Рисунок 1.3. Доповнена схема вимірювача ємності

### Налагодження

Налагодження правильно зібраного зі справних деталей пристрою полягає в його калібруванні за допомогою зразкових вольтметрів та амперметрів. Після включення пристрою при нульових показаннях індикатора HG1 паралельно конденсатору С6 підключають зразковий вольтметр і подають на нього напругу (близько 10) від стабілізованого джерела живлення. Підбіркою резистора R8 при натиснутій кнопці SB6 порівнюють показання старших розрядів індикатора HG1 і зразкового вольтметра. Потім послідовно з джерелом живлення включають зразковий амперметр, встановлюють струм розрядки близько 1 А і добіркою резистора R17 порівнюють показання індикатора HG1 і амперметра зразкового. Резистором R21 (у парі з R17) налаштовують лінійність приладу при вимірюванні струму і їм встановлюють найменший струм розряду акумулятора при відключеному ІТУН.

На схемі, розпинування індикатора TOT-3361 вказано саме для варіанта виконання під телефон АВН (три блоки по три знайомі), а ALS-318 додано рисунок 1.4.

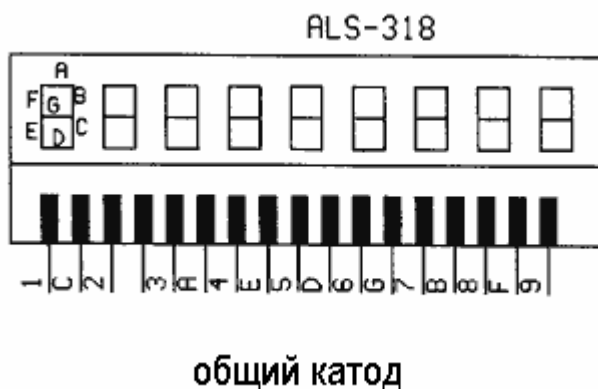


Рисунок 1.4. Розпинування ALS-318

### 1.6. Тестер ємності літій-іонних батарей 18650 на Arduino

Як відомо, літій-іонні батареї (Li-Ion Battery) є в даний час одними з найефективніших типів акумуляторів. Але щоб забезпечити їм "довге життя", їх необхідно спеціальним чином заряджати, розряджати і навіть зберігати. Тому було розглянуто створення тестера ємності літій-іонних батарей 18650 на основі плати Arduino, який повністю розряджатиме батарею і на основі цього визначатиме її ємність. Таким чином, можна буде виявляти несправні або мало придатні (внаслідок їхньої малої ємності) для подальшого використання акумулятори.

Пристрій матиме наступні основні технічні особливості:

- дві кнопки для встановлення струму;
- OLED дисплей для відображення інтерфейсу користувача та результатів вимірювання ємності;
- Термостор (терморезистор) для визначення температури батареї.

Необхідні компоненти

1. Плата Arduino Nano.

2. OLED дисплей SSD1306 з діагоналлю екрана 0.96”.
3. Операційний підсилювач LM358.
4. MOSFET RLZ44N.
5. Резистор 0,5 Ом 5 Вт (для навантаження).
6. 18650 Li-ion Battery (для тестування).
7. Терморезистор 10 кОм NTC типу.
8. Резистори 1 МОм, 10 кОм, 4,7 кОм (2 шт.).
9. Конденсатор 100 нФ – 2 шт.
10. Конденсатор 220 мкф.
11. Тактильні перемикачі/кнопки (Tactile Switches) – 2 шт.
12. Тримач (відсік) батареї 18650.
13. Перфорована плата.
14. Сполучні дроти.

Схема проекту

Схема тестера ємності літій-іонних батарей 18650 Arduino представлена на рисунку 1.5.

Схема нашого тестера складається з 4 основних елементів:

- схема навантаження постійного струму;
- схема виміру ємності батареї;
- схема вимірювання температури батареї;
- інтерфейс користувача.

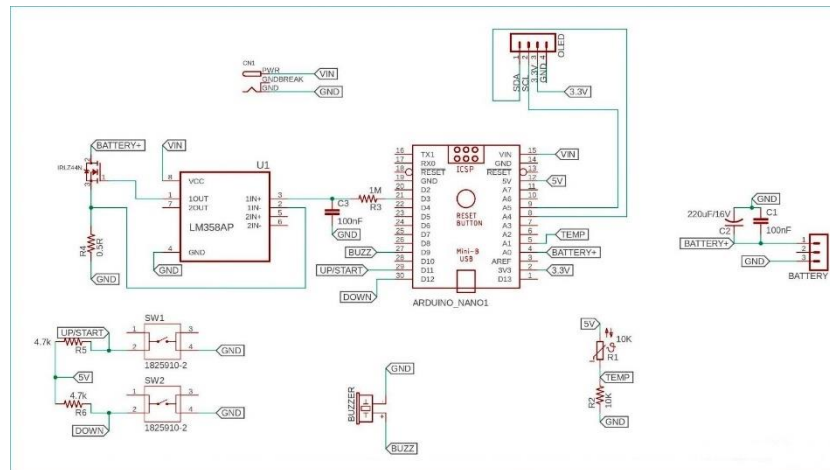


Рисунок 1.5. Схема тестера ємності літій-іонних батарей 18650 Arduino

Розглянемо кожен із цих елементів докладніше.

### Схема навантаження постійного струму

Основним компонентом цієї схеми є подвійний операційний підсилювач LM358 (в єдиному корпусі). Тим не менш, у нашому проєкті необхідний лише один операційний підсилювач. Широтно-імпульсна модуляція (ШІМ)- вихід з контакту 3 плати Arduino підключений до входу, що не інвертує, першого операційного підсилювача (ОП). Сигнал ШІМ фільтрується за допомогою фільтра низьких частот (ФНЧ) для отримання аналогічної еквівалентної напруги. У той же час інвертуючий вхід операційного підсилювача працює як зворотний зв'язок для виходу операційного підсилювача, який підключений між IRFZ44N MOSFET і резистором, що шунтує, 0,5 Ом.

Цей операційний підсилювач, резистор R4 та MOSFET утворюють схему навантаження постійного струму (constant current load circuit). Коли ми встановлюємо напругу на неінвертуючому вході ОП, то ОП включає MOSFET щоб викликати таке ж падіння напруги на резисторі R4 - падіння напруги на даному резисторі створюється виходячи через закон Ома внаслідок протікання по ньому струму. Таким чином, ми можемо контролювати величину струму, що протікає

через резистор навантаження (0,5 Ом) змінюючи ширину імпульсу сигналу ШІМ, що надходить на неінвертуючий вхід ОП.

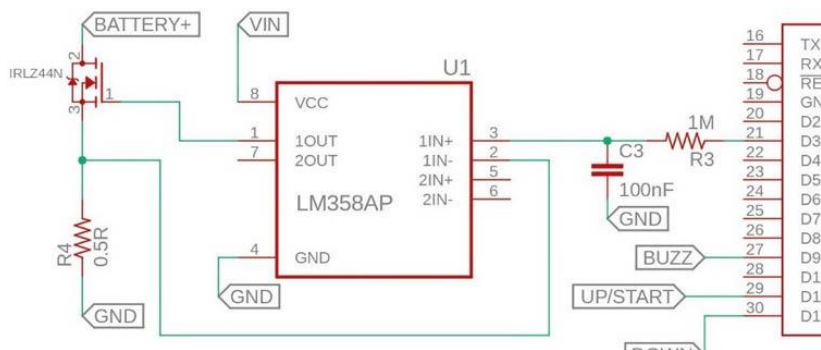


Рисунок 1.6. Схема навантаження постійного струму

### Схема вимірювання ємності батареї

Напруга на батареї вимірюється за допомогою аналогового контакту A0 плати Arduino. Два конденсатори (C1 та C2) використовуються для фільтрації шумів від схеми навантаження постійного струму, які можуть погіршити точність аналого-цифрового перетворення (АЦП).

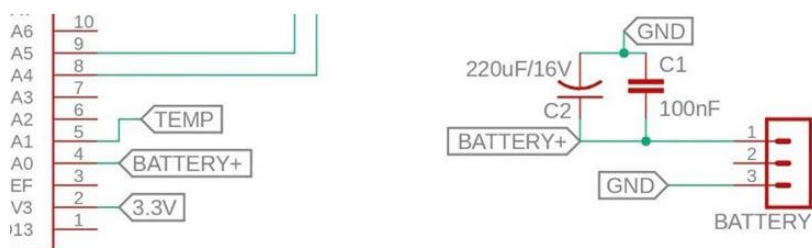


Рисунок 1.7. Схема вимірювання ємності батареї

### Схема вимірювання температури батареї

Температура батареї вимірюється за допомогою терморезистора 10 кОм із негативним температурним коефіцієнтом (NTC). Опір терморезистора змінюється

залежно від температури. Оскільки це терморезистор NTC типу, то зі збільшенням температури його опір зменшується.

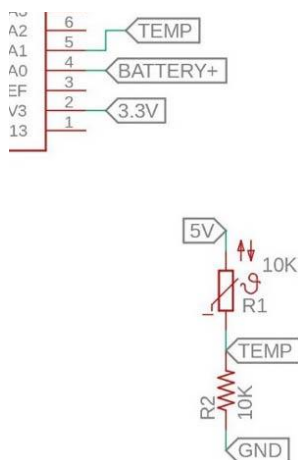


Рисунок 1.8. Схема вимірювання температури батареї

Використовуючи дільник напруги, що складається із терморезистора та звичайного резистора опором 10 кОм, ми можемо за допомогою вимірювання напруги в середній точці цього дільника вимірювати поточну температуру (за рахунок зміни опорів терморезистора). Напруга із середньої точки дільника напруги подається на аналоговий контакт A1 плати Arduino для вимірювання напруги.

### Інтерфейс користувача

Інтерфейс користувача в нашому проєкті складається з двох кнопок і 0.96" OLED дисплея з інтерфейсом I2C. Кнопки (Up і Down) використовуються для зміни ширини імпульсу ШІМ сигналу. Третя кнопка (RST) використовується для скидання плати Arduino.

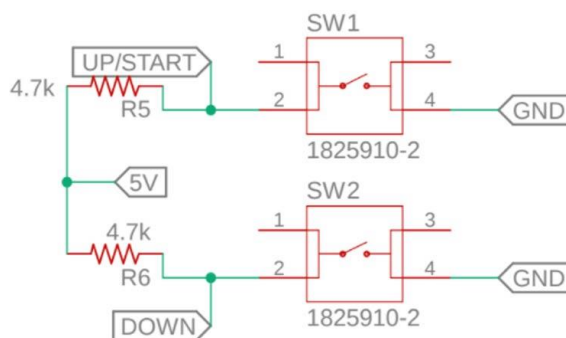


Рисунок 1.9. Інтерфейс користувача

### Принцип роботи тестера ємності батарей

Принцип роботи нашого тестера ємності батарей заснований на порівнянні напруг на інвертуючому (контакт 2) та неінвертуючому (контакт 3) входах операційного підсилювача. Коли ми подаємо на неінвертуючий вхід певний рівень напруги за допомогою сигналу ШІМ, вихід ОП відкриває затвор MOSFET транзистора. А коли він відкривається, через резистор R1 починає протікати струм, який створює на ньому падіння напруги, яке використовується як сигнал негативного зворотного зв'язку для ОП. Він керує MOSFET транзистором таким чином, щоб рівні напруги на інвертирувальному та неінвертуючому входах операційного підсилювача були приблизно однакові. Таким чином, струм через резистор навантаження буде пропорційний напрузі на неінвертуючому вході ОП. ШІМ сигнал з виходу Arduino фільтрується за допомогою ФНЧ, що складається з R3 та C3.

Таким чином, для визначення ємності батареї отримуємо формулу:

$$\text{Battery Capacity (mAh)} = \text{Current (I) in mA} \times \text{Time (T) in Hours}$$

Тобто щоб розрахувати ємність батареї в мАгод (mAh) нам необхідно знати струм у мА та час у годинах. Наша схема навантаження постійного струму дозволяє розряджати батарею постійним струмом протягом усього розрядження. Струм

розряду можна налаштувати за допомогою кнопок. Час розряду вимірюється програмним способом за допомогою таймера Arduino.

## **2.АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ**

### **2.1. Аналіз схеми електричної принципової**

Це тестер ємності акумулятора дозволяє вимірювати ємність акумулятора або акумуляторної батареї (вимір в мА/год або А/год) та енергію розряду (Вт/год).

Схема підходить для нікель-кадмієвих та нікель-металгідридних елементів та акумуляторів (1-12 елементів), свинцево-кислотних (залитих, VRLA, SLA) акумуляторів до 12 В, літій-іонних та літій-полімерних (1-4 елементи), а також для інших типів, таких як LiFePO<sub>4</sub>, NiZn, лужні і т. д., із загальною напругою до 20 В.

Тестер ємності дозволяє перевірити, наприклад, стан акумулятора, ефективність методу заряджання або виявити пошкоджені акумулятори (на жаль, останніми роками ринок наповнений підробками).

Цей пристрій також дозволяє обслуговувати акумулятор – розрядити його до необхідної напруги перед заряджанням, або розрядити акумулятор до оптимальної напруги, щоб підготувати його до тривалого зберігання.

#### **Опис**

В основі цього вимірювача ємності акумулятора лежить мікроконтролер ATmega8A, ATmega8 або ATmega8L (DD1). Принцип роботи тестера простий: підключіть повністю заряджений акумулятор до пристрою. Після закінчення розряду акумулятора ви отримаєте значення його ємності та енергії.



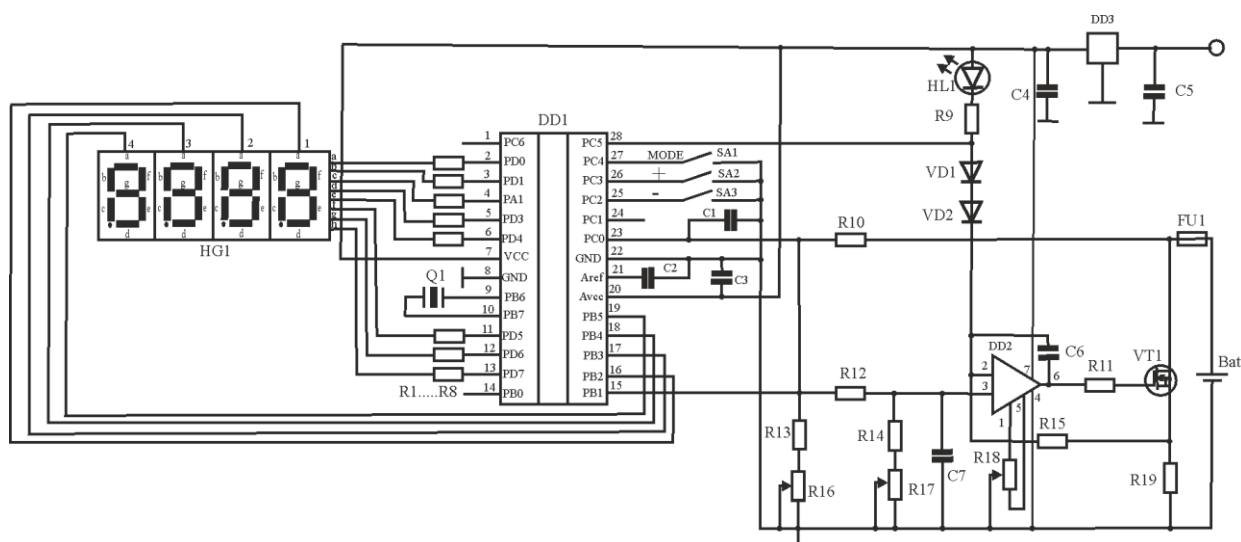


Рисунок 2.1. Електрична принципова схема тестера

Струм розряду вибирається цифровим способом в діапазоні від 0,01 до 2,56 А з кроком 0,01 А. Розряд припиняється при досягненні кінцевої напруги (напруги відключення), яка також вибирається цифровим способом.

Мікроконтролер Atmega8 синхронізується внутрішнім RC-генератором із частотою 8 МГц. Оскільки точність виміру залежить від точності виміру часу, у схемі використовується зовнішній кварцовий резонатор на 32768 Гц.

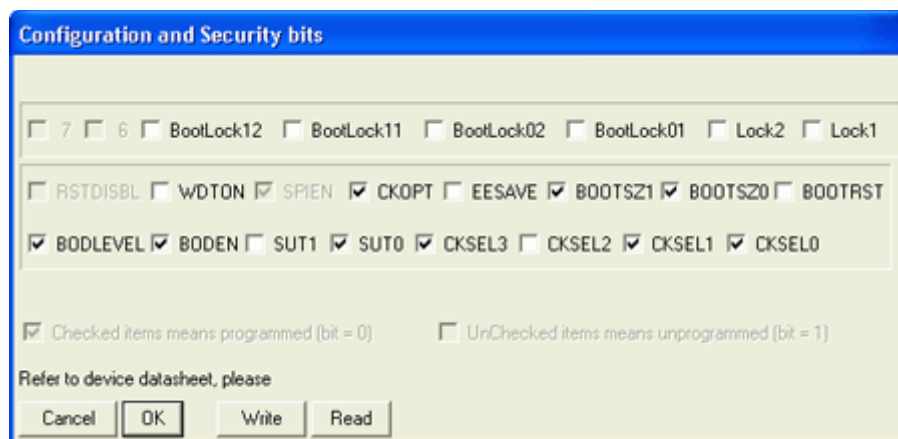


Рисунок 2.2. Дані мікроконтролера

Напруга акумулятора (максимальне значення 20 В) вимірюється за допомогою дільника напруги на резисторах з R10, R13, R16. Відрегулюйте підстроювальний резистор R16 так, щоб значення на дисплеї (в режимі відображення фактичної напруги) дорівнювало реальній напругі акумулятора.

Акумулятор розряджається через транзистор VT1 (IRLB8743). Струм розряду вимірюється на шунті R19 (0,24 Ом). Струм розряду стабілізується операційним підсилювачем (ОП) DD2 MC33171. Опорна напруга виходить за

допомогою широтно-імпульсної модуляції (ШІМ) з виводу OC1A (PB1 - вивод 15) мікроконтролера.

Сигнал ШІМ проходить через ділянку напруги (R12, R14, R17) та низькочастотний фільтр (C7), створюючи постійну напругу, пропорційну бажаному струму розряду. Далі напруга на затворі VT1 контролюється ОП, так що напруга на шунті R19 відповідає цій опорній напрузі.

### Процес калібрування

Встановіть підстроювальний резистор R18 у центральне положення. Послідовно підключіть акумулятор із розрядним струмом не менше 2,56 А та амперметр. Встановіть бажаний струм розряду на рівні 2,56 А, почніть розряд (довге натискання кнопки SA1). Потім встановіть підстроювальний резистор R17 так, щоб фактичний струм розряду дорівнював обраному значенню (2,56 А).

Далі встановіть струм розряду на 0,01 А. Потім скоригуйте зсув входів операційного підсилювача DD2 за допомогою R18 - встановіть R18 так, щоб фактичний струм становив 0,01 А.

Силовий транзистор VT1 повинен бути розміщений на радіаторі, відповідний максимально необхідної потужності, що розсіюється під час розряду ( $P = U \cdot I$ ). Транзистор VT1 (IRLB8743) - це MOSFET з TTL-логікою, який може працювати з напругою 5 В. Якщо використовується стандартний тип MOSFET, то теоретично запитати ОП можна і від вищої напруги (це може бути напруга на вході 7805), але краще використати логічний MOSFET.

Світлодіод HL1 показує, що йде розряд та вимір. Діоди VD1 та VD2 (1N4148) забезпечують повне замикання транзистора VT1, коли процес розрядки не активний.

Для керування контролером використовуються кнопки SA1...SA3. Як пристрій відображення використовується 4-х розрядний світлодіодний дисплей із загальним анодом. Катоди дисплея підключені до порту D, аноди - до біт 2-5 порту В. Як дисплей можна використовувати LD-D036UPG-C, LD-D028UR-C, LD-D036UR-C або LD-D056UR-C (типи з дуже високою яскравістю). Надяскравий дисплей дозволяє відмовитись від звичайних транзисторів для посилення анодного струму.

Керування дисплеєм мультиплексне. Частота мультиплексування становить близько 100 Гц. Резистори R1 ... R8 визначають струм сегментів дисплея і, отже,

його яскравість. Вони підібрані так, щоб струм не перевищував максимальний вихідний мікроконтролера (40 мА).

Тестер ємності акумуляторів живиться від джерела живлення з напругою 8 - 30В. Струм споживання становить близько 15-45 мА, залежно від кількості підсвічених сегментів індикатора та опору резисторів R1...R8. Конденсатори C1, C2 та C3 повинні бути розташовані якомога ближче до мікроконтролера.

Послідовно з акумулятором, що перевіряється, підключіть відповідний запобіжник, в іншому випадку відмова тестера (наприклад, відмова контролю струму або коротке замикання VT1) або неправильна полярність підключення акумулятора можуть викликати займання. Також рекомендується використовувати запобіжник на вході + блок живлення.

### Управління тестером

Тестер акумулятора управляється трьома кнопками: "Mode" "+" і "-". Кнопка «Mode» перемикає між шістьма пунктами меню:

1. Відображення фактичної напруги акумулятора (0,00 В - 20,4 В).
2. Виміряна енергія у Вт/год (ват-годинах). Відображає символ "En", а потім значення. У процесі розряду значення зростає. Після закінчення розряду показує остаточний результат.
3. Виміряна ємність в А/год (ампер-годинах). Відображає символ Ah, а потім значення. У процесі розряду значення зростає. Після закінчення розряду показує остаточний результат.
4. Час розряду в годинах, що минув (0,00 год — 655 год).
5. Бажаний струм розряду. Використовуйте + та – для вибору від 0,01 А до 2,56 А.
6. Вибрана кінцева напруга. Використовуйте кнопки + і -, щоб вибрати напругу, при досягненні якої процес розряду повинен завершитися (діапазон від 0,80 до 20,0 В).

Натиснувши «-» на пунктах 2, 3 та 4, ви можете скинути значення енергії, ємності та часу (працює лише в тому випадку, якщо процес розряду не активний). Тривале натискання кнопки "Mode" запускає або зупиняє процес розряду.

Коли процес розрядки активний, то світиться світлодіод. Після вимкнення світлодіода можна переглянути виміряні дані (енергія, ємність, час). Перед новим виміром необхідно скинути дані. (Дані не скидаються автоматично на початку процесу розряду та вимірювання. Це дозволяє відновити перерваний вимір.)

Кінцева напруга розряду зазвичай вибирається в районі 0,8 - 1 В для NiCd і NiMH акумуляторів, 2,5 - 3 В для літій-іонних та літій-полімерних та 8-10 В для свинцево-кислотних акумуляторів.

## **2.2. Вибір елементної бази**

### **Мікроконтролер ATmega8 фірми Atmel, (Microchip).**

Високопродуктивний 8-розрядний мікроконтролер Atmel AVR з низьким енергоспоживанням. Розширена архітектура RISC

– 130 потужних інструкцій – більшість виконання за один такт;

– 32 x 8 робочих регістрів загального призначення;

– повністю статична робота;

– пропускну здатність до 16 MIPS на 16 МГц;

– вбудований двотактний множник;

#### **• Периферійні функції**

– два 8-бітних таймера/лічильника з окремим попереднім дільником, один режим порівняння;

– один 16-бітний таймер/лічильник з окремим попереднім масштабувальником, режимом порівняння та режимом захоплення;

- лічильник реального часу з окремим осцилятором;
- три канали ШІМ;
- 8-канальний АЦП у корпусі TQFP і QFN/MLF;
- вісім каналів 10-бітної точності;
- 6-канальний АЦП у корпусі PDIP – шість каналів 10-бітної точності;
- байт-орієнтований двопровідний послідовний інтерфейс;
- програмований послідовний USART;
- послідовний інтерфейс SPI Master/Slave;
- програмований сторожовий таймер з окремим вбудованим генератором;
- вбудований аналоговий компаратор.

Таблиця 2.1. Технічні параметри

Серія	avr atmega
Ядро	avr
Ширина шини даних	8-бит
Тактова частота, МГц	16
Кількість входів/виходів	23
Об'єм пам'яті програм	8 кбайт(4k x 16)
Тип пам'яті програм	flash
Об'єм EEPROM	512x8
Об'єм RAM	1k x 8

Наявність АЦП/ЦАП	ацп 8x10b
Вбудовані інтерфейси	i2c, spi, uart
Вбудована периферія	brown- outdetect/reset, por, pwm, wdt
Напруга живлення	2.7...5.5 в
Робоча температура	-40...+85с
Корпус	PDIP-28
Вага, г	1.2

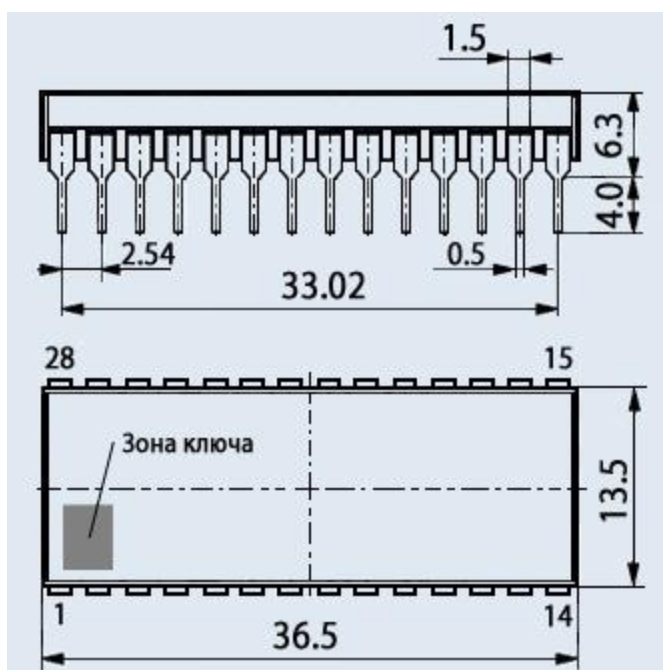


Рисунок 2.3. Корпус мікроконтролера ATmega8

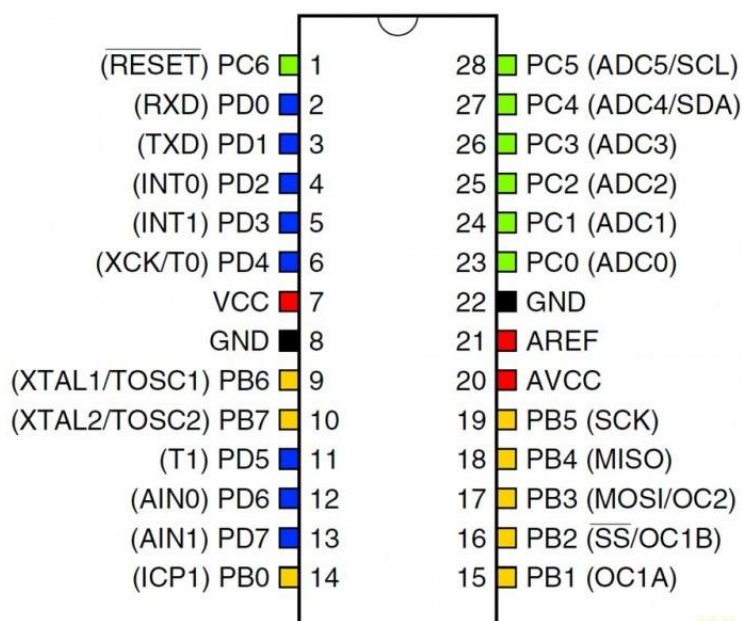


Рисунок 2.4. Розпинування atmega8а в корпусі dip28

### Операційний підсилювач 33171

MC33171, MC33172, MC33174, NCV33172 з одним джерелом живлення від 3,0 В до 44 В, операційні підсилювачі малої потужності

Для монолітних операційних підсилювачів серії MC33171/72/74 використовується якісне біполярне виготовлення з інноваційними концепціями дизайну.

Ці пристрої працюють на 180 мА на підсилювач і пропонують 1,8 МГц коефіцієнта посилення смуги пропускання та швидкість наростання 2,1 В/мс без використання технології пристроїв JFET. Хоча ця серія може працювати від розділених джерел живлення, вона особливо підходить для роботи з одним джерелом живлення, оскільки синфазна вхідна напруга включає потенціал землі (VEE). Завдяки вхідному каскаду Дарлінгтона ці пристрої демонструють високий вхідний опір, низьку вхідну напругу зміщення та високе посилення. Повністю вихідний каскад NPN, що характеризується відсутністю перехресних спотворень у смугі нечутливості та великим коливанням вихідної напруги, забезпечує високу

ємнісну здатність приводу, чудові запаси фази та підсилення, низький вихідний опір високої частоти відкритого контуру та симетричну частотну характеристику джерела/споживача змінного струму. MC33171/72/74 є spe

Специфікації:

- Тип ОП: Low Power
- Кількість підсилювачів: 1
- Смуга частот: 1.8 МГц
- Швидкість наростання: 2.1 В/мкс
- Діапазон напруги живлення:  $\pm 1.5 \text{ В} \dots \pm 22 \text{ В}$
- Тип корпусу: DIP
- Кількість виводів: 8
- SVHC: No SVHC (15-Dec-2010)
- Тип підсилювача: Low Power
- Сімейство: 33171
- Добротність: 1.8 МГц
- IC Generic Number: 33171
- Напруга зміщення входу максимальна: 6.5 мВ
- Кількість логічних функцій: 33171
- Робочий діапазон температур:  $-40^\circ \text{C} \dots +85^\circ \text{C}$
- Особливості ОП: Low Power
- Напруга живлення (+) номінальна: 15 В
- Спосіб монтажу: Through Hole



RoHS: ε

Додаткові аксесуари:

- Dow Corning - 2265931
- Fischer Elektronik – ICK SMD A 8 SA
- Fischer Elektronik - WLK 5
- Multicomp - 2227MC-08-03-18-F1

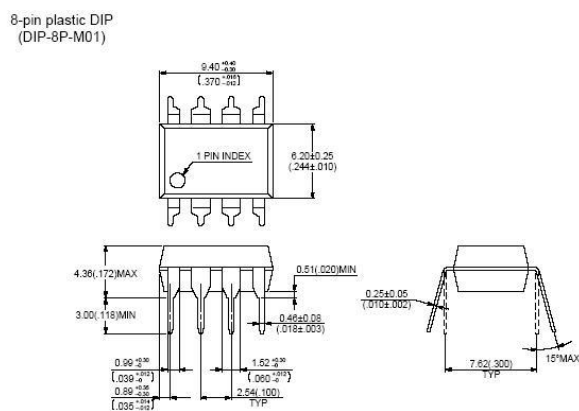


Рисунок 2.5. Операційний підсилювач 33171

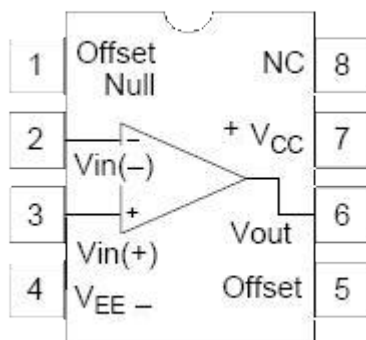


Рисунок 2.6. Розміщення виводів MC33171P:

Таблиця 2.2. Призначення виводів МС33171Р

1	Offset	Балансування
2	-IN	Інвертуючий вхід
3	+IN	Неінвертуючий вхід
4	-Vcc	Мінус живлення
5	Offset	Балансування
6	OUT	Вихід
7	+Vcc	Плюс живлення
8	NC	Не підключено

**Діод 1N4148**

1N4148 – швидкодіючий діод у корпусі SOD-27 (DO-35).

Таблиця 2.3. Характеристики діода 1N4148

Номинальний струм, <b>I<sub>пр</sub></b>	200 мА (450 мА - макс. імпульсний)
Максимальна зворотна напруга, <b>U<sub>зв</sub></b>	100 В
Діапазон робочих температур	-65°C..+175°C
Корпус	SOD-27 (DO-35)

Катод діода позначений сірою смужкою.

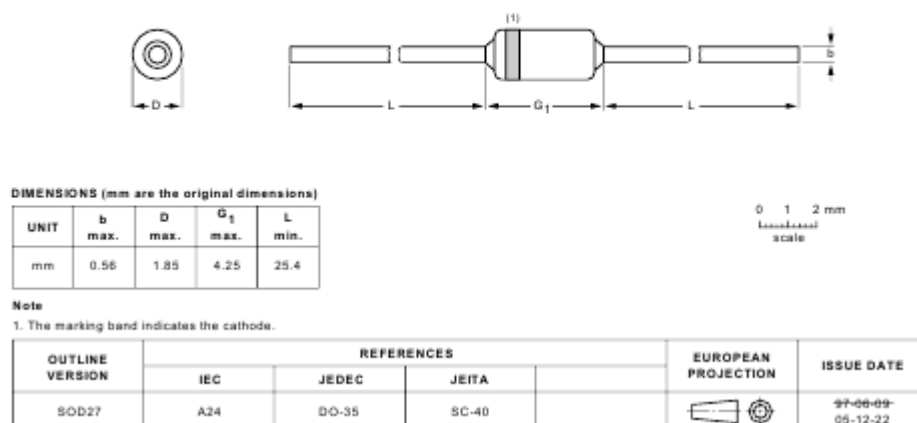


Рисунок 2.7. Діод 1N4148

## Кварцовий резонатор 32768 Гц HF26

Кварцовий резонатор 32,768 кГц, так званий "годинниковий кварц" HF-26, переважно використовується для організації годинника реального часу (RTC) та іншої електроніки для точного відліку часу.

Призначені для використання в аналогово-цифрових ланцюгах для стабілізації та виділення електричних коливань певної частоти. Кварцові резонатори мають кращі характеристики стабільності залежно від зовнішніх умов, ніж інші пристрої для стабілізації частоти.

### Характеристики:

- частота: 32768 кГц
- корпус: циліндр 2x6 мм (HF-26)
- відхилення від частоти: +/-3 ppm на рік (макс.)

- температура стабільності:  $\pm 20$  ppm (в раб. діапазоні)
- робоча температура:  $-10$  до  $+70$  °C
- ємність навантаження: 12.5 пФ

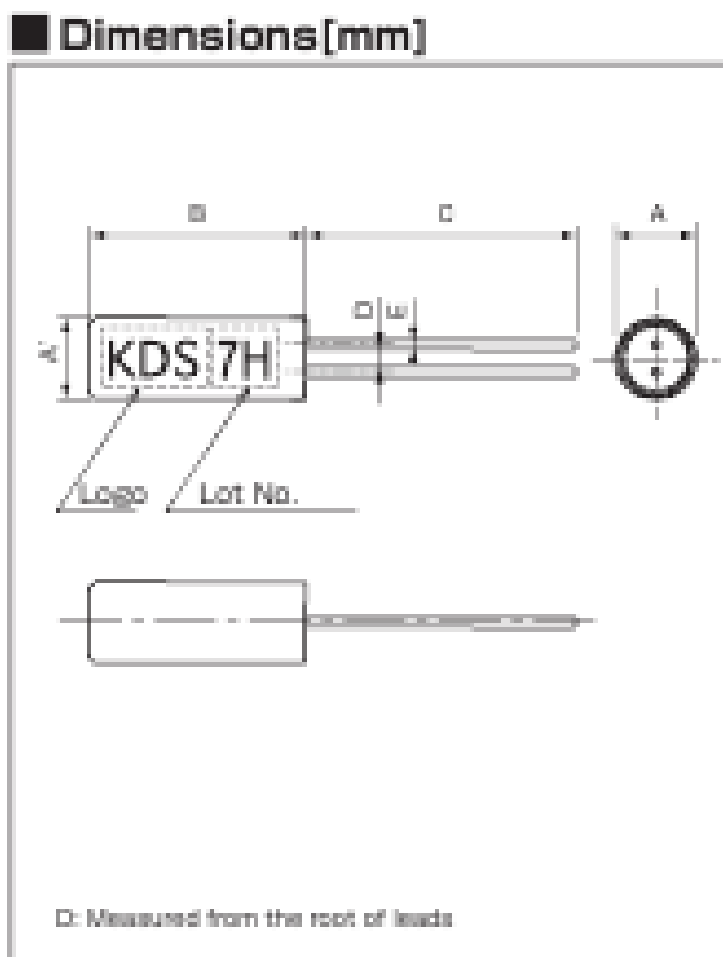


Рисунок 2.8. Кварцовий резонатор 32768 Гц HF26

Таблиця 2.4. Розміри кварцового резонатора 32768 Гц HF26

Тип	A'	A	B	C	D	E
DT-38, DT-381	Ø3.0	+0.1 Ø3.0 -0.2	+0.3 8.0 -0.2	10.0±1.0	1.1±0.2	Ø 0.35±0.02 (Ø 0.35±0.02)
DT-26, DT-261	Ø2.0	+0.1 Ø2.0 -0.2	+0.1 6.0 -0.2	7.5±1.0	0.7±0.2	Ø 0.28±0.05

Таблиця 2.5. Стандартна специфікація

вид	DT-38	DT-381	DT-26	DT-261
Пункт				
Діапазон частот	32,768кГц	15~150кГц	32,768кГц	28~100кГц
Ємність навантаження	Серія 9пФ, 10пФ, 12,5пФ			
Рівень приводу	1,0 мкВт (макс.2,0мкВт)			
Допуск до частоти	Клас $\pm 20 \times 10^{-6}$ (при 25°C) Клас $\pm 30 \times 10^{-6}$ (при 25°C)	×2	Клас $\pm 20 \times 10^{-6}$ (при 25°C) Клас $\pm 30 \times 10^{-6}$ (при 25°C)	×2
Серія Опір	30кОм макс	×2	40кОм макс	×2
Температура обороту	+25°±5°C	×2	+25°±5°C	×2

Двовимірна константа температури	$-0,04 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}^2$ макс			
Діапазон робочих температур	-10~+60°C			
Температурний діапазон зберігання	-20~+70°C			
Шунтова ємність	1,1 пФ	×2	1,3пФ	×2

### Чотирирозрядний дисплей CA56-12SRWA

Кожен цифровий розряд індикатора є групою світлодіодів, з'єднаних собою одним із висновків. Для індикатора ЗА – загальним анод світлодіодів, для ЗК – катод. Другі виводи (катоди та аноди відповідно) з'єднані між собою для відповідних сегментів усіх чотирьох цифрових розрядів.

Таблиця 2.6. Технічні характеристики

Тип індикатора	4DIG
Колір	червоний
Схема включення	ЗА
Висота символу ( $h_{\text{симв}}$ ), дюйм (мм)	0.56" (14.2 мм)
Тип монтажу	ТНТ
Колір фону	Grey
Довжина хвилі ( $\lambda_{\text{в}}$ ), нм	640
Струм споживання ( $I_{\text{потр}}$ ), мА	30

Габаритні розміри (LxWxH), мм	50.3x19x8.1
Максимальне падіння напруги ( $U_{f(max)}$ ), В	1.85

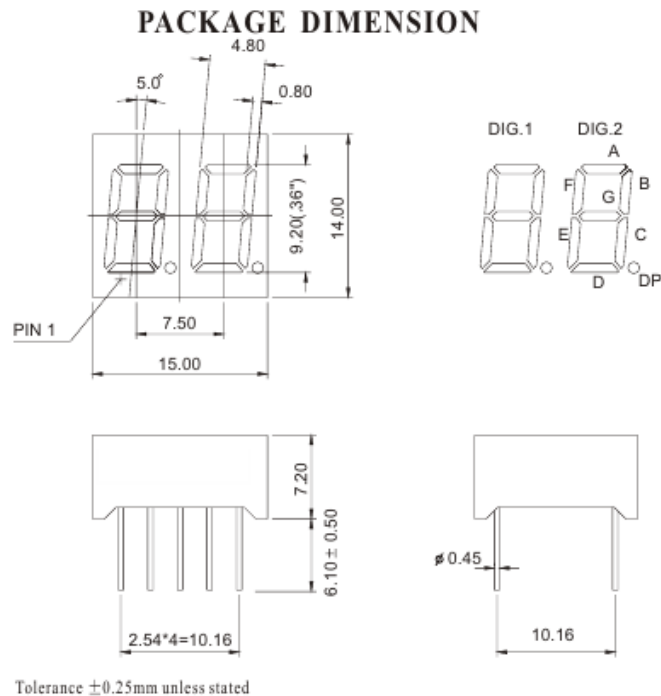


Рисунок 2.9. Чотирирозрядний дисплей CA56-12SRWA

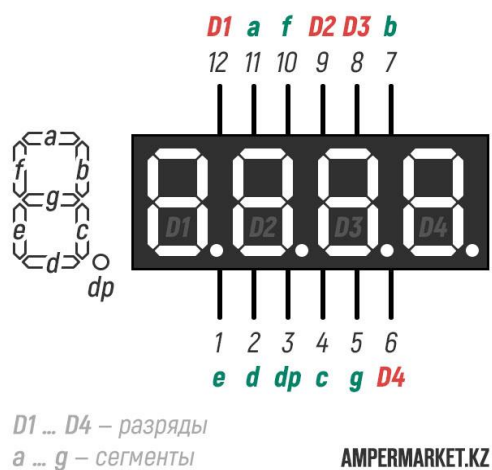


Рисунок 2.10. Розпинування чотирирозрядного дисплея CA56-12SRWA

## Транзистор IRLB8743 MOSFET

Транзистор IRLB8743 MOSFET полярність N 150A 30V TO220 – ці оптимізовані транзистори призначені для безперебійних блоків живлення та інверторів. Застосовують у перетворювачах із синхронним випрямлячем, у телекомунікаційному та промисловому устаткуванні, у перетворювачах напруги живлення процесора комп'ютера.

### Характеристики

- Позначення на корпусі IRLB8743
- Тип транзистора MOSFET
- Тип каналу керування N
- Максимальна потужність, що розсіюється, 140 Вт
- Гранично допустима напруга сток-витік 30 В
- Гранично допустима напруга затвор-витік 20 В
- Максимальна гранична напруга затвора 2,35 В
- Максимально допустимий постійний струм стоку 150 А
- Загальний заряд затвора 36 нКл
- Час наростання 92 нс
- Вихідна ємність 960 пФ
- Максимальна температура каналу +175°C
- Опір стоків відкритого транзистора 0,0042 Ом
- Корпус TO220



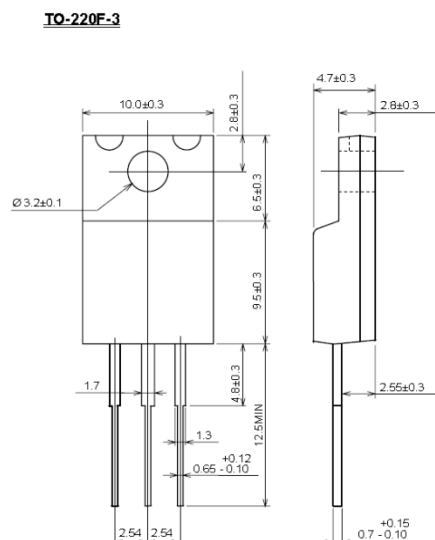


Рисунок 2.11. Транзистор IRLB8743 MOSFET

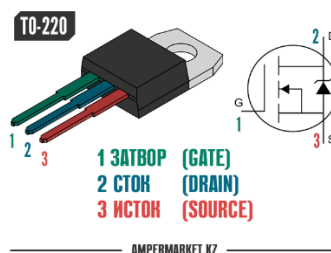


Рисунок 2.12. Розпинування транзистора IRLB8743 MOSFET

## Конденсатор K10-17Б X7R



Рисунок 2.13. Конденсатор K10-17Б X7R

### Конденсатор керамічний K10-17B X7R

Конденсатори керамічні K10-17B багат шарові ізолювані (заляльковані) з односпрямованими виводами (радіальні).

Призначені для роботи в ланцюгах постійного, змінного та імпульсного струму.

Виробники: Supertech, Conis, Murata, SAMWHA, TDK.

Основні технічні параметри конденсаторів K10-17B:

- Діапазон номінальних ємностей: 1,0 пФ ... 4,7 мкФ;
- Номінальна напруга: 50 В;
- Допустимі відхилення ємності:  $\pm 1$ ;  $\pm 5$ ;  $\pm 10$ ;  $\pm 20$ ;  $+50/-20$ ;  $+80/-20$ ;  $+100/-0\%$ ;
- Тангенс кута втрат, не більше: 3,5%;
- Тип діелектрика: NP0; X7R; Y5V;
- Типорозміри: 0805; 1206; 1210; 1812; 2225;
- Діапазон температур:  $-65 \dots +125$  °C.

Таблиця 2.6. Основні технічні характеристики керамічних конденсаторів K10-17B

Тип конденса- тора група ТКЕ типороз- мір	Діапазон номінальних ємностей	Номінальн а напруга,В	Допустимі відхилення , ємності, %	Ряд значень номінально ї ємності	Опір ізоляції , МОм	Постійн а часу МОм х мкф	Танген с кута втрат	Температур а довкілля, °C
<b>K10- 17B- NP0- 0805</b>	1,0 пФ... 2200 пФ	50	$\pm 1$ ; $\pm 5$ ; $\pm 10$ ; $\pm 20$	E24	<10000	>50	<0,15	-65... +125
<b>K10- 17B- X7R- 0805</b>	390 пФ... 0,047 мкФ	50	$\pm 10$ ; $\pm 20$ ; $+50/-20$	E24	<4000	>50	<2,5	-50... +125
<b>K10- 17B-</b>	8200 пФ... 0,82 мкФ	50	$\pm 20$ ; $+50/-$ $20$ ; $+80/-$ $20$ ; $+100/-0$	E24	<4000	>50	<3,5	-25... +85

<b>Y5V-0805</b>								
<b>K10-17B-NP0-1206</b>	1,0 пФ... 4700 пФ	50	±1; ±5; ±10; ±20	E24	<10000	>50	<0,15	-65... +125
<b>K10-17B-X7R-1206</b>	1000 пФ... 0,082 мкФ	50	±10; ±20; +50/-20	E24	<4000	>50	<2,5	-50... +125
<b>K10-17B-Y5V-1206</b>	0,01... 1,2 мкФ	50	±20; +50/- 20; +80/- 20; +100/-0	E24	<4000	>50	<3,5	-25... +85
<b>K10-17B-NP0-1210</b>	470 пФ... 6800 пФ	50	±1; ±5; ±10; ±20	E24	<10000	>50	<0,15	-65... +125
<b>K10-17B-X7R-1210</b>	1000 пФ... 0,22 мкФ	50	±10; ±20; +50/-20	E24	<4000	>50	<2,5	-50... +125
<b>K10-17B-Y5V-1210</b>	0,12... 1,5 мкФ	50	±20; +50/- 20; +80/- 20; +100/-0	E24	<4000	>50	<3,5	-25... +85
<b>K10-17B-NP0-1812</b>	1000 пФ... 0,01 мкФ	50	±1; ±5; ±10; ±20	E24	<10000	>50	<0,15	-65... +125
<b>K10-17B-X7R-1812</b>	0,01 мкФ... 0,33 мкФ	50	±10; ±20; +50/-20	E24	<4000	>50	<2,5	-50... +125
<b>K10-17B-Y5V-1812</b>	0,15... 3,3 мкФ	50	±20; +50/- 20; +80/- 20; +100/-0	E24	<4000	>50	<3,5	-25... +85

<b>К10-17Б-ПРО-2225</b>	1000 пФ... 0,01 мкФ	50	$\pm 1$ ; $\pm 5$ ; $\pm 10$ ; $\pm 20$	E24	<10000	>50	<0,15	-65... +125
<b>К10-17Б-Х7R-2225</b>	0,01 мкФ... 0,33 мкФ	50	$\pm 10$ ; $\pm 20$ ; +50/-20	E24	<4000	>50	<2,5	-50... +125
<b>К10-17Б-У5V-2225</b>	0,22... 3,3 мкФ	50	$\pm 20$ ; +50/- 20; +80/- 20; +100/-0	E24	<4000	>50	<3,5	-25... +85

## Кнопка

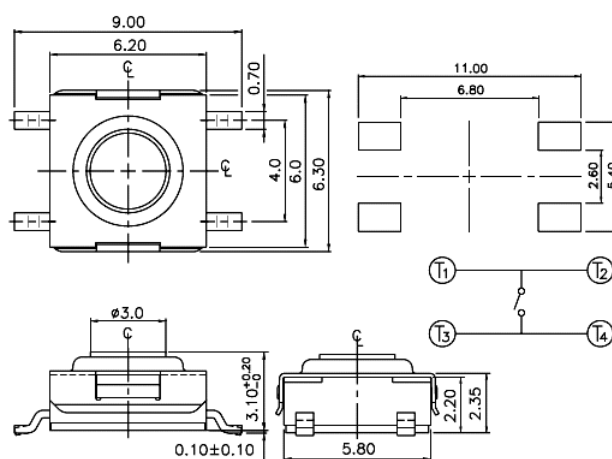


Рисунок 2.14. Кнопка

## Світлодіод AL102

Світлодіоди AL102, 3L102 (фосфідогалій епітаксіальний з спрямованим випромінюванням)

Постійний струм, ПЧ 5, 10, 20 мА

Кут випромінювання 20°

Вага не більше 0,25 г

Діапазон робочих температур -60°C – +70°C

Колір світіння червоний

Довжина хвилі ,  $\lambda$  690 нм

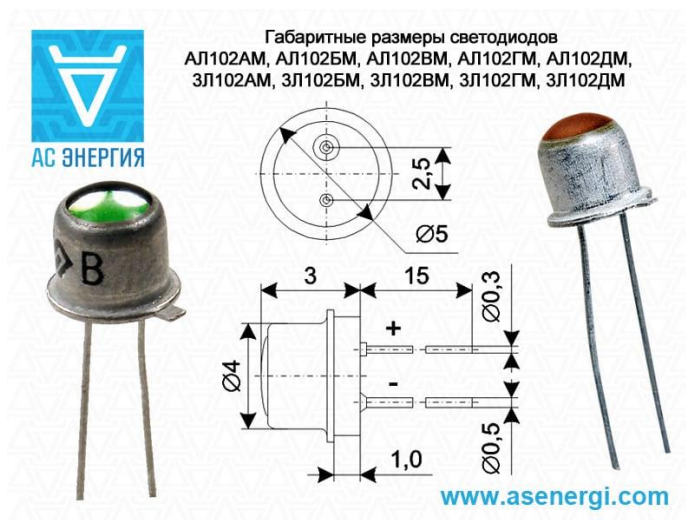


Рисунок 2.15. Светодиод AL102

### Вставки плавкі (запобіжники) скляні серій Н520РТ

Технічні характеристики:

Номінальний струм 0,5А

Номінальна напруга 250 В

Діапазон робочих температур  $-60^{\circ}\text{C}$  –  $+85^{\circ}\text{C}$

Розміри  $D \times L \times L1$  5,2×20×10 мм

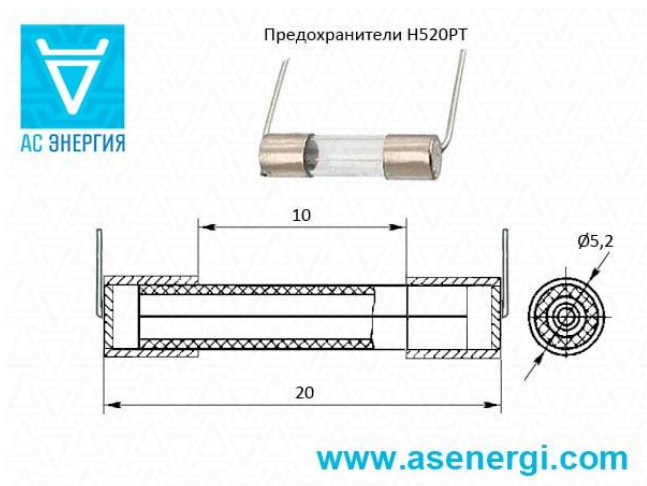


Рисунок 2.16. Вставки плавкі (запобіжники) скляні

### Резистор змінний 47 kOhm 3296W (KLS4-3296W-473)

Таблиця 2.7. Технічні характеристики

Тип	Підстроювальні
Бренд	KLS
Габарити	9,53x10,03x4,83 мм.
Механізм роботи	Багатооборотний
Потужність	0,5 W
Номінал	47 kOhm
Серія	3296W
Тип монтажу	Вертикальний

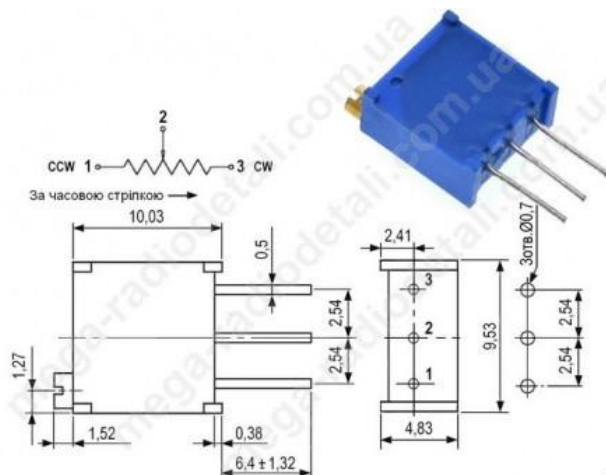


Рисунок 2.17. Резистор змінний

### Лінійний стабілізатор напруги L7805CV

Мікросхема живлення L7805CV TO-220 відноситься до типу лінійних стабілізаторів напруги (ЛСН), мікросхема призначена для автоматичної, постійної підтримки стабільної напруги. Залежно від типів стабілізаторів, їх можна використовувати для регулювання однієї або кількох напруг, змінного чи постійного струму. Стабілізатори напруги набули широкого застосування у повсякденному житті споживача. Однією з таких сфер є використання в блоках живлення комп'ютерів, де вони стабілізують напругу постійного струму, використовувану процесором та іншими елементами. Мікросхеми стабілізаторів напруги поділяються на два класи: лінійні стабілізатори та імпульсні стабілізатори. Лінійні стабілізатори - пристрої, які працюють у своїй лінійній галузі. На вхід лінійного стабілізатора подається вхідна, нестабільна напруга, а при виході генерується стабільне. Лінійні стабілізатори прості та не вимагають великої кількості додаткових електронних компонентів. Імпульсні стабілізатори - здатні генерувати вихідну напругу, яка вища за вхідну або має протилежну полярність. Потужність, що передається через прохідний пристрій, має дискретні імпульси, за рахунок чого досягається більша ефективність, оскільки прохідний пристрій

працює як перемикач з низьким імпедансом. Таким чином, ефективність стабілізатора імпульсного коливається в діапазоні від 70 до 90%.

Технічні характеристики:

Лінійний стабілізатор напруги L7805CV TO-220

Тип Лінійний стабілізатор напруги

Корпус TO-220

Серія L78

Напруга на виході 4,75-5,25 В

Вхідна напруга 7-28 В

Струм власного споживання 4,3 мА

Максимальний вихідний струм 1,5 А

Допустиме падіння напруги вхід-вихід 2 В

Придушення пульсацій живлення 50 дБ

Робоча температура до 150°C

Розміри (ВхДхШ) 9,15 x 10,4 x 4,6 мм

Вага 1,6 г

Розшифровка маркування лінійного стабілізатора напруги L7805CV TO-220  
CV TO-220 L78 – серія. 05 – вихідна напруга. CV – клас полярності. TO-220 – тип



корпусу. Функціональна схема лінійного стабілізатора напруги L7805CV TO-220:

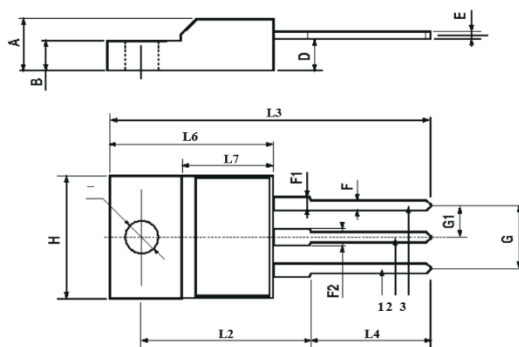


Рисунок 2.18. Лінійний стабілізатор напруги L7805CV

Таблиця 2.8. Лінійні розміри лінійного стабілізатора напруги L7805CV

DIMENSIONS						
REF.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A	4.40		4.60	0.173		0.181
B	2.5		2.7	0.098		0.106
D	2.5		2.75	0.098		0.108
E	0.45		0.70	0.017		0.027
F	0.75		1	0.030		0.039
F1	1.15		1.50	0.045		0.059
F2	1.15		1.50	0.045		0.059
G	4.95		5.2	0.194		0.204
G1	2.4		2.7	0.094		0.106
H	10.0		10.40	0.393		0.409
L2		16			0.630	
L3	28.6		30.6	1.126		1.204
L4	9.8		10.6	0.385		0.417
L6	15.9		16.4	0.626		0.645
L7	9		9.3	0.354		0.366
DIA.	3		3.2	0.118		0.126

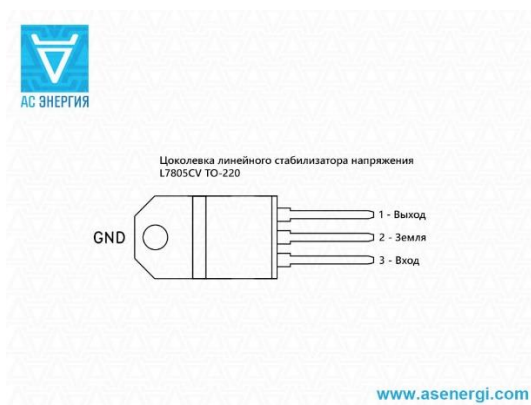


Рисунок 2.19. Цоколівка лінійного стабілізатора напруги L7805CV TO-220

## Резистори

Плівкові резистори малого розміру пропонують чудову продуктивність у застосуваннях, де потрібна стабільність і однорідність характеристик. Вони забезпечують менший розмір для застосування на друкованій платі з високою продуктивністю та точністю для заміни дріт'яних резисторів і резисторів високої потужності.

Мініатюрні (малого розміру) витримують випробування на перевантаження відповідно до специфікації UL № 1412, не створюючи небезпеки пожежі. (UL 1412 є стандартом для плавких резисторів і резисторів з обмеженням температури)

### Особливості

Низька вартість, висока продуктивність.

Висока потужність при малих розмірах для значної економії місця.

Повна вогнестійка конструкція. Висока здатність до перенапруги/перевантаження.

Відмінна довгострокова стабільність.

## DIMENSIONS

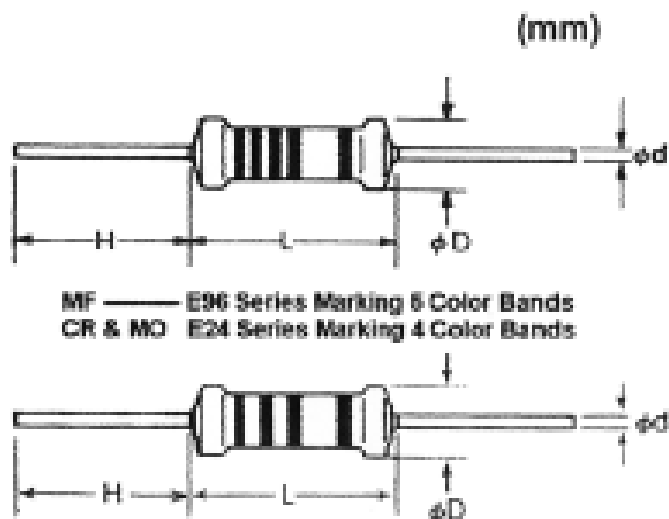


Рисунок 2.20. Плівкові резистори малого розміру

Таблиця 2.9. Розміри резисторів

стиль	Розміри, мм				Номинальна потужність, Вт	максимальна робоча напруга, В			максимальна напруга перевантаження, В			діапазон опору
	L	D	H	d		CR	MF	MO	CR	MF	MO	
CR-25S, MF-25S	3,3±0,4	1,8±0,3	28±2	0,45±0,05	1/4	250	200	-	500	400	-	те саме для кожного типу плівкового резистора.
CR-50S, MF-50S, MO-50S	6,3±0,5	2,3±0,3	28±2	0,55±0,05	1/2, 0,6	350	250	250	700	500	400	те саме для кожного типу плівкового резистора.
CR-100S, MF-100S, MO-100S	9±0,5	3,2±0,5	26±2	0,6±0,05	1	500	350	350	1000	700	600	те саме для кожного типу плівкового резистора.
CR-200S, MF-200S, MO-200S	11,5±1,0	4,5±0,5	35±3	0,8±0,05	2	500	500	350	1000	1000	600	те саме для кожного типу плівкового резистора.

МО-300S	15,5±1,0	5,0±0,5	35±3	0,8±0,05	3	-	-	500	-	-	800	те саме для кожного типу плівкового резистора.
МО-500S	17,5±1,0	6,0±1,0	38±3	0,8±0,05	5	-	-	750	-	-	1000	те саме для кожного типу плівкового резистора.

### 3. РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІ ПРИБОРУ

#### 3.1. Вибір конструкції друкованої плати

Основними матеріалами виготовлення друкованої плати (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.

Таблиця 3.1. Матеріал для виготовлення друкованої плати.

Матеріал	Марка	Товщина
Склотекстоліт фольгований	СФ-1-35	0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5;
	СФ-1-50	3,0
	СФ-2-35	
	СФ-2-50	

Для виготовлення друкованої плати використовуємо склотекстоліт СФ – 2 – 35 – 1,5 ГОСТ 10316 – 78 як найбільш міцний матеріал.

За ГОСТ 23752-79 вибираємо третій клас густини рисунка друкованої плати. Для даного класу щільності маємо:

- ширина провідника щонайменше 0.5 мм;
- відстань між провідниками не менше 0.5 мм;
- роздільна здатність 1.0 ліній/мм.

### **3.2. Конструктивно-технологічний розрахунок друкарського монтажу**

Обираємо третій клас точності виготовлення друкованої плати. Для виготовлення друкованої плати використовуємо склотекстоліт СФ – 2 – 35 – 1,5 ГОСТ 10316 – 78, який має наступні характеристики:

- товщина фольги 35 мкм;
- допустима щільність струму  $I_{\text{доп}} = 20 \text{ А/мм}^2$ ;
- питомий опір  $\rho = 0,05 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$ ;

Конструктивні обмеження відповідають третьому класу точності:

- мінімальне значення номінальної ширини провідника  $b = 0,45 \text{ мм}$ ;
- номінальна відстань між провідниками  $S = 0,45 \text{ мм}$ ;
- відношення діаметра отвору до товщини плати  $\gamma \geq 0,5$ ;
- допуск на отвори  $\Delta d = \pm 0,1 \text{ мм}$ ;
- допуск на ширину провідника  $b = \pm 0,1 \text{ мм}$ ;
- допуск на розташування отворів  $d = 0,15 \text{ мм}$ ;

- допуск на розташування провідників на двостороння друкована плата (ДДП)  $\delta_1 = 0,1$  мм;

- відстань від краю просвердленого отвору до краю контактної майданчика  $b_M = 0,045$  мм;

### 3.3 Визначення мінімальної ширини друкованих провідників

Ширина друкованих провідників визначатиметься трьома факторами: максимальним струмом, що протікає провідником – для ланцюгів живлення та шин заземлення, допустимим падінням напруги – для сигнальних ланцюгів, можливостями обраного методу виготовлення та класом точності плати – для всіх з'єднань на платі.

Визначаємо мінімальну ширину  $b_{\min I}$ , мм, друкарського провідника по постійному струму для ланцюгів живлення та шин заземлення за формулою

$$b_{\min I} = \frac{I_{\max}}{I_{\text{доп}}} h_{\phi}, \quad (3.1.)$$

де  $I_{\max}$  - максимальний постійний струм у провідниках, А;

$I_{\text{доп}}$  - допустима щільність струму, А/мм<sup>2</sup>;

$h_{\phi}$  – товщина друкарського провідника (товщина фольги), мм.

$$b_{\min I} = 0,1 / (20 \cdot 0,035) = 0,14.$$

За формулою, яка наведена нижче можна визначити мінімальну ширину  $b_{\min U}$ , мм, друкованого провідника, якщо знати допустиме падіння напруги на ньому:

$$b_{\min U} = \rho I_{\max} \frac{1}{h_{\phi} U_{\text{доп}}}, \quad (3.2.)$$

де  $\rho$  – питомий опір фольги, Ом·мм<sup>2</sup>/м;  $I$  – максимальна довжина сигнального друкарського провідника на платі, м;  $U_{\text{доп}}$  – падіння напруги, яке допускається, В.

$$b_{\min U} = 0,05 \cdot 0,1 \cdot 0,126 / 0,035 \cdot 0,1 = 0,18$$

Мінімальна ширина друкованих провідників для ДДП, виготовлених хімічним методом, визначається за формулою

$$b_{\min} = b + 1,5h_{\phi} + (0,03 \dots 0,08) = 0,45 + 1,5 \cdot 0,035 + 0,03 = 0,53$$

Вибираємо ширину друкованих провідників у сигнальних ланцюгах із умови

$$b \geq b_{\min}, \quad (3.3.)$$

у ланцюгах живлення та шинах заземлення з умови

$$b \geq \max \{ b_{\min}, b_{\min I}, b_{\min U} \}.$$

$$0,5 \geq \max \{ 0,53; 0,14; 0,18 \}, \text{ обираємо } b=0,53$$

Перевіряємо провідники з обраною шириною 0,53 мм на допустимий струм при вибраній товщині фольги 0,35.

$$I_{\max} \leq I_{\text{доп}},$$

$$0,1 \leq 0,35$$

Номинальне значення діаметрів  $d$ , мм монтажних отворів за групами виводу елементів визначається за формулою

$$d = d_e + |\Delta d_{н.о.}| + r, \quad (3.4.)$$

де  $d_e$  – максимальне значення діаметру виводу елемента, яке можна встановити на плату, мм;

$\Delta d_{н.о.}$  – нижнє граничне відхилення номінального діаметра монтажного отвору, мм;

$r$  - різниця між мінімальним діаметром отвору та максимальним діаметром виводу елемента (в межах 0,1...0,4 мм).

Розраховані значення діаметрів  $d$  округляють до найближчого більшого значення ряду: 0,7; 0,8; 0,9; 1,0; 1,1; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5 ...

Оскільки елементи мають різні діаметри виводів, їх можна розділити на дві групи:

$$d_e = 0,5 \text{ мм}$$

$$d_e = 1,5 \text{ мм}$$

$$d_1 = 0,5 + |0,15| + 0,4 = 1,05 \text{ мм}$$

$$d_2 = 1,5 + |0,15| + 0,4 = 2,05 \text{ мм}$$

Перевіряємо найменше значення діаметра монтажного отвору на відповідність

$$d \geq d_{\min} = H \times \gamma. \quad (3.5.)$$



де  $H$  - товщина друкованої плати, мм;  $\gamma$  – конструктивне обмеження, яке пов'язує з розсіювальною здатністю електролітів розсіювати потужність, якщо для монтажних та перехідних отворів використовують гальванічну металізацію;  $d_{\min}$  – мінімальний діаметр перехідного отвору, мм.

$$1,5 \geq 1,5 \cdot 0,5 = 0,75$$

Якщо виконується умова (3.5.), то можна зробити висновок, що діаметри монтажних отворів обрані правильно.

### 3.4 Визначення діаметрів контактних майданчиків

Надійний електричний контакт між ланцюгами, які розташовуються на різних сторонах плати забезпечує пайка виводів навісних елементів на контактну площадку отвору в друкованій платі. Дійсні розміри друкованого рисунка можуть бути зменшені через особливості процесу травлення фольги. Це відбувається за рахунок того, що бічне підтравлювання зменшує і частково руйнує адгезійний шар між діелектриком і фольгою. Бічне підтравлювання може призвести до відшаровування тонких елементів друкованого рисунка. Величина діаметру контактної площадки повинна перевищувати мінімальний діаметр  $D_{\min}$ , мм. Метод виготовлення друкованої плати обумовлює величину мінімального діаметру контактної площадки.

За формулою, яка наведена нижче, визначається максимальний діаметр просвердленого отвору  $d_{\max}$ , мм:

$$d_{\max} = d + \Delta d + (0.1 \dots 0.15), \quad (3.6.)$$

де  $\Delta d$  – допуск на отвір.

$$d_{\max 1} = 0,9 + 0,15 + 0,1 = 1,15 \text{ мм}$$

$$d_{\max 2} = 1,5 + 0,15 + 0,1 = 1,75 \text{ мм}$$

За формулою, яка наведена нижче, визначається мінімальний ефективний діаметр контактної майданчика  $D_{1\min}$ , мм:

$$D_{1\min} = 2 / (b_m + d_{\max} / 2 + \delta d + \delta p), \quad (3.7.)$$

$$D_{1\min 1} = 2 / (0,045 + 1,15 / 2 + 0,15 + 0,25) = 2,39 \text{ мм}$$

$$D_{1\min 2} = 2 / (0,045 + 1,75 / 2 + 0,15 + 0,25) = 2,74 \text{ мм}$$

Мінімальний діаметр контактної майданчика для ДДП, яку виготовляють хімічним методом визначають за формулою, яка наведена нижче:

$$D_{\min} = D_{1\min} + h_{\phi}, \quad (3.8.)$$

$$D_{\min 1} = 2,39 + 0,035 = 2,425 \text{ мм}$$

$$D_{\min 2} = 2,74 + 0,035 = 2,775 \text{ мм}$$

Максимальний діаметр контактної майданчика  $D_{\max}$ , мм визначається за формулою:

$$D_{\max} = D_{\min} + (0,02 \dots 0,06) \quad (3.9.)$$

$$D_{\max 1} = 2,425 + 0,06 = 2,485 \text{ мм}$$

$$D_{\max 2} = 2,775 + 0,06 = 2,835 \text{ мм}$$

Якщо порахувати мінімальні відстані між елементами провідного рисунка, то можна отримати результати, які наведено нижче.

За наведеною формулою можна порахувати мінімальні відстані між контактним майданчиком та провідником:

$$S_{1 \min} = L_0 - [(D_{\max} / 2 + \delta p) + (b_{\max} / 2 + \delta l)], \quad (3.10.)$$

де  $\delta_1$  – допуск на розташування провідників

$L_0$  – відстань між центрами елементів рисунка на кресленні, мм.

$$S_{1\min} = 2,5 - [(2,485/2+0,3) + (1,15/2+0,1)] = 0,2 \text{ мм}$$

Між двома контактними майданчиками можна визначити мінімальні відстані:

$$S_{2\min} = L_0 - (D_{\max} + 2\delta_p) \quad (3.11)$$

$$S_{2\min} = 2,5 - (2,775 + 2 \cdot 0,3) = 0,325 \text{ мм}$$

Якщо треба вирахувати мінімальну відстань між двома провідниками, то:

$$S_{3\min} = L_0 - (b_{\max} + 2\delta_l). \quad (3.12.)$$

$$S_{3\min} = 2,5 - (1,15 + 2 \cdot 0,3) = 0,75 \text{ мм}$$

Мінімальна відстань між центрами двох контактних майданчиків під час прокладання між ними  $N$  друкованих провідників визначається за формулою:

$$S_{4\min} = 0,5D_{1\max} + 0,5D_{2\max} + 2\delta_p + (b_{\max} + \delta_l)N + S(N+1). \quad (3.13.)$$

$$S_{4\min} = 0,5 \cdot 2,485 + 0,5 \cdot 2,775 + 2 \cdot 0,3 + (1,15 + 0,1) \cdot 2 + 0,45(2+1) = 6,35 \text{ мм}$$

Мінімальна відстань центру отвору від краю плати для прокладання  $N$  друкованих провідників між контактним майданчиком отвору та краєм плати визначається за формулою:

$$S_{5\min} = 0,5D_{\max} + \delta_p + (S + b_{\max} + \delta_l)N + S_{on}. \quad (3.14)$$

де  $S_{on}$  – мінімальна відстань від краю плати до друкарського провідника.

$$S_{5\min} = 0,5 \cdot 2,485 + 0,3 + (0,45 + 0,55 + 0,1) \cdot 2 + 3 = 6,74 \text{ мм}$$

Якщо треба визначити оцінку стійкості до перешкод параметрів друкарського монтажу, то треба визначити ємнісну та індуктивну складову паразитного зв'язку між елементами друкованого монтажу для сигнальних ланцюгів.

Між двома провідниками паразитну ємність  $C$ , пФ можна розрахувати таким чином:

$$C = C_{\text{пог}} \cdot L_i, \quad (3.15.)$$

де  $L_i$  - довжина взаємного перекриття провідників.

Погонна ємність  $C_{\text{пог}}$ , пФ/см, визначається за формулою:

$$C_{\text{пог}} = K_n \cdot E, \quad (3.16.)$$

де  $K_n$  - коефіцієнт пропорційності  $K_n = 0,27$ ;

$E$  – діелектрична проникність середовища між провідниками. Її можна обчислити таким чином:

$$E = (E_n + E_v)/2, \quad (3.17.)$$

де  $E_n$  - діелектрична проникність матеріалу плати (для склотекстоліту СФ – 2 – 35 – 1,5 ГОСТ 10316 – 78  $E_n = 6$ );

$E_v$  - діелектрична проникність повітря,  $E_v = 1$  (якщо плата покрита лаком, то діелектрична проникність лаку  $E_l = 9$ ).

$$E = (6 + 9)/2 = 7,5$$

$$C_{\text{пог}} = 0,27 \cdot 7,5 = 2,025 \text{ пФ/см}$$

$$C = 2,025 \cdot 0,21 = 0,425 \text{ пФ}$$

Креслення друкованої плати і креслення збірки друкованої плати наведено в додатку А і В.

#### 4. МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ТЕСТЕРА ЄМНОСТІ АКУМУЛЯТОРА

##### 4.1. Основні визначення і параметри операційного підсилювача

Операційний підсилювач (ОП) – це підсилювач постійного струму з дуже великим коефіцієнтом посилення, з диференціальним входом (два входи) та одним загальним виходом. Диференціальний вхід означає, що ОП посилює різницю двох вхідних сигналів  $U_{вх1}$  і  $U_{вх2}$ , що подається відповідно на неінвертуючий (+) і інвертуючий (–) входи. Умовне позначення ОП показано на рисунку 4.1.

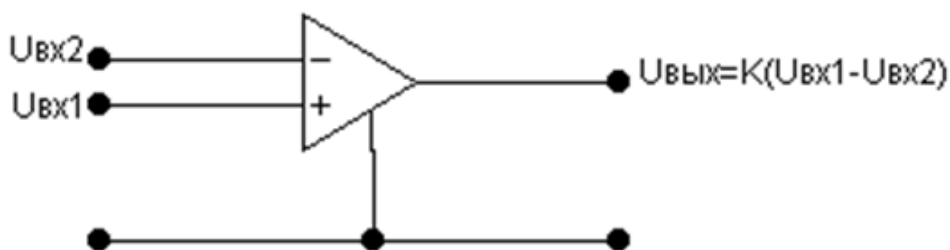


Рисунок 4.1. Умовне позначення операційного підсилювача (ОП)

Для живлення ОП застосовують, як правило, два джерела напруги (зазвичай +15 і -15 В) з одним загальним нульовим виводом. На схемах часто не показують підключення джерел живлення до ОП та вивод, призначений для заземлення. ОП широко використовуються в інтегральному виконанні. Одна мікросхема містить одну або кілька незалежних ОП. Оскільки коефіцієнт посилення ОП дуже великий (десятки і сотні тисяч), то охоплюючи його зворотним зв'язком, можна отримувати різноманітні схеми, параметри яких залежать тільки від властивостей ланцюгів

зворотного зв'язку. Деякі з цих схем розглядаються нижче. Для спрощення аналізу їх використовується поняття «ідеальний ОП», що має такі властивості:

- 1) коефіцієнт посилення за напругою підсилювача прагне нескінченності;
- 2) вхідний опір ОП прагне нескінченності, тобто. входи ОП струм не споживають;
- 3) вихідний опір ОП прагне нуля;
- 4) різниця напруг між входами ОП прагне до нуля (наслідок нескінченного значення коефіцієнта підсилювача і кінцевого значення вихідної напруги, що не перевищує напруги живлення).

#### 4.2. Підсилювач, що інвертує

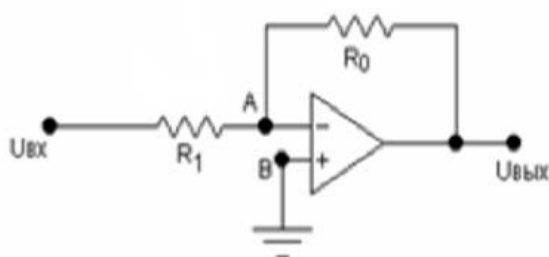


Рисунок 4.2. Підсилювач, що інвертує

Схема підсилювача, що інвертує, наведена на рисунку 4.2. Резистор  $R_0$  утворює паралельний негативний зворотний зв'язок за напругою. Так, як входи ідеального ОП струм не споживають (властивість 2), то відповідно до першого закону Кірхгофа струм через вхідний резистор  $R_1$  дорівнює струму через  $R_0$ . Звідки

$$(U_{\text{вх}} - U_a) / R_1 = (U_a - U_{\text{вих}}) / R_0. \quad (4.1.)$$

Враховуючи, що потенціал точки дорівнює потенціалу землі, тобто нулю, а потенціал точки А дорівнює потенціалу точки, (властивість 4 ідеального ОП), то, отже,  $U_a = 0$ .

Тоді

$$U_{\text{вх}} / R_1 = -U_{\text{вих}} / R_0. \quad (4.2.)$$

Звідки

$$U_{\text{вих}} = -(R_0/R_1)U_{\text{вх}}. \quad (4.3.)$$

Таким чином, коефіцієнт посилення за напругою підсилювача інвертує дорівнює

$$K_U = -R_0/R_1. \quad (4.4.)$$

### 4.3. Підсилювач, що не інвертує

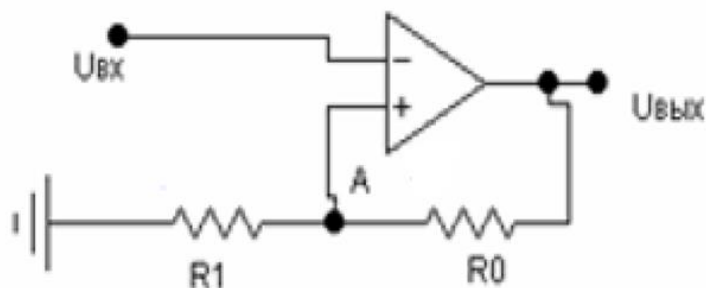


Рисунок 4.3. Схема неінвертуючого підсилювача

Схема неінвертуючого підсилювача наведена на рисунку 4.3. Резистори  $R_1$  і  $R_0$  утворюють ланцюг послідовного негативного зворотного зв'язку за напругою. Оскільки входи ідеального ОП струм не споживають, потенціал точки А дорівнює

$$U_A = U_{\text{вих}}R_1/(R_1 + R_0). \quad (4.5.)$$

Враховуючи, що потенціал точки А дорівнює потенціалу входу, що інвертує (властивість 4 ідеального ОП) отримаємо

$$U_{\text{вх}} = U_A = U_{\text{вих}}R_1/(R_1 + R_0). \quad (4.6.)$$

Звідки

$$U_{\text{вих}} = (1 + R_0/R_1) U_{\text{вх}}. \quad (4.7.)$$

Таким чином, коефіцієнт посилення по напрузі підсилювача неінвертує дорівнює

$$K_U = 1 + R_0/R_1. \quad (4.8.)$$

Як і в ідеального ОП вхідний опір підсилювача, що не інвертує, прагне до нескінченності, а вихідний до нуля. Великий вхідний опір – істотна перевага неінвертованого підсилювача перед інвертуючим.

#### 4.4. Інвертуючий суматор

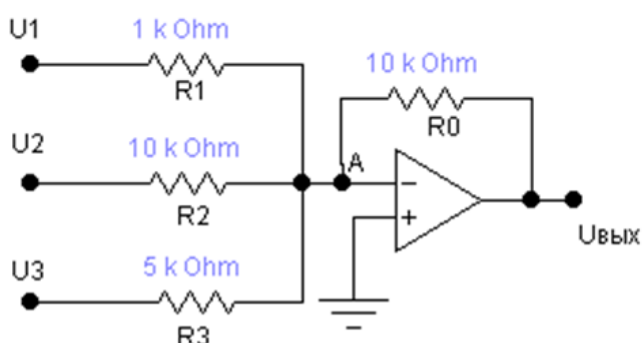


Рисунок 4.4. Схема суматора, що інвертує

Приклад схеми суматора, що інвертує, на три входи наведено на рисунку 4.4. Аналіз роботи суматора подібний до аналізу роботи інвертуючого підсилювача. Сума струмів, що протікають через вхідні резистори  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  дорівнює струму через резистор зворотного зв'язку  $R_0$ , а потенціал точки А дорівнює нулю. Звідки

$$U_{\text{вих}} = -\left(\frac{R_0}{R_1}U_1 + \frac{R_0}{R_2}U_2 + \frac{R_0}{R_3}U_3\right), \quad (4.9.)$$

де  $U_1, U_2, U_3$  – три вхідні напруги, кожна з яких множиться на свій постійний коефіцієнт  $R_0/R_i$ , а потім ці твори підсумовуються. У прикладі

$$U_{\text{вих}} = -(10U_1 + U_2 + 2U_3). \quad (4.10)$$



Суматор може мати більше входів. Наприклад, якщо входу 4, а цифрові вхідні сигнали, що приймають значення або 0В, або +1В, то задавши

$$R_0/R_1=1, R_0/R_2=2, R_0/R_3=4, R_0/R_4=8, \quad (4.11.)$$

отримаємо схему цифроаналогового перетворювача, що перетворює чотирирозрядне двійкове число у відповідну йому аналогову напругу

#### 4.5. Диференціальний підсилювач

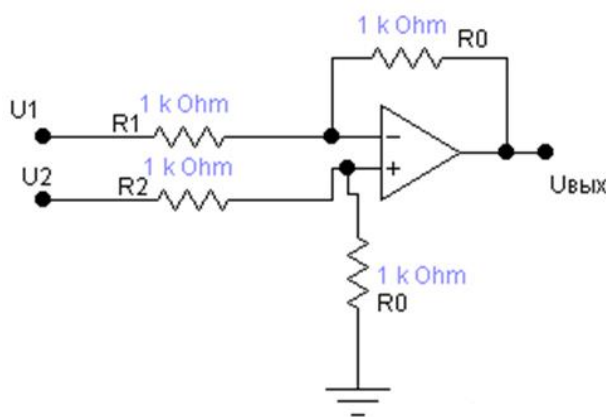


Рисунок 4.5. Схема диференціального підсилювача

Схема диференціального підсилювача представлена на рисунку 4.5. Ця схема посилює в  $R_0/R_1$  різниця двох вхідних напруг:

$$U_{\text{вих}} = R_0 / R_1 (U_2 - U_1) \quad (4.12.)$$

#### 4.6. Інтегратор

Схема інтегратора представлена на рисунку 4.6. Для цієї схеми

$$U_{\text{вих}} = -\frac{1}{RC} \int_0^t U_{\text{вх}} dt + U_{\text{вих}}(0), \quad (4.13.)$$

де  $U_{\text{вих}}(0)$  - вихідна напруга в момент часу  $t = 0$ . Так, при подачі на вхід інтегратора постійної негативної (позитивної) напруги, на виході отримаємо лінійно зростаючу (зменшуючу) напругу. Від значення  $RC$  залежить масштаб інтегрування у часі. Наприклад, при  $R=1$  МОм та  $C=1$  мкФ інтегрування здійснюється в реальному масштабі часу.

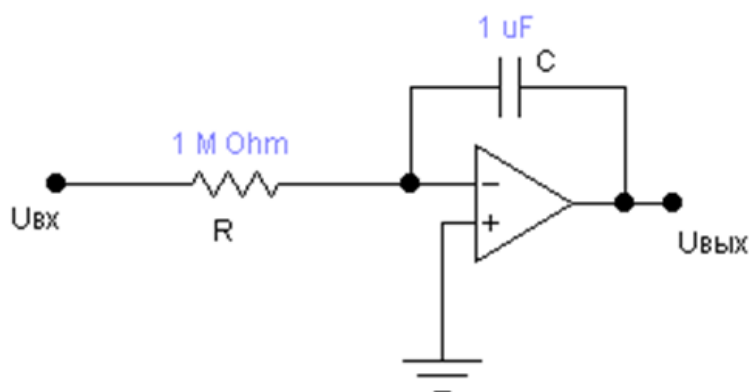


Рисунок 4.6. Схема інтегратора

#### **4.7. Моделювання електричних параметрів операційного підсилювача в схемі тестера ємності акумулятора за допомогою програми Electronic Workbench**

Зібрана електрична схема для моделювання електричних параметрів операційного підсилювача MC33171 в програмі Electronic Workbench було наведено на рисунку 4.7.

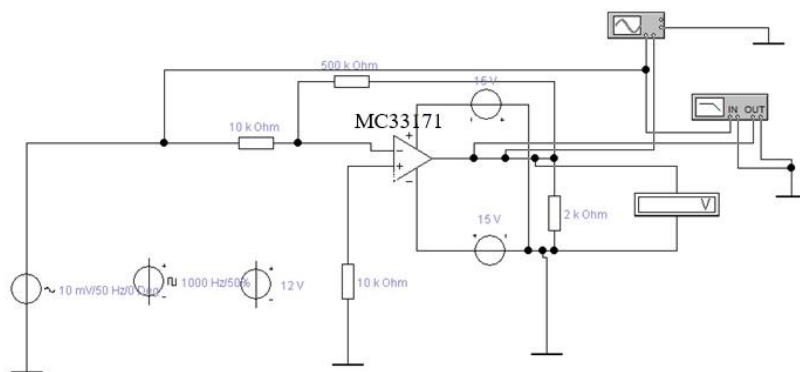


Рисунок 4.7. Схема інвертуючого підсилювача.

Із групи пасивних компонентів програми Electronic Workbench обираємо джерело змінної синусоїдальної напруги. Джерело потім потрібно перенести на робоче поле програми. Далі потрібно підключити джерело до інвертуючого входу операційного підсилювача. Це робиться для побудови амплітудно-частотної характеристики ( АЧХ) ОП.

Потім з контрольно-вимірювальних приладів потрібно обрати вимірювач АЧХ та ФЧХ (Bode Ploter). Переносимо на робоче поле програми прилади. Потім прилади потрібно підключити до виходу схеми. Перші клеми вимірювача in і out підключаємо на вхід та вихід схеми відповідно, другі клеми вимірювача заземлюються.

Для того, щоб визначити амплітуди вхідного та вихідного сигналів ОП і оцінити його коефіцієнт посилення потрібно під'єднати осцилограф (Oscilloscope). Канал А підключаємо до входу схеми, канал до виходу.

Якщо потрібно побудувати амплітудну характеристику ОП треба підключити до інвертуючого входу ОП генератор амплітудно-модульованих коливань.

До виходу схеми підключаємо осцилограф (у цьому випадку підключається тільки канал) для спостереження амплітудно-модульованих коливань і побудови амплітудної характеристики.

Для побудови амплітудної і фазової характеристики ОП MC33171 і визначення коефіцієнта передавання було під'єднано джерело постійної напруги E3 (рисунок 4.8.).

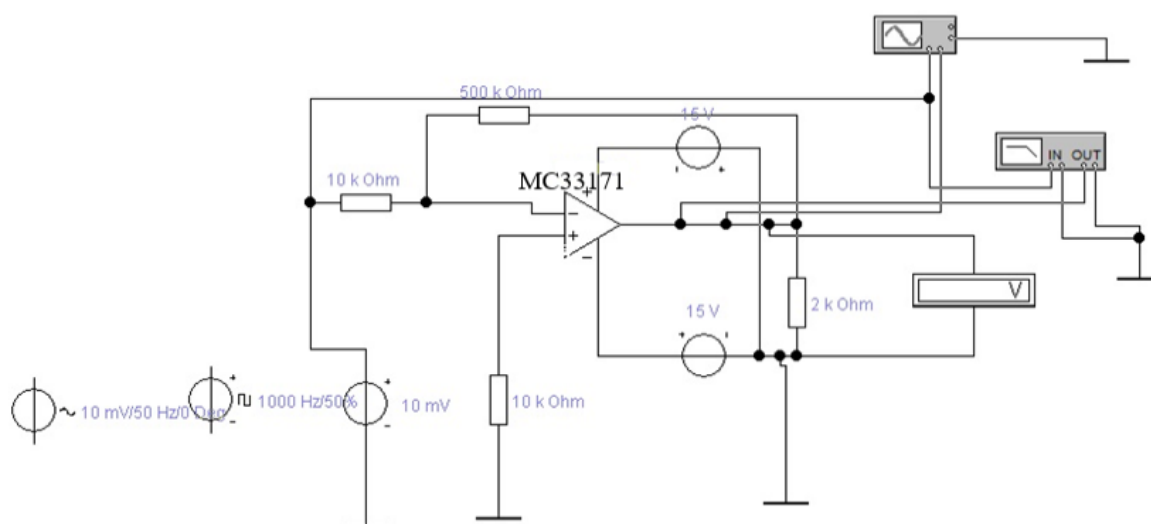


Рисунок 4.8. Під'єднання джерела постійної напруги E3 до ОП MC33171

Спочатку було використано джерело постійної напруги. На вхід, що інвертує з джерела живлення подавали постійну напругу. При цьому було використано резистор R1. Опір дорівнював 10кОм. Значення опору резистору визначалося вхідним опором операційного підсилювача. Вхідний опір ОП дорівнює теж 10кОм. забезпечує Негативний паралельний обернений зв'язок за напругою забезпечував потенціометр R33. Опір негативного зворотного зв'язку дорівнює 500 кОм. Якщо  $R_{33}=500\text{кОм}$  коефіцієнт підсилення за напругою

$$K_U \approx -R_{33}/R_1 = -500/10 = -50$$

В цьому випадку, при використанні на вході джерела постійної напруги, на екрані осцилографа отримали осцилограму вхідної і вихідної напруги. Бодіплотер показав амплітудну і частотну характеристику ОП.

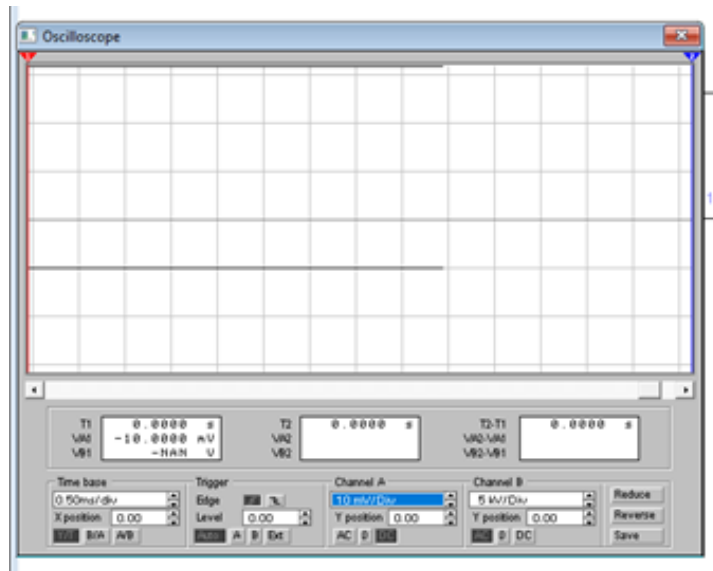


Рисунок 4.9. При під'єднанні джерела постійної напруги до ОП МС33171 на екрані осцилографа сигнал вхідної і вихідної напруги



Рисунок 4.10. При під'єднанні джерела постійної напруги до ОП МС33171 на екрані бодіплотера амплітудна характеристика



Рисунок 4.11. При під'єднанні джерела постійної напруги до ОП МС33171 на екрані бодіплотера фазова характеристика

Якщо подавати на вхід, що інвертує, постійну напругу, то буде змінюватися тільки знак вихідної напруги. В цьому випадку амплітуда вхідного і вихідного сигналу не змінюється. Остається постійною також фазова характеристика ОП.

Далі можна на вхід ОП, що інвертує, подати синусоїдальну напругу. Для цього використаємо джерело синусоїдальної напруги (рисунок 4.12). Тоді отримаємо на екрані осцилографа вхідний і вихідний сигнал (рисунок 4.13).

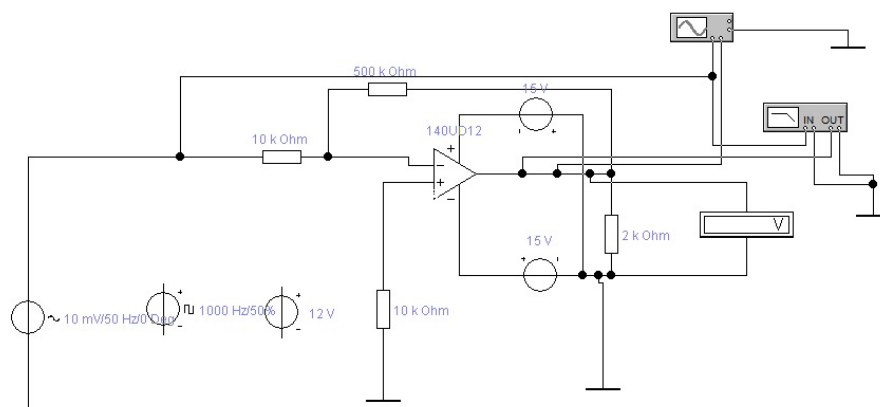


Рисунок 4.12. Під'єднання джерела синусоїдальної напруги до ОП МС33171

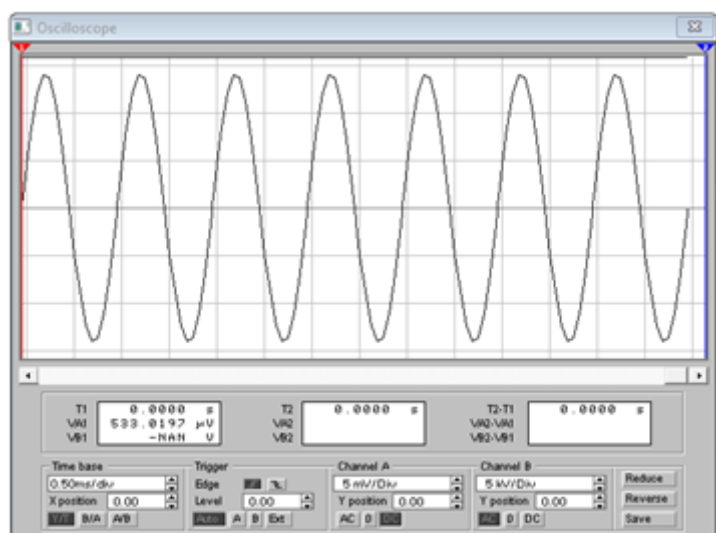


Рисунок 4.13. При під'єднанні джерела синусоїдальної напруги до ОП МС33171 на екрані осцилографа сигнал вхідної і вихідної напруги

На екрані бодіплотера можна побачити амплітудну (рисунок 4.14) і фазову (рисунок 4.15) характеристики ОП.



Рисунок 4.14. При під'єднанні джерела синусоїдальної напруги до ОП МС33171 на екрані бодіплотера амплітудна характеристика

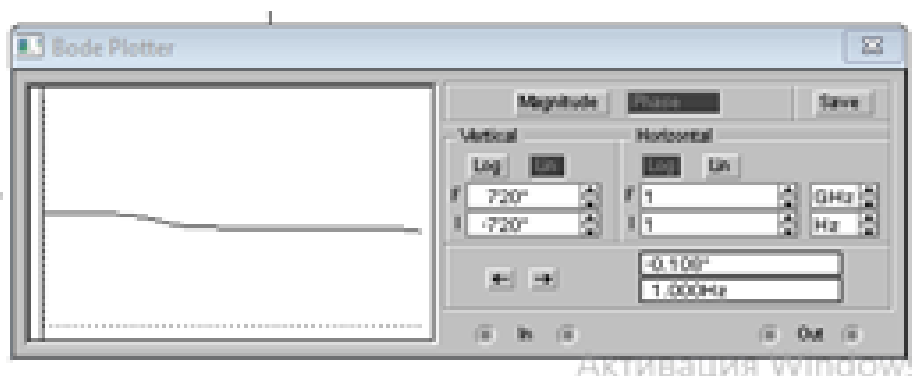


Рисунок 4.15. При під'єднанні джерела синусоїдальної напруги до ОП МС33171 на екрані бодіплотера фазова характеристика

Можна проаналізувати сигнали на екрані бодіплотера. В цьому випадку амплітуда вхідного і вихідного сигналу залишається постійною. Фаза сигналів поступово зменшується.

Під'єднаємо до входу ОП джерело прямокутних імпульсів  $E_2$  (рисунок 4.16). Подивимось на осцилограму вхідної і вихідної напруги. Якщо подивитись на екран бодіплотера, то можна побачити амплітудну і фазові характеристики ОП.

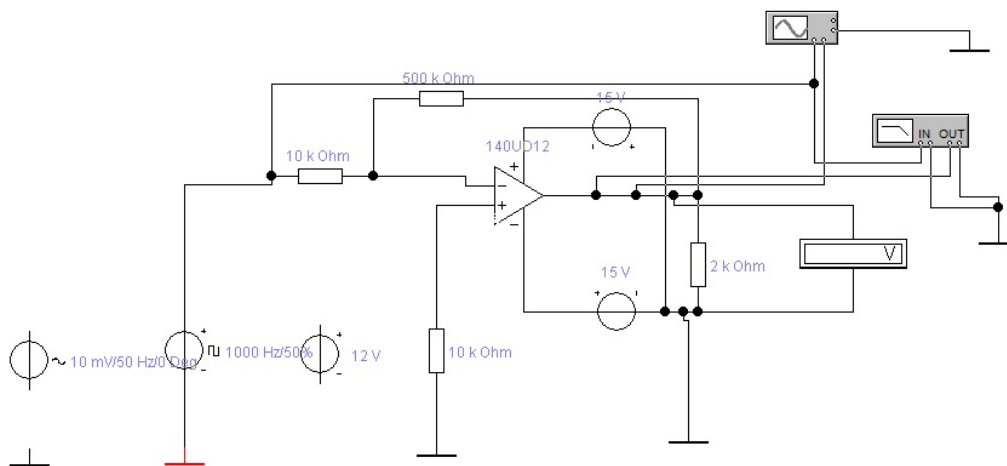


Рисунок 4.16. Під'єднання джерела прямокутних імпульсів до ОП MC33171

В цьому випадку отримуємо осцилограму вхідної і вихідної напруги (рисунок 4.17). На екрані бодіплотера можна побачити фазову характеристику при під'єднанні джерела прямокутних імпульсів (рисунок 4.18).

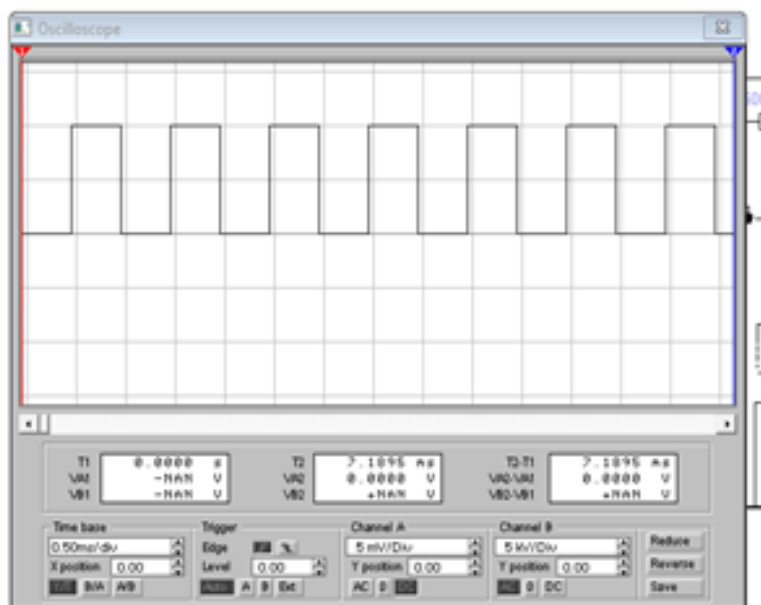


Рисунок 4.17. При під'єднанні джерела прямокутних імпульсів до ОП MC33171 на екрані осцилографа сигнал вхідної і вихідної напруги



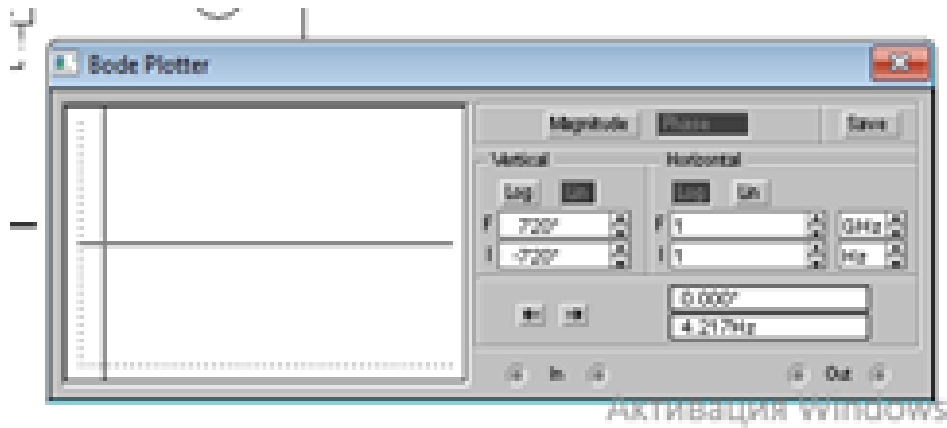


Рисунок 4.18. При під'єднанні джерела прямокутних імпульсів до ОП МС33171 на екрані бодіплотера фазова характеристика

Якщо порівняти вигляд зображених на рисунках сигналів, то можна побачити, що амплітуда вхідного і вихідного сигналу не змінюється. Змінюється тільки фаза вихідного сигналу.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

У ході виконання дипломної роботи було освоєно теоретичні основи конструювання, надійності та аналізу радіоелектронних систем; вивчено основні етапи та методи проектування; вивчені загальні вимоги до апаратури щодо надійності, вивчено стадії розробки конструкторської документації, її види та комплектність. Освоєно принципи та методи системного підходу процесу проектування радіоелектронних пристроїв роботи; проведено обґрунтований вибір електричної принципової схеми радіоелектронної апаратури; виконано розрахунок елементів електричної принципової схеми; виконано конструкторську документацію з ЄСКД.

Розглянутий у цій роботі тестер ємності акумулятора надійніше і потужніше, ніж існуючі аналоги, він має більшу вихідну потужність, менший коефіцієнт гармонік тощо.

За результатами розрахунків параметрів друкованого монтажу з урахуванням технологічних можливостей виробництва був обраний третій клас точності плати. Тип друкованої плати був обраний двосторонній. Розраховані розміри плати є 165x77,5 мм. Закріплення друкованої плати було зроблено на чотири точки опори.

Конструкторсько-технологічний розрахунок був уточнений перевірочними розрахунками по постійному та змінному струму.

Було промодельовано електричні параметри операційного підсилювача, який використовується в складі тестера ємності акумулятора за допомогою системи схемотехнічного моделювання електронних схем ELECTRONICS WORKBENCH 5\_12. Операційний підсилювач є базовим для схеми.

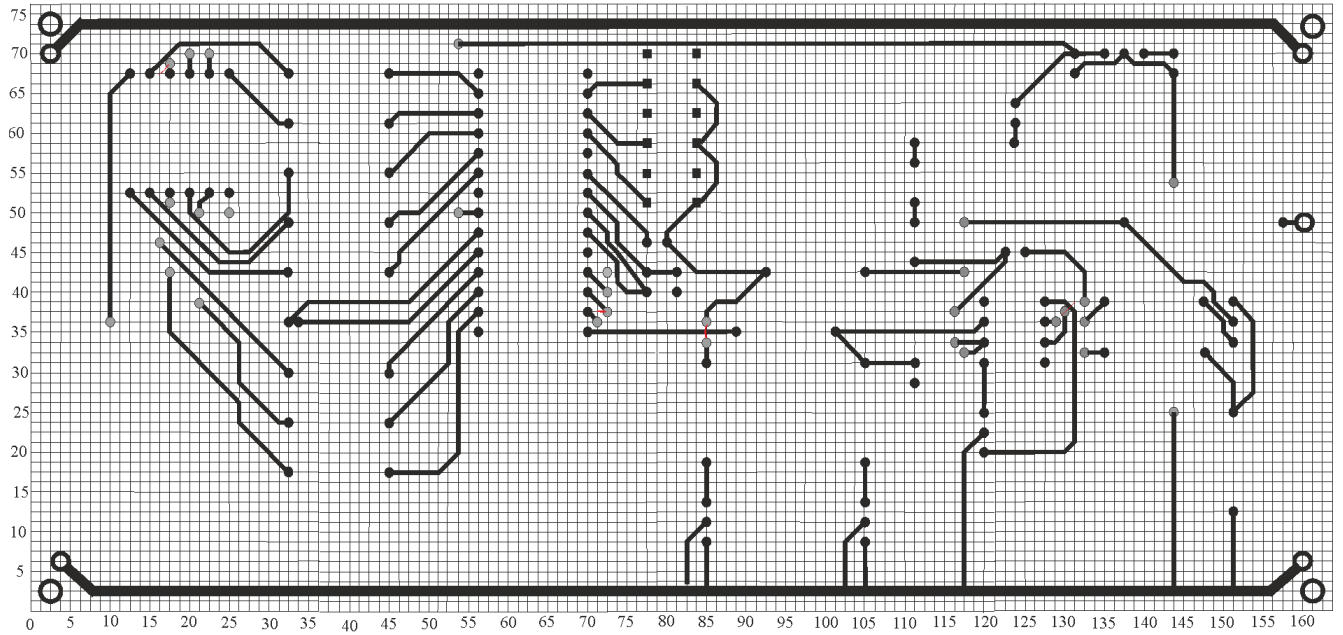
В результаті проведеної роботи був розроблений і промодельований тестер ємності акумулятора з необхідною надійністю.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

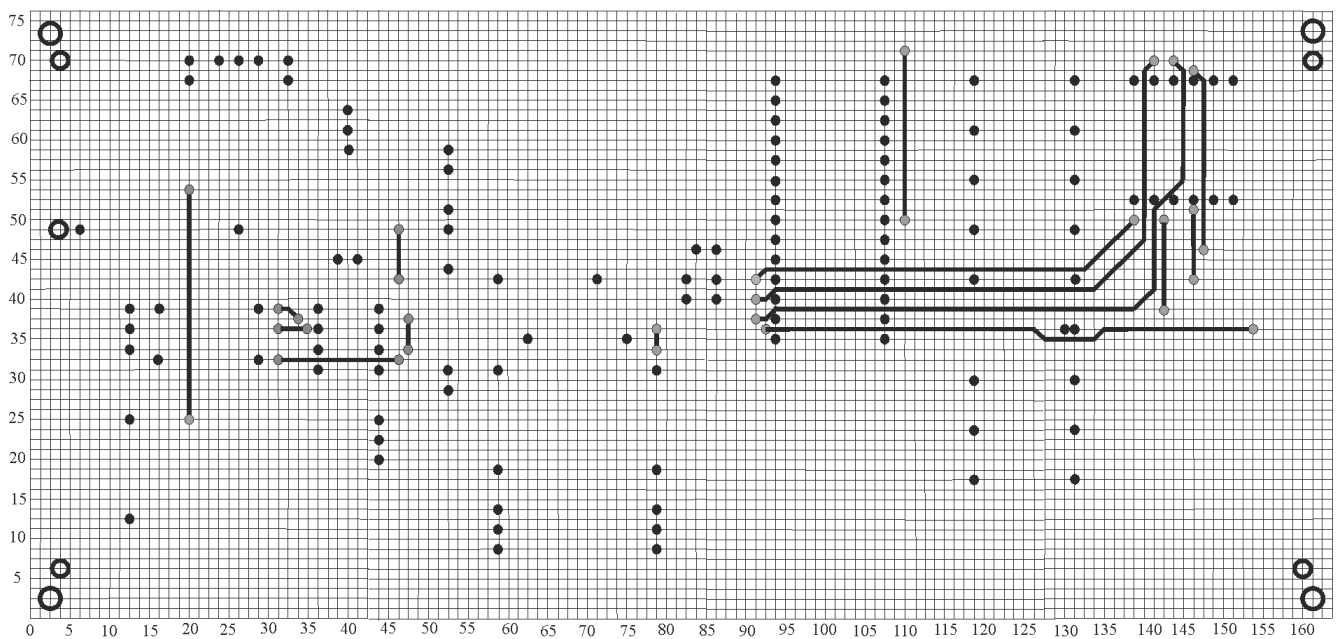
1. Фрумкин Г. Д. Расчет и конструирование радиоэлектронной аппаратуры. – М: Высшая школа, 1977 г.
2. Кириченко И. А., Тарасов С. П. Программа, методические указания и варианты заданий по курсовому проектированию по курсу “Теория, расчет и проектирование приборов и систем”. – Таганрог: ТРТУ, 1998 г.
3. <http://detalinadom.narod.ru/nabor/nabTDA2030.htm>
4. <http://schematic.by.ru/65/6502.htm>
5. <http://detalinadom.narod.ru/stats/UMZ200IV.htm>
6. Иванов Б. С. В помощь радиокружку – М: Радио и связь, 1990 г.
7. Назаров Н. Ф. В помощь радиолюбителю, выпуск 93. – М: «ДОСААФ», 1986 г.
8. Гуревич Б.М., Иваненко Н.С. Справочник по электронике для молодого рабочего: 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1987. – 272 с.: ил.
9. Н.А. Шишонок, В.Ф. Рєпкін, Л.Л. Барвінський. Основи теорії надійності та експлуатації радіоелектронної техніки. - Москва: «Радянське радіо», 1964. - 551 с.: Іл.
10. Резисторы, конденсаторы, трансформаторы, дросели, пристрої, що комутують, РЕА. Довідник Н.М. Акімов, Є.П. Ващуков, В.А. Кодоренах, Ю.П. Кодоренах - Мн.: Білорусь, 1994. - 591 с.: Іл.
11. Голенкевич Т. А. Прикладна теорія надійності. - М.: Вища школа, 1985. - 168 с.
12. Яншин А. А. Теоретичні основи конструювання, технології та надійності ЕВА. - М.: Радіо і зв'язок, 1983. - 312 с

## Додаток А.

## Трасування друкованої плати



## Дзеркальне відображення плати



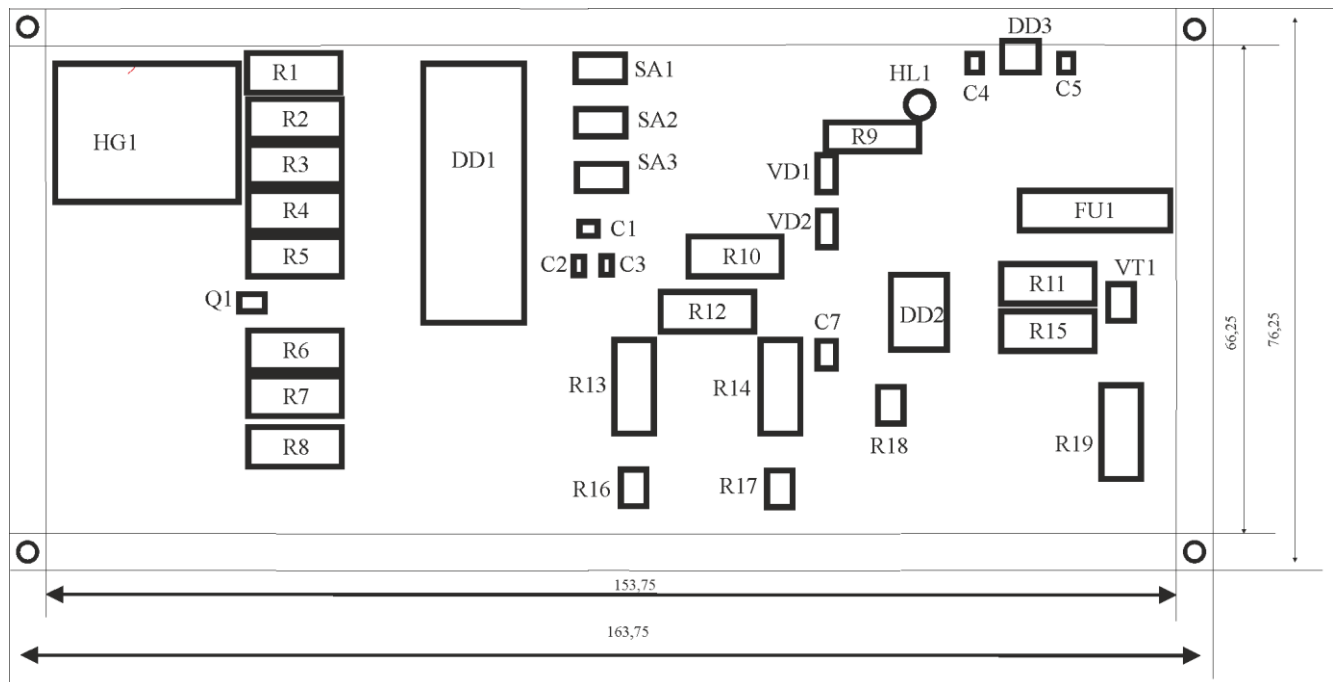
## Таблиця отворів

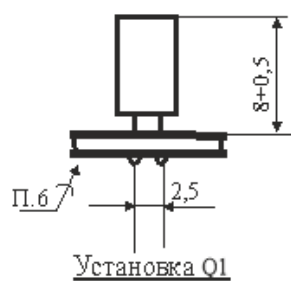
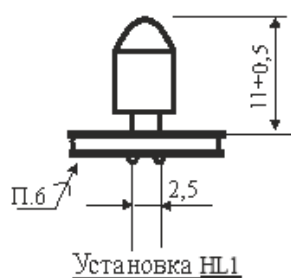
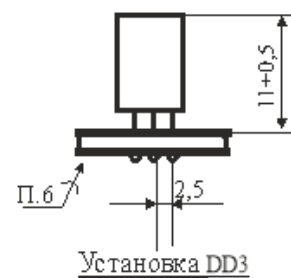
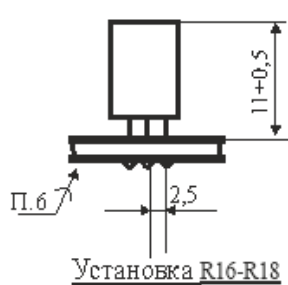
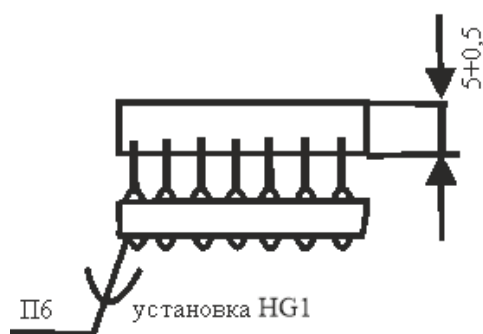
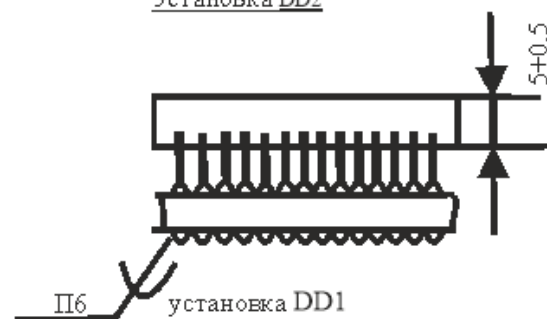
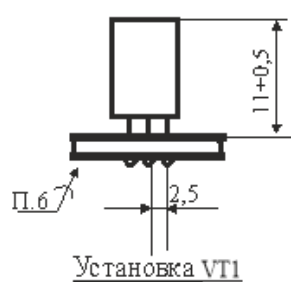
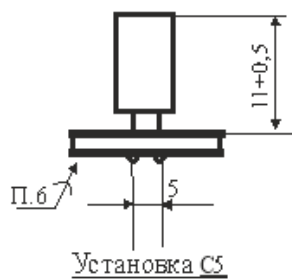
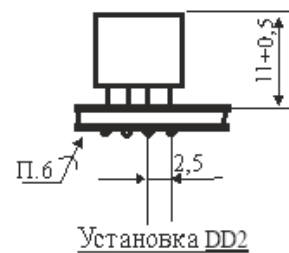
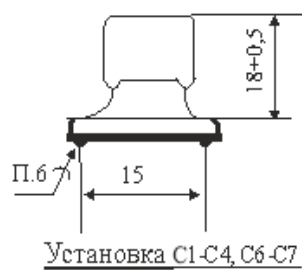
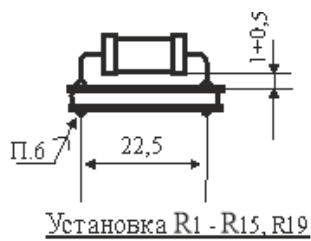
графіч. зображ.	діаметр КМ	діаметр отвору	наявність металу	призначення
•	1,5	1,3	так	монтажне
•	0,9	0,7	так	перехідне
○	2,4	2,0	так	монтажне
○	5,3	5	ні	кріплення

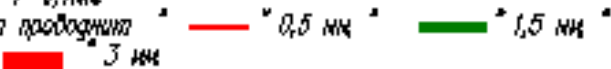

- → \*¶
- → 1. Розміри довідок¶
- → 2. Плату зробити комбінованим позитивним способом.¶
- → 3. Плата має відповідати ГОСТ-23752-86, група жорсткості-3.¶
- → 4. Клас точності-3 за ГОСТ-23751-86.¶
- → 5. Крок основної координатної сітки-1,25 мм. Лінії координатної сітки показано через 1,25 мм.¶
- → 6. Відстань між двома провідниками, контактними майданчиками, провідником та контактним майданчиком не менше 0,25 мм.¶
- → 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

## Складальне 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  $\pm 0,1$  мм
- 5 . Ширина проводника \*  \* 0,5 мм \* 1,5 мм \*  
 3 мм
- 6 . Форма и размеры контактных площадок определяются доминирующими техническими средствами и устанавливаются предприятием-изготовителем фотолитоэлемента. Размер контактной площадки определяется диаметром вписанной окружности и должен соответствовать ГОСТ 23751–88.
- 7 . Маркировку травлением выполнять шрифтом 2,5–Пр3 ГОСТ 26.020–80. Допускается шрифт, вытравленный на координатном столе с программным управлением. Расстояние от маркировки до края платы не менее 0,5 мм. Допускается касание маркировочных обозначений одного печатного элемента.
- 8 . Плату печатную покрыть глянцевым защитным резистом (гляцевой маской) в соответствии с технической инструкцией завода-изготовителя. Тип гляцевого защитного резиста устанавливает завод-изготовитель.
- 9 . Маркировать краской PLASTSTAR OE–025, белой фирмы "SERICOL". Шрифт 2,5–Пр3 ГОСТ 26.020–80.
- 10 . Клеить краской PLASTSTAR OE–025, белой фирмы "SERICOL".
- 11 . Допускается маркировать и клеить краской прозрачной для негитивающих поверхностей ТНПФ–84, белой ТНПФ–01, черной TV 29–02–869–88, УНП или краской PLASTSTAR OE–001, черной фирмы "SERICOL".
- 12 . Маркировочный слой вытравить краской ТНПФ–84, белой TV 29–02–869–88, УНП. Шрифт 2–Пр3 ГОСТ 26.020–80.
- 13 . Условные обозначения и размеры отверстий см. табл. лист . Наименование столбцов таблицы отверстий: Hole Dia(mm)–Диаметр отверстия(мм); SmtVol–Условное обозначение; Quantity–Количество Plated–Наличие металлизации (Yes–Есть/No–Нет).
- 14 . Допускается замена материала на стеклотекстолит СТНФ–2–35–1,5 ТНБ–503.161.–83.
- 15 . Плотность металлизации 85 мд/см
- 16 . Обработку печатной платы по контуру выполнять фрезерованием согласно
- 17 . Дополнительные технические требования по ОСТ 10.070.014.