

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 процесу заряджання NiCd і NiMH акумуляторів»

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

(шифр і назва спеціальності)

Мережко Ф.Д.

(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

Мережко Федору Дмитровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Дослідження процесу заряджання NiCd і NiMH акумуляторів»

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 пристрою для заряджання NiCd і NiMH акумуляторів

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 2023р.**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 Мережко Ф.Д.  
(підпис) (прізвище та ініціали)Керівник роботи Самойлова Ж.Г.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломного проекту містить:

79 сторінок , 29 рисунків, 15 таблиць, 12 джерел, мова - українська.

АКУМУЛЯТОР, ЄМНІСТЬ, ЕЛЕКТРОРАДІОЕЛЕМЕНТ, РЕЗИСТОР,  
КОНДЕНСАТОР, МІКРОСХЕМА, ПОЛЬОВИЙ ТРАНЗИСТОР,  
ТРАНЗИСТОР, ДРУКОВАНИЙ ПРОВІДНИК, МОНТАЖНИЙ ОТВІР,  
КОНТАКТНА ПЛОЩАДКА, КОНСТРУКЦІЯ, ТРАСУВАННЯ

Об'єкт розробки – дослідження процесу заряджання акумулятора, топологічне проектування і моделювання параметрів зарядного пристрою акумулятора.

Мета роботи - дослідити процес розробки зарядного пристрою акумулятора, спроектувати топологію плати зарядного пристрою акумулятора на основі схеми електричної принципової відповідно до вимог технічного завдання.

Метод дослідження - теоретичний із застосуванням комп'ютерної техніки.

У дипломній роботі досліджені процеси розробки зарядного пристрою акумулятора, розраховані показники безвідмовності та спроектована топологія плати зарядного пристрою акумулятора на основі схеми електричної принципової. Проведені конструктивні розрахунки, розрахунки по постійному та змінному струму. Проаналізовані та узагальнені отримані результати.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	6
ВСТУП.....	7
1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД АНАЛОГІВ ПРОЕКТОВАНОГО ПРИСТРОЮ.....	8
<b>1.1.</b> Зарядний пристрій-аналізатор NiMh/NiCd акумуляторів .....	8
<b>1.2.</b> Зарядний пристрій для чотирьох Ni-Cd або Ni-MH акумуляторів розміру AA та AAA.....	12
<b>1.3.</b> Зарядний пристрій для Ni-Cd та Ni-MH акумуляторів на мікроконтролері.....	13
<b>1.4.</b> Зарядний пристрій Ni-Cd і Ni-MH акумуляторів.....	17
2. АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ.....	22
2.1. Аналіз схеми електричної принципової.....	22
2.2. Вибір елементної бази.....	25
3. РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ПРИСТРОЮ.....	53
3.1. Вибір конструкції друкованої плати.....	53
3.2. Конструктивно-технологічний розрахунок друкарського монтажу.....	55
3.3. Визначення діаметрів контактних майданчиків.....	58
3.4. Розрахунок по постійному струму.....	62
3.5. Розрахунок по змінному струму.....	62
3.6. Розрахунок сумарної потужності споживаної елементами схеми.....	66
3.5. Розрахунок надійності елементів друкованої плати з обліком пайки.....	67
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ.....	72
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	73
Додаток А.....	74
Додаток В .....	77

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АЦП - аналого -цифровий перетворювач;

ЗП - зарядний пристрій;

ШМ - широтно-імпульсний модулятор;

ФНЧ - фільтра низьких частот;

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;

АЦП - аналого-цифрового перетворення.

## ВСТУП

У зв'язку з швидким розвитком портативних пристроїв сучасної побутової техніки, в даний час велике поширення набули Ni-Cd та Ni-NiMh акумуляторні батареї, термін служби яких залежить від правильної експлуатації. У зв'язку з цим виникає необхідність у пристрої, який має можливість вимірювати основні технічні характеристики акумуляторів, що експлуатуються, такі як ємність і внутрішній опір, а так само забезпечувати акумуляторам оптимальний режим заряду.

Без надійного пристрою для заряджання акумулятора під рукою, зарядка акумулятора неможлива. В результаті хороші зразки замінюються дуже рано, а слабкі залишаються в експлуатації, виходячи з ладу після заряджання. Відсутність пристрою для заряджання також призводить до непотрібних заміन ще гарантійних акумуляторів.

У даній дипломній роботі досліджувалася розробка пристрою для заряджання 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 зарядного пристрою 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

## 1.1. Зарядний пристрій-аналізатор NiMh/NiCd акумуляторів

За основу зарядного пристрою (далі ЗП) була взята схема, пристосована під зарядку двох однотипних Ni-Cd або Ni-Mg акумуляторів. Крім цього було додано тризначний світлодіодний індикатор. Схема зарядного пристрою наведено на рисунку 1.1.

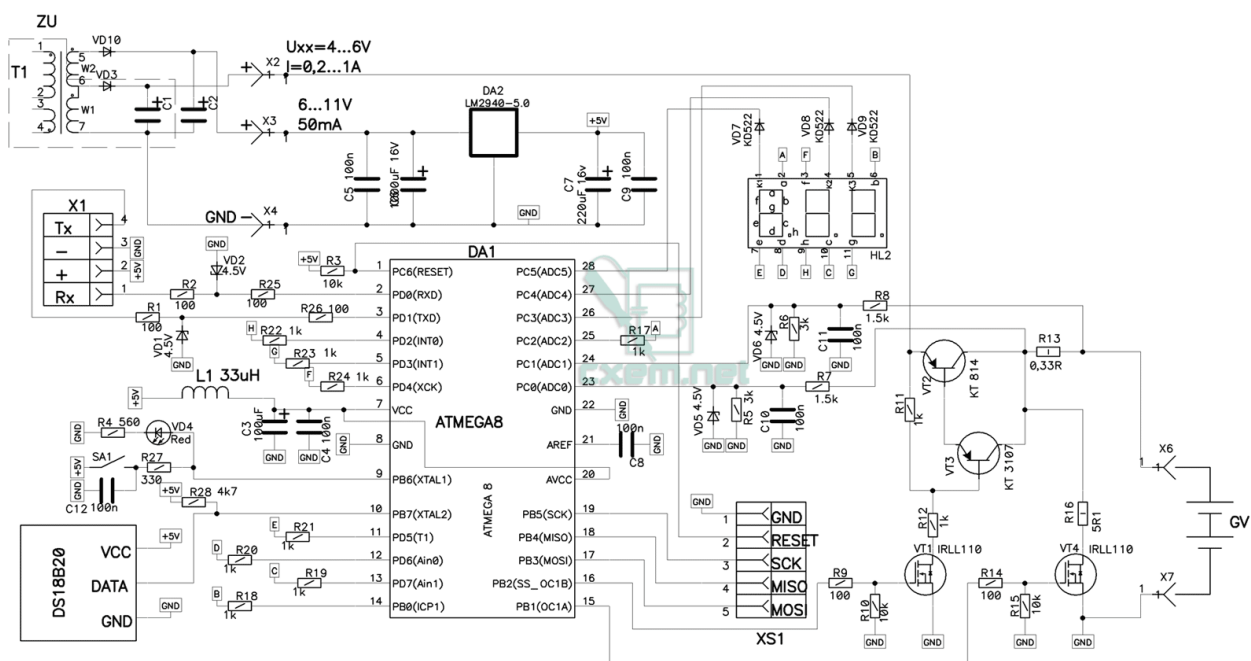


Рисунок 1.1. Схема зарядного пристрою для зарядання двох однотипних Ni-Cd або Ni-Mg акумуляторів.

Особливість схеми - постійне вимірювання струму в процесі заряду-розряду, що знизило вимогу до його стабільності та дозволило робити більш точний підрахунок ємності.

Для живлення пристрою потрібні два джерела живлення. Перший, підключений до X2-X4 повинен мати характеристику близьку до джерела струму,



з напругою холостого ходу близько 4.6В, і струмом, що відповідає бажаному струму заряду.

Другий, підключений до Х3-Х4, має бути джерелом напруги, з напругою 6...11В і струмом не менше 50мА для живлення безпосередньо схеми керування та індикації. Якщо напруга цього джерела буде не менше 8В, замість дорогого стабілізатора з малим падінням напруги LM2940-5 (DA2) можна використовувати поширений стабілізатор L7805 (КРЕН5А).

На початку заряду повністю розряджених нових акумуляторів напруга на контакті Х3 не опускалася нижче за 7В, при цьому струм заряду становив 640мА. Наприкінці заряду струм знижувався до 560мА. Це дозволило заряджати повністю розряджені акумулятори 2700мА/год за 5 годин. При необхідності збільшити струм заряду, слід застосувати більш потужний зворотногоходовий імпульсний блок живлення, перероблений аналогічним чином, або як джерело струму (Х2-Х4) застосувати окремий блок живлення (краще).

Схема керування побудована на поширеному мікроконтролері фірми Atmel - Atmega 8А. Контролер налаштований на внутрішній генератор із частотою 1МГц. Виводи PC0 та PC1 контролера налаштовані як вход аналого -цифрового перетворювача (АЦП). Резистори R8, R6 та R7, R5 утворюють ділянки для узгодження напруги на акумуляторах з внутрішнім опорним джерелом напруги АЦП контролера – 2,56В. Завдяки ділянкам, максимальна вимірювана напруга становила

$$2,56/3*(3+1,5)=3,84В.$$

Стабілітрони VD5,VD6 служать для обмеження напруги на входах лише на рівні 4,5В, конденсатори C11,C12 – для фільтрації вимірюваної напруги.

Завдяки виміру напруги до і після резистора R13, з'явилася можливість вимірювати струм заряду і знизилася вимога до стабільності струму заряду. При підрахунку ємності пристрій щосекунди вимірює струм заряду в мА і підсумовує його. На дисплеї відбивається значення суми, поділено на 3600, тобто спожита

(віддана) ємність у мА/год. Резистор R13 складається з трьох резисторів 1 Ом 0.25Вт, з'єднаних паралельно.

У пристрої HL2 застосований тризначний світлодіодний індикатор із загальним катодом КООНІ E30361LC8W. При перевірці виявилось, що навіть при струмі 2 мА на сегмент яскравість світіння була досить інтенсивною. Це дозволило обійтися без додаткових транзисторів, підключивши катода безпосередньо до портів контролера, так як сумарний струм не перевищував дозволених даташитом 40мА на порт. Як виявилось пізніше, без діодів VD7,8,9 індикатор також нормально працює. Можливе застосування будь-якого аналогічного індикатора. При недостатній інтенсивності світіння можливе зменшення резисторів, що гасять, до 560 Ом.

L1, C3, C4 служать додаткової фільтрації живлення контролера. Гніздо X1 призначене для підключення зарядного пристрою до комп'ютера. Деталі R1, R2, R25, R26, VD1, VD2 служать захисту контролера від неправильного підключення до зовнішнього пристрою (комп'ютера). Якщо таке з'єднання не планується, їх використання не обов'язково.

Кнопка SA1 служить для вибору режиму роботи ЗП під час увімкнення. Світлодіод VD4 служить для додаткової індикації при поточному режимі ЗП. Його наявність дозволяє користуватися ЗП без індикатора HL2 (якщо немає необхідності додаткової інформації про процес заряду). Порт PB6 використовується програмно і як вхід для опитування кнопки (коли світлодіод погашений) і як вихід – для індикації режиму роботи.

Датчик DS18B20 використовується для вимірювання температури акумуляторів. Його необхідно розташувати якомога ближче до акумуляторів. В авторському варіанті датчик був закріплений між акумуляторами безпосередньо у тримачі, напівсферою до акумуляторів. При його відсутності пристрій теж працює, але відповідно температура не відображається.

Елементи VT1, VT2, VT3, R11, R12, R9, R10 утворюють ключ зарядного струму. Як транзистор VT1 можливе застосування будь-якого малопотужного n-p-

n транзистора (наприклад, КТ315Б), при цьому необхідно збільшити резистор R9 до 4,7кОм. VT2 може бути будь-яким аналогічним коефіцієнтом передачі струму не менше 50.

VT4, R14, R15, R16 утворюють розрядний ключ. При включенні транзистора VT4 струм розряду акумулятора протікає через резистори R13, R16 і обмежується на рівні близько 410мА. Оскільки струм розряду протікає через резистор R13, можна вимірювати розрядний струм і підраховувати віддану акумулятором ємність, відпадає необхідність у розрядних джерелах струму. Як транзистор VT4 можливе застосування складеного n-p-n транзистора, наприклад КТ972, КТ827, при цьому необхідно збільшити опір R14 до 1,5кОм.

Роз'єм XS1 призначений для внутрішньосхемного програмування контролера.

При частковому використанні SMD елементів розмір плати становить 69x50мм. Світлодіодний індикатор був закріплений безпосередньо в корпусі ЗП термолієєм і з'єднувався з платою за допомогою проводів МГТФ. Зовнішній вигляд плати показаний на рисунку 1.2.

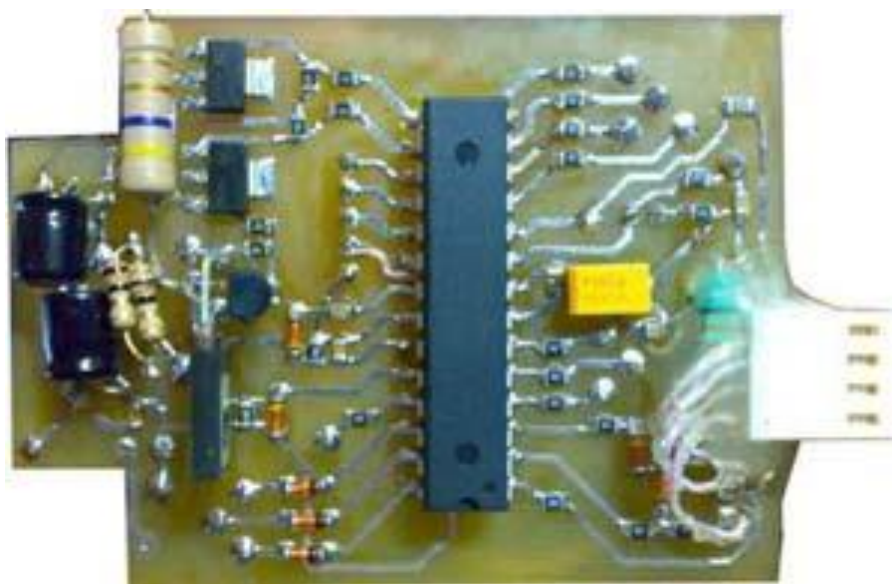


Рисунок 1.2. Зовнішній вигляд плати ЗП

## **1.2. Зарядний пристрій для чотирьох Ni-Cd або Ni-MH акумуляторів розміру AA та AAA.**

Схема зарядного пристрою наведена на рисунку 1.3.

Складається з чотирьох однакових вузлів керування струмами заряду та розряду, зі схемою вимірювання температури кожного акумулятора. Керує всією схемою мікропроцесор PIC16F876A. Виведення інформації здійснюється на індикатор. Для підвищення точності вимірів застосований зовнішній формувач опорної напруги +2,5В. Початковий варіант мав стабілізатори струму заряду на біполярних транзисторах КТ664А-9, як наслідок, необхідно забезпечити достатній струм бази, це вимагало жити пристрій від +4В і завищений струм від порту мікропроцесора. При цьому був значний розігрів, особливо із закритим корпусом. Тому довелося відмовитися від біполярних транзисторів, застосувати польові з р-каналом, перевести все на знижене живлення (реально в схемі +3,1В). Стабілізатори струму розряду на польових транзисторах з n-каналом типу IRLML2502, але можна застосувати інші з аналогічними параметрами. Застосоване схемне рішення забезпечує стійку роботу та збереження стабільності струмів, при досить широкому діапазоні робочих напруг.

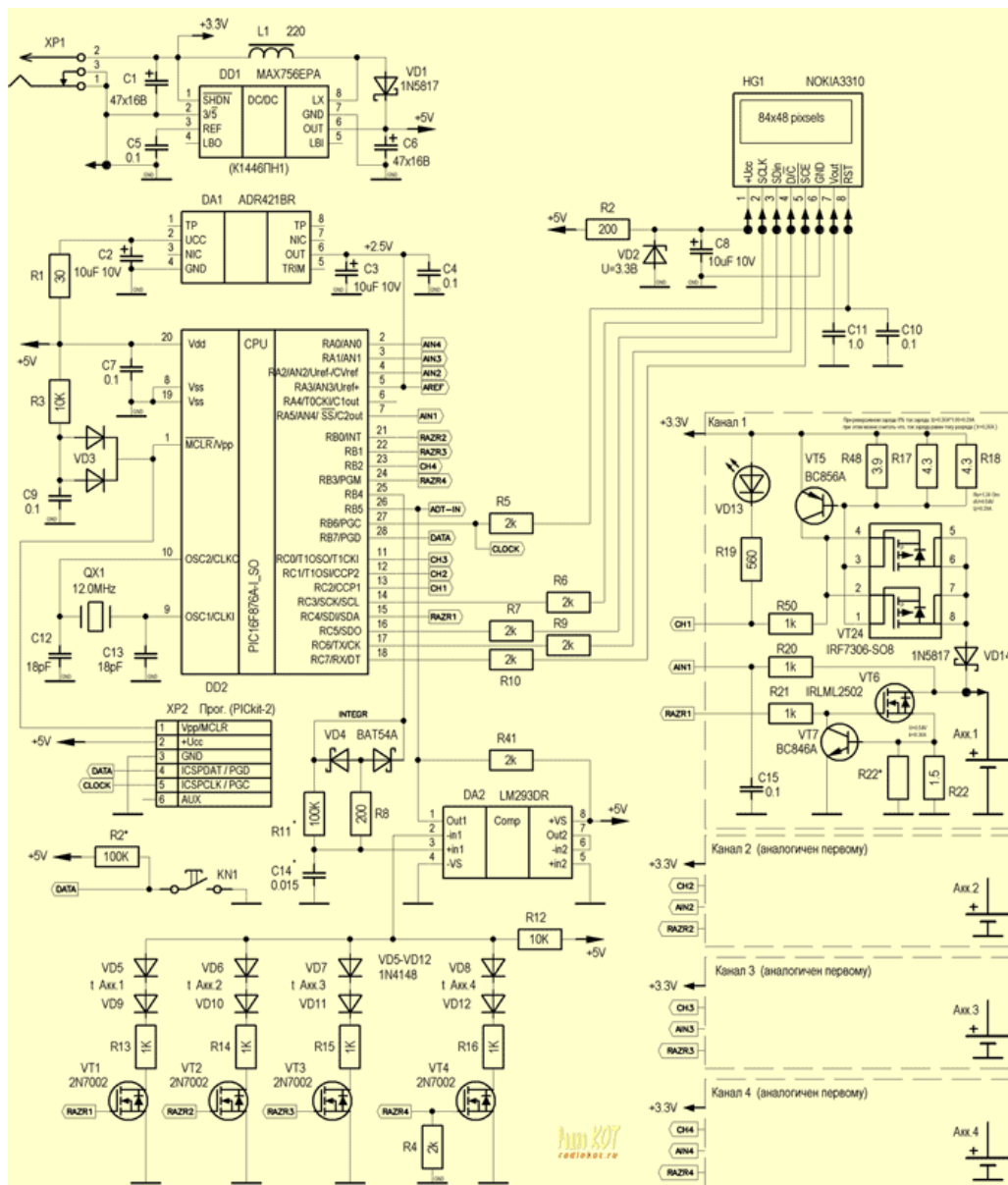


Рисунок 1.3. Схема зарядного пристрою

### 1.3. Зарядний пристрій для Ni-Cd та Ni-MH акумуляторів на мікроконтролері.

Опис принципової схеми контролера.

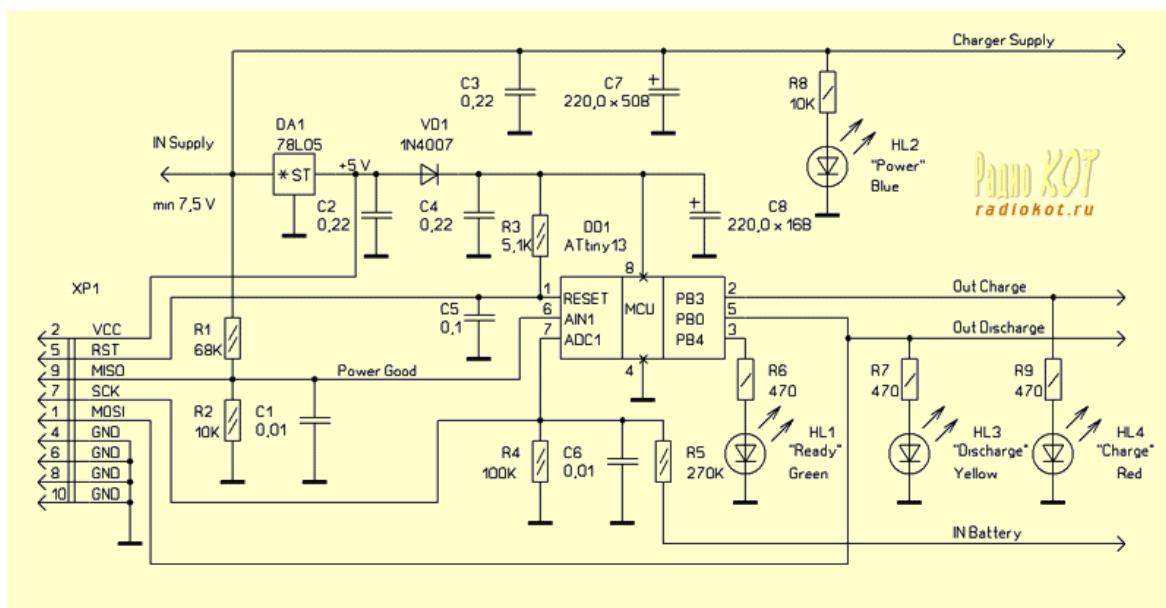


Рисунок 1.4. Схема ЗП

Для керування ЗП використовується мікроконтролер ATtiny13 сімейства AVR фірми Atmel. Вивід 6 контролера (AIN1) є входом аналогового компаратора, за допомогою якого контролюється стан джерела живлення. Вивід 7 (ADC1) – це вхід АЦП, за допомогою якого вимірюється напруга на батареї акумуляторів. Високий рівень виходу 2 (PB3) включає зарядний пристрій. Високий рівень виходу 5 (PB0) включає ланцюг розряду акумулятора. Вивід 3 (PB4) використовується для індикації закінчення заряду акумулятора.

Як тактовий генератор використовується внутрішній RC генератор мікроконтролера. Роз'єм XP1 призначений для внутрішньосхемного програмування мікроконтролера у цьому пристрої. Якщо надалі перепрограмування не планується, цей роз'єм можна не встановлювати.

Поріг спрацьовування аналогового компаратора задається дільником напруги на резисторах R1, R2. Напруга живлення вважається нормальною, якщо напруга на вході 6 мікроконтролера більше 1,2 вольта.

Напруга батареї подається на вхід АЦП мікроконтролера через дільник напруги на резисторах R4, R5. Щоб напруга на батареї вимірювалася правильно, коефіцієнт поділу цього дільника має бути 1,86 елемент. Співвідношення резисторів повинно бути таким:

$$R5/R4 = 1,86 \times N - 1, \quad (1.1.)$$

де  $N$  - кількість елементів акумуляторної батареї. Наприклад, для двох елементів:

$$R5/R4 = 1,86 \times 2 - 1 = 2,72.$$

Якщо  $R4 = 100 \text{ КОМ}$ , то  $R5 = 100 \times 2,72 = 272 \text{ КОМ}$ .

При аварійному відключенні живлення мікроконтролер деякий час живиться від конденсатора  $C8$ . Місткість цього конденсатора повинна бути достатньою для того, щоб мікроконтролер встиг зберегти свій стан в незалежній пам'яті. Діод  $VD1$  не дає конденсатору  $C8$  розряджатися через мікросхему  $DA1$ .

Конденсатори  $C1$ ,  $C5$ ,  $C6$  захищають входи мікроконтролера від імпульсних перешкод.

Алгоритм роботи.

Алгоритм роботи наступний. Після подачі живлення на мікроконтролер відбувається часткова ініціалізація внутрішніх пристроїв мікроконтролера (порт вводу/виводу, таймер, АЦП, компаратор і т.п.). Потім перевіряється, чи в нормі напруга живлення. Якщо напруга в нормі, то завершується ініціалізація та зчитується значення статусу з енергонезалежної пам'яті (EEPROM), щоб дізнатися, чим займався контролер у минулому житті до вимкнення живлення.

Далі перевіряється, чи акумуляторна батарея встановлена в зарядний пристрій. Для цього вимірюється напруга акумуляторної батареї. Якщо воно більше, ніж 0,5 вольт на елемент, то вважається, що встановлена батарея.

Якщо в момент увімкнення живлення батарея знаходилася в зарядному пристрої, то робота продовжиться відповідно до того стану, який було записано в енергонезалежну пам'ять. Якщо раніше йшов розряд, то продовжиться розряд, а потім розпочнеться заряд. Якщо заряд йшов, то продовжиться заряд, поки не пройде 15 годин, після чого зарядний пристрій буде вимкнений. Якщо на момент

відключення живлення заряд встиг завершитися, то зарядний пристрій не вмикається, а світитиметься зелений світлодіод, що сигналізує про закінчення заряджання.

Якщо ж у момент увімкнення живлення батарея не була встановлена, то вважається, що буде розпочато новий цикл розряд/заряд. Програма зациклюється та чекає, коли буде встановлена батарея. Як тільки батарея буде встановлена, буде увімкнено ланцюг розряду акумулятора. При цьому починає світитись жовтий світлодіод. Розряд буде продовжуватися доти, доки напруга на акумуляторі не зменшиться до 1 вольта на елемент. Після цього розрядний ланцюг відключається і вмикається зарядний пристрій. Жовтий світлодіод гасне і починає світитись червоний. Зелений світлодіод починає спалахувати із частотою 1 Гц. За тривалістю свічення зеленого світлодіода та паузі між спалахами можна приблизно оцінити час, який минув з початку заряджання, і, відповідно, заряд, який встиг набрати акумулятор. Чим більше час світіння стосовно паузи, тим більше часу минуло. Наприклад, якщо час, протягом якого зелений світлодіод світиться, дорівнює часу, протягом якого зелений світлодіод погашений, то, значить, минуло 7,5 години, і акумулятор зарядився наполовину.

Якщо під час заряду акумулятори були вилучені із зарядного пристрою до закінчення процесу заряду, то через працюючий зарядний пристрій напруга на контактах тримача різко зросте. За цією ознакою мікроконтролер дізнається, що акумулятори були вилучені, та вмикає режим заряду. Після встановлення акумуляторів у тримач буде розпочато новий цикл розряду/заряду.

Заряд триває протягом 15 годин. Після 15 годин зарядний пристрій вмикається, червоний світлодіод гасне, а зелений починає безперервно світитися, що означає закінчення циклу заряду. У цьому стані контролер залишатиметься необмежено довго, доки акумулятор не буде вилучений із зарядного пристрою.

Якщо протягом циклу розряд/заряд, на будь-якому з етапів, відбудеться відключення електроенергії, цикл припиняється, і стан контролера зберігається в енергонезалежній пам'яті. Після відновлення подачі електроенергії цикл



продовжується далі з того етапу, на якому було зупинено. За станом напруги живлення стежить аналоговий компаратор - вхід 6 мікроконтролера. Якщо напруга на вході аналогового компаратора стає менше 1,1 вольт, відбувається переривання виконуваної програми, виходи контролера переключаються на низький рівень, стан контролера записується в незалежну пам'ять, і контролер перетворюється на сплячий режим.

Керуюча програма написана мовою C++ для середовища розробки CodeVisionAVR.

#### **1.4. Зарядний пристрій Ni-Cd і Ni-MH акумуляторів.**

Зарядний пристрій було виготовлено на основі мікросхеми MAX713:

- заряджає Нікель-Кадмієві та Нікель-МеталоГідридні акумулятори в кількості від 1 до 16 штук одночасно;
- у режимі швидкого заряду регулює струм заряду від  $C/3$  до  $4C$ , де  $C$  – ємність акумулятора;
- в режимі повільного заряду акумулятори доводить до кондиції струмом  $C/16$ ;
- відстежує стан акумулятора та автоматично переходить від швидкого заряду до повільного;
- у відсутності зарядного струму через мікросхему "витікає" всього  $5\mu A$  від акумуляторів;
- можливе відключення заряду за температурними датчиками або таймером.

На рисунку 1.5. показано схему зарядного пристрою.

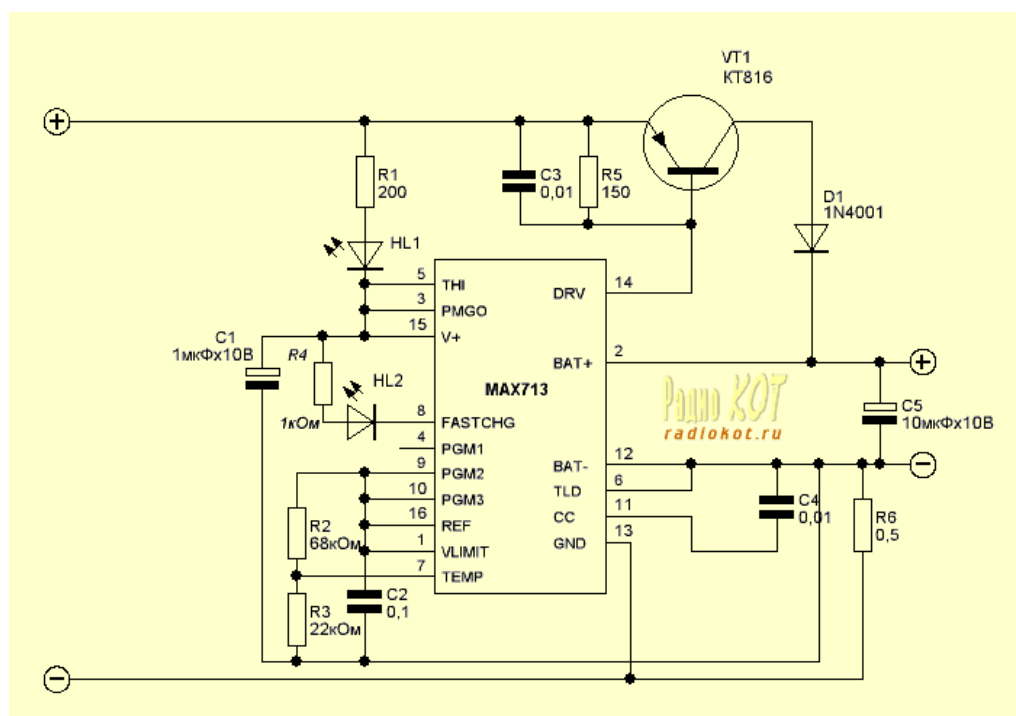


Рисунок 1.5. Схема зарядного пристрою

Заряджати акумулятори рекомендується струмом  $0,1C$  де  $C$  - ємність акумулятора. Однак виробники навчилися робити досконаліші акумулятори, що дозволяють швидко їх заряджати (Fast Charge).

Можна заряджати акумулятори набагато більшим струмом - головне не перевищувати значення  $4C$ , інакше акумулятор може вийти з ладу.

Зрозуміло, чим більший зарядний струм використовується в процесі заряджання, тим менше часу потрібно на цю зарядку. Тому, в MAX713 реалізований не тільки швидкий, а й повільний заряд (Trickle Charge), який включається після досягнення акумулятором повного заряду великим зарядним струмом.

Схема, показана на рисунку 1.5. дозволяє заряджати два акумулятори, ємністю по  $1000\text{mA}/\text{год}$  кожен, струмом  $C/2$ , тобто  $500\text{mA}$ .

Є індикація живлення - HL1 і індикація швидкого заряду - HL2.

Акумулятори включаються послідовно.

Вхідна напруга повинна дорівнювати 6 вольтам.

Мікросхема MAX713 дозволяє заряджати до 16 акумуляторів струмом до 4С. Для цього необхідно визначитися із зарядним струмом акумуляторів. Необхідно дізнатись, який максимальний зарядний струм рекомендує виробник. Можна порадити не перевищувати величину струму  $C/2$ .

Для перетворення схеми необхідно вирішити, скільки акумуляторів потрібно заряджати одночасно. Після цього згідно таблиці 1.1. визначити, куди припаювати виводи PGM0 та PGM1. Зрозуміло, щоб не перепаювати щоразу мікросхему, потрібно передбачити перемикач, якщо потрібно заряджати різну кількість акумуляторів.

Далі необхідно підібрати вхідну напругу на зарядний пристрій. Вона може бути розрахована за формулою:

$$U=2+(1,9 \times N), \quad (1.3.)$$

де N – кількість акумуляторів.

Але це напруга може бути менше 6 вольт. Тобто, якщо необхідно заряджати навіть один акумулятор – вхідна напруга має становити 6 вольт.

Визначити потужність вихідного транзистора, після чого за довідником підібрати відповідний. Потужність визначається так:

$$P=(U_{in} - U_{batt}) * I_{charge}, \quad (1.4.)$$

де:

$U_{in}$  - максимальна вхідна напруга,

$U_{batt}$  - напруга акумуляторів, що заряджаються - сумарна, зрозуміло,

$I_{charge}$  – зарядний струм.

Порахувати опір R1.

$$R1=(V_{in}-5)/5 \quad (1.5.)$$

- опір виходить у кіломах.

Визначити опір R5.

$$R5=0.25/I_{charge} \quad (1.6.)$$

Якщо  $I_{charge}$  підставляється в амперах, опір ми отримаємо в Омах, якщо в міліамперах, то в кілоомах.

Вибираємо час заряджання. Це потрібно для того, щоб у разі несправного акумулятора, зарядний пристрій заряджало його нескінченну кількість годин, а відключило за таймером, навіть якщо акумулятор і не зарядився. Для вибору часу заряду необхідно скористатися таблицею 1.2. І необхідно прикрутити виводи PGM2 та PGM3 згідно з цією таблицею. Зрозуміло, потрібно врахувати при цьому зарядний струм, який був вибраний, а то може статися так, що пристрій вимкнеться раніше, ніж зарядиться акумулятор.

Таблиця 1.1. Завдання кількості акумуляторів, що заряджаються.

Кількість акумуляторів	Поєднати PGM 1 з...	Поєднати PGM 0 з...
1	V +	V+
2	Не приєднувати	V+
3	REF	V+
4	BATT-	V+
5	V+	Не приєднувати
6	Не приєднувати	Не приєднувати

7	REF	Не приєднувати
8	BATT -	Не приєднувати
9	V+	REF
10	Не приєднувати	REF
11	REF	REF
12	BATT-	REF
13	V+	BATT-
14	Не приєднувати	BATT -
15	REF	BATT-
16	BATT-	BATT-

Таблиця 1.2. Визначення максимального часу заряду.

Час заряду (хв)	Вимкнення падіння напруги	Поєднати PGM 3 з...	Поєднати PGM 2 з...
22	Вимкнено	V +	Не приєднувати
22	Увімкнено	V +	REF
33	Вимкнено	V +	V+
33	Увімкнено	V +	BATT-

45	Вимкнено	Не приєднувати	Не приєднувати
45	Увімкнено	Не приєднувати	REF
66	Вимкнено	Не приєднувати	V+
66	Увімкнено	Не приєднувати	BATT-
90	Вимкнено	REF	Не приєднувати
90	Увімкнено	REF	REF
132	Вимкнено	REF	V+
132	Увімкнено	REF	BATT-
180	Вимкнено	BATT -	Не приєднувати
180	Увімкнено	BATT-	REF
264	Вимкнено	BATT -	V+
264	Увімкнено	BATT -	BATT-

## 2.АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

### 2.1. Аналіз схеми електричної принципової

Зарядний пристрій, що пропонується, дозволяє прискорити процес зарядки досить поширених NiMH акумуляторів.

Конструкція зарядного пристрою базується на мікросхемі MAX712 виробництва Maxim. MAX712 працює в режимі комутації і може забезпечити максимальний струм швидкої зарядки, який можна розрахувати за формулою:

$$I = 250 \text{ мВ} / R1 \text{ (Ом)} \quad (2.1.)$$

Тобто якщо встановити опір резистора R1 рівним 0,25 Ом, ми отримаємо струм близько 1 А. У цьому випадку NiMH акумулятор ємністю 3000 мА×год буде заряджений приблизно за три години.

Мікросхема Maxim – інтелектуальний пристрій, який включає АЦП (аналого-цифровий перетворювач), систему виявлення завершення заряду, таймер і модуль контролю температури.

Особливості MAX712:

- Швидкий режим заряджання NiMH або NiCd акумуляторів;
- Зупинка заряджання за температури, таймера швидкого заряду та падіння напруги;
- Можливість заряду до 16 з'єднаних акумуляторів;
- Швидкий заряд від C/4 до 4C;
- Повільний заряд C/16;
- Автоматичне перемикання між повільним та швидким зарядом;
- Імпульсний або лінійний режим контролю джерела живлення;
- Струм споживання в режимі простою 5 мкА (max).

Мікросхема MAX712 має чотири контакти, що дозволяють встановлювати параметри на свій розсуд. Ці контакти використовуються для встановлення параметрів кількості заряджуваних осередків, максимального періоду заряджання, а також методу визначення того, коли вважати акумулятор зарядженим. Ви можете звернутися до даних, щоб дізнатися більше.

Максимальна напруга джерела живлення становить 15 В. Напруга джерела живлення повинна бути як мінімум на 2 В вище за максимальну напругу зарядки, щоб компенсувати коливання напруги під час зарядки.

Отже, при максимальній зарядній напрузі 1,6 на комірку, напруги джерела живлення 15 В достатньо для зарядки 8 послідовно з'єднаних батарей. Рівень напруги 12 В (наприклад, автомобільного акумулятора) буде достатнім для зарядки шести осередків.

Блок живлення має бути здатний видавати струм не менше ніж 1 А. Важливо бути впевненим у його технічних характеристиках. Якщо ці вимоги не виконуються, то інтегральна схема MAX712 не працюватиме правильно і може невірно визначити момент завершення швидкої зарядки, що спричиняє ризик пошкодження акумуляторів.

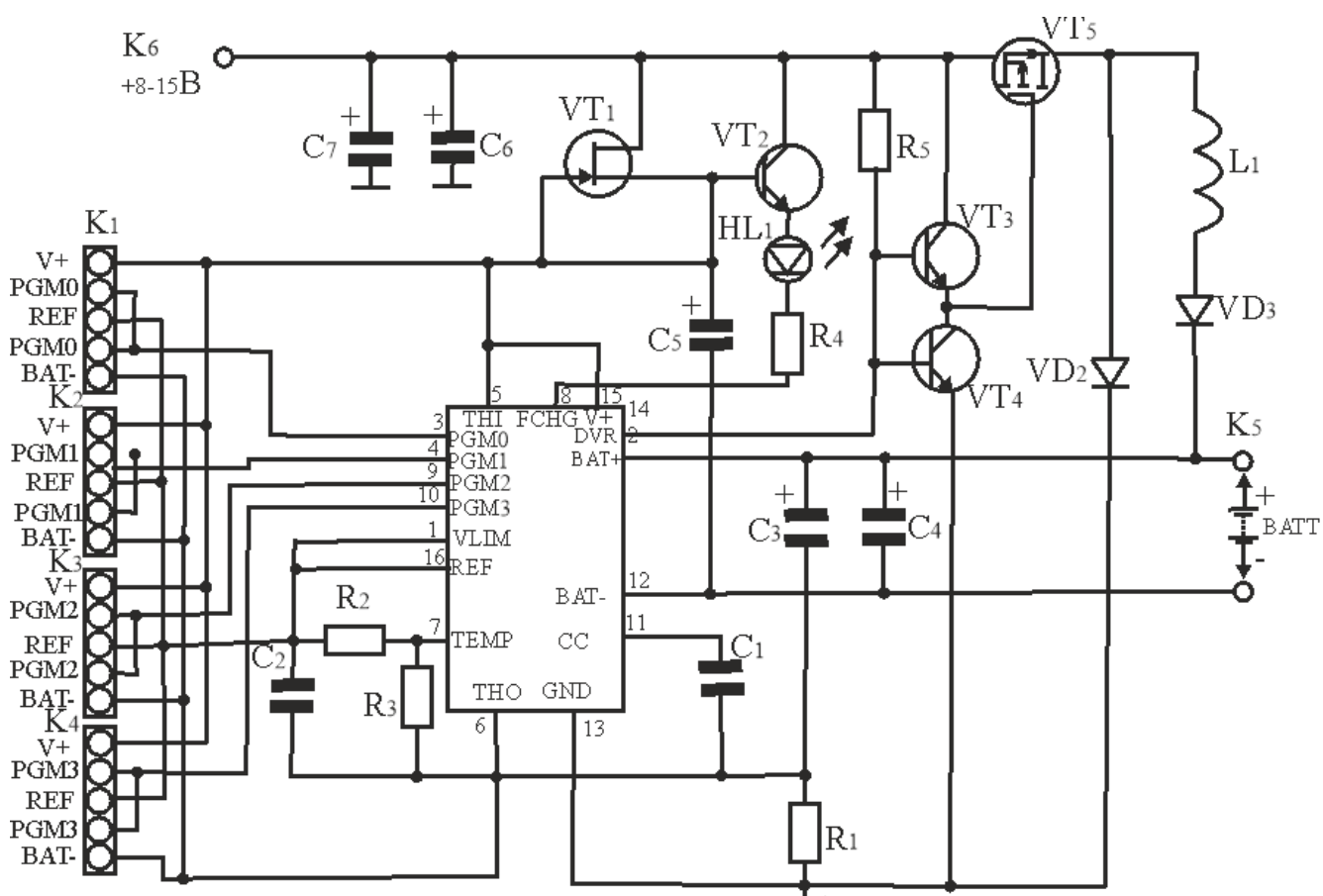


Рисунок 2.1. Електрична принципова схема зарядного пристрою.

Розглянемо принципову електричну схему. Транзистор VT1 використовується як джерело струму 8 мА, необхідного для живлення MAX712.



Діод VD3 гарантує, що акумулятор не розрядиться в ланцюг, якщо на зарядний пристрій не подано живлення. Світлодіод HL1 спалахує, коли схема знаходиться в режимі швидкого заряджання.

При необхідності силовий транзистор VT5 можна встановити на радіатор. Характеристики котушки L1 не критичні. Традиційний дросель 100 мкГн/5 А працюватиме нормально. Те саме справедливо і для діодів VD2, VD3 і транзистора VT5, їх параметри не є критичними в цьому пристрої. Можна використовувати будь-який діод Шоттки, який може витримувати струм 3 А та використовувати будь-який MOSFET-транзистор з нижчим опором стоку.

Для цієї схеми зарядного пристрою було розроблено компактно друковану плату. Монтаж компонентів простий, але має дві перемички на платі.

Рознімання K1-K4 дозволяють налаштувати різні параметри заряджання. Принцип розрахунку такий самий як і для зарядного пристрою NiCd на MAX713.

## 2.2. Вибір елементної бази

### Мікросхема MAX712

Таблиця 2.1. Технічні параметри

Тип	Контролер заряду акумулятора
Робота з елементами живлення	nicd, nimh
Кількість осередків	1...16
Напруга живлення, В	4.5...5.5
Робоча температура, °C	0...+70(TA)

Корпус	DIP-16(0.300 inch)
Вага, г	2.1

16-pin plastic DIP  
(DIP-16P-M03)

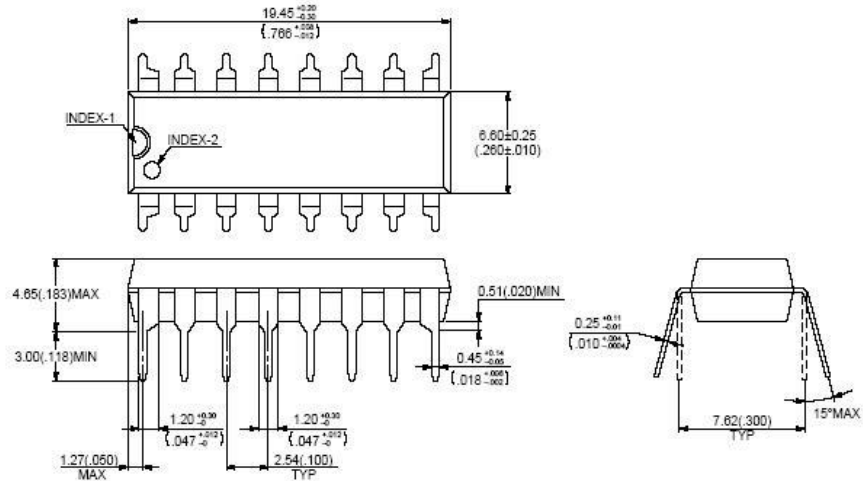


Рисунок 2.2. Мікросхема MAX712

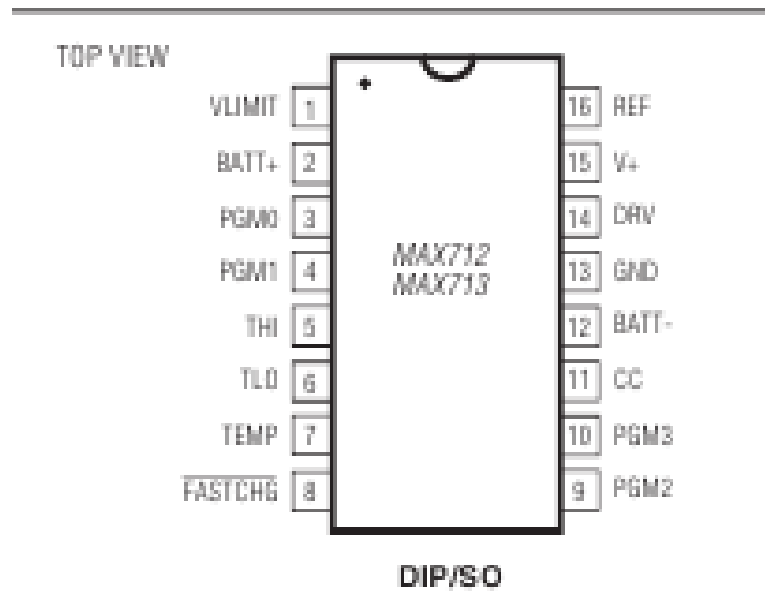


Рисунок 2.3. Розпинування мікросхеми MAX712

## Алгоритм роботи контролера

Вбудований стабілізатор зарядного струму. Причому можна вивести його в нестійкий режим, тоді він працюватиме як широтно-імпульсний модулятор (ШІМ)-регулятор.

- Вбудований дільник напруги. Тут кількість елементів в батареї задається так само, як і тайм - подачею відповідної кодової комбінації на виводи PGM.
- Вбудований стабілізатор живлення контролера.
- Таймер та стеження за температурою можуть працювати одночасно.

Умова завершення заряду по  $dv/dt$  — припинення наростання напруги на акумуляторі, а не його зниження (тобто MAX712 відключає при  $dv/dt=0V$ ).

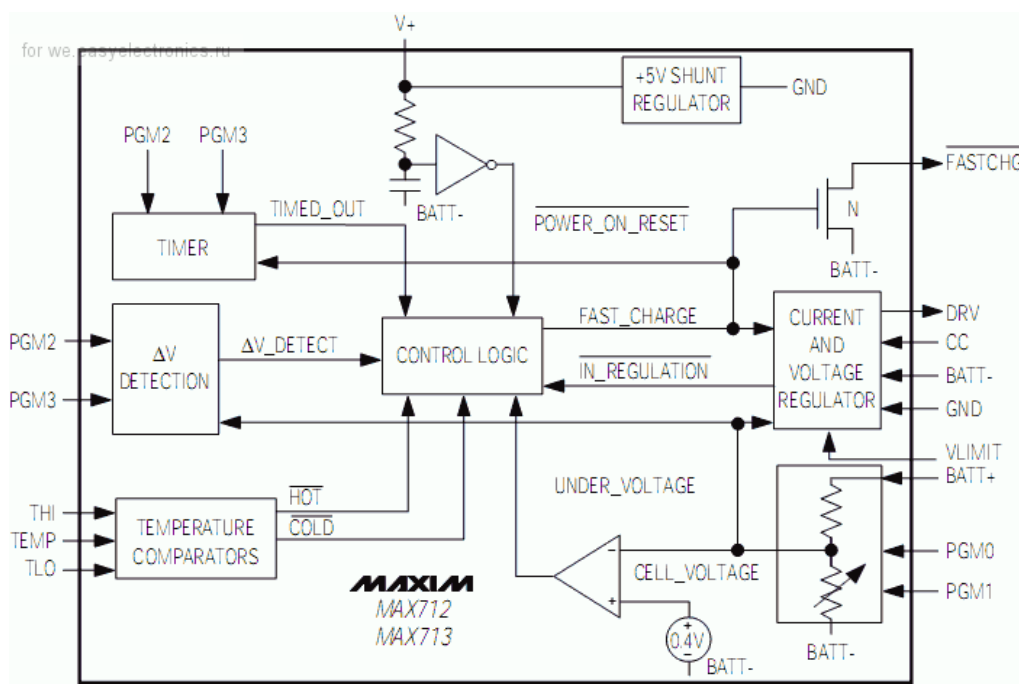


Рисунок 2.4. Схема заміщення мікросхеми MAX712

На схемі присутні:

- Програмований дільник напруги. Керується через виводи PGM0 і PGM1, станом яких можна задати кількість елементів батареї від 1 до 16.

- Таймер, керований виводами PGM2 та PGM3. Ними можна встановити максимальний час заряду, а також вимкнути стеження за  $dv/dt$ .
- Температурний компаратор. Виводи ні з чим не мультиплексовані.
- Паралельний стабілізатор на 5В. Забезпечує мікросхему стабільним живленням.
- Єдиний інформаційний вихід – nFASTCHG. Придушений до землі, коли йде швидка зарядка.
- Стабілізатор зарядного струму.

### Стабілізатор живлення

Стабілізатор живлення в MAX712 – паралельний. Тому живити її потрібно через резистор. Резистор повинен забезпечувати струм щонайменше 5 мА (приблизно стільки споживає мікросхема), але не більше 100 мА (це максимум, здатний прийняти стабілізатор). Вхідний струм невеликий - найкраще вибрати його в районі 8-10 мА і подавати через послідовно включені резистор та світлодіод, що індикує наявність живлення. У цьому випадку джерело живлення має забезпечувати достатню напругу від 8-9В. Не менше ніж 5В. Запас в 3-5 мА необхідний для живлення індикатора заряду.

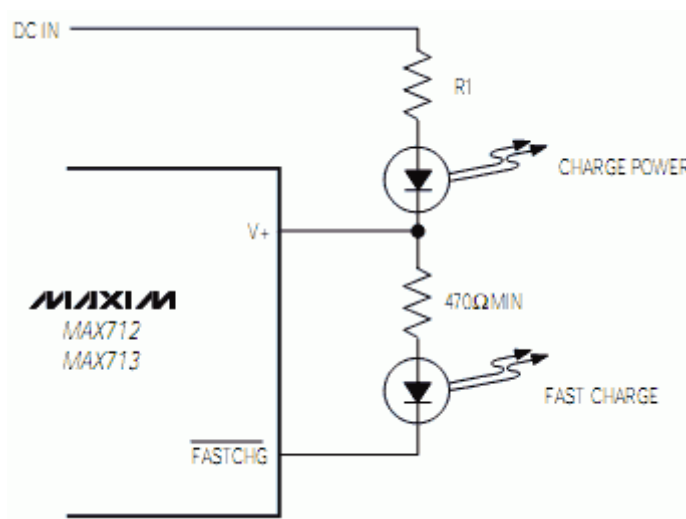


Рисунок 2.5. Схема стабілізатора живлення в мікросхемі MAX712

Опір резистора у цій схемі розраховується за такими формулами:

$$R1 = (V_{\text{MIN}} - V_{\text{LED}} - 5\text{В}) / 8\text{мА} \quad (2.2.)$$

$$R1 > (V_{\text{MAX}} - V_{\text{LED}} - 5\text{В}) / 20\text{мА} \dots \dots \dots (2.3.)$$

Якщо не вдасться задовольнити другу умову - можна перенести індикатор живлення в інше місце (скажімо, живити його через резистор від стабілізованих 5В) і збільшити струм з 20 до 100 мА. Також, якщо індикатор живлення живиться від живлення контролера, доведеться збільшити мінімальний струм. Крім того, опір в 470 Ом для другого резистора обмаль. Слід збільшити або його або мінімальний струм через R1.

Крім того, мінімальна напруга живлення девайсу в цілому визначається кількістю батарей, що заряджаються, за формулою:

$$V_{\text{MIN}} = N \times 1.9\text{В} + V_0, \quad (3.4.)$$

де N – кількість елементів у батареї, а  $V_0$  – падіння напруги на регулювальному елементі. Воно становить 1.5В для лінійного режиму та 2В для імпульсного. Якщо напруга на виході джерела живлення пульсує (наприклад, звичайний мережевий адаптер з трансформатором і містком) —  $V_{\text{MIN}}$  має бути нижчим за рівень пульсацій.

Також варто зазначити, що при живленні більше 20В слід вживати спеціальних заходів.

### Стабілізатор зарядного струму

Цей блок забезпечує режим заряджання акумуляторів. Він може бути в одному з трьох режимів:

- Стабілізація вихідної напруги. Цей режим включається за відсутності на виході батареї та обмежує вихідну напругу на рівні  $N \times V_{LIMIT}$ .  $V_{LIMIT}$  задається напругою на однойменному виводі, зазвичай він підключається до вбудованого джерела опорної напруги на 2В (вивод  $V_{REF}$ ). Також у цей режим зарядний пристрій може перейти під час заряджання несправної батареї, якщо напруга на ній під час заряду перевищить  $N \times V_{LIMIT}$ .

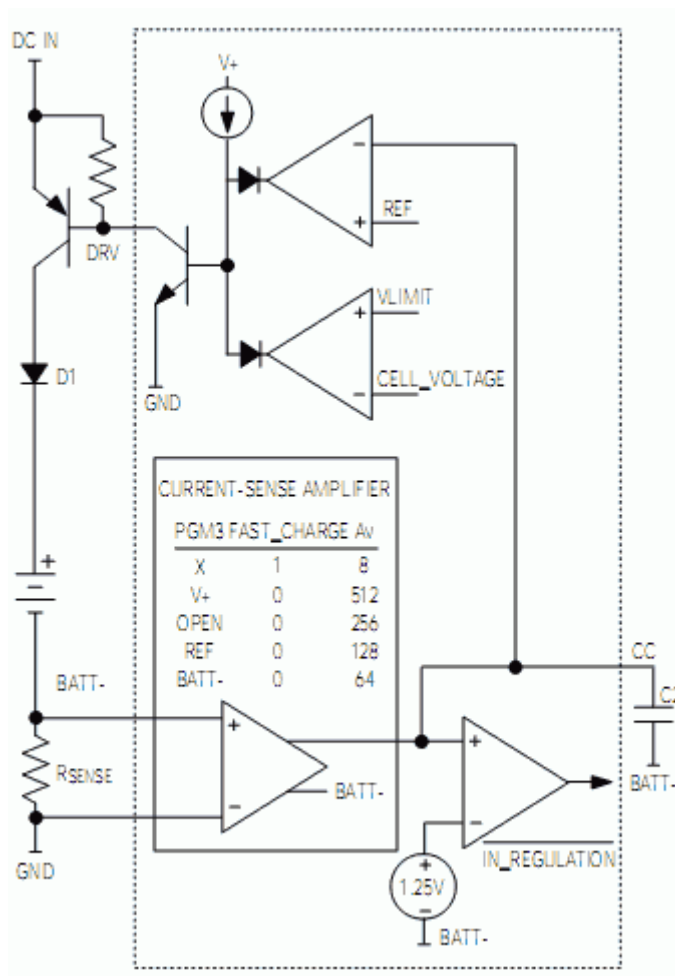


Рисунок 2.6. Схема стабілізатора зарядного струму

- Стабілізація вихідного струму в режимі швидкого заряджання. Це основний режим заряду акумулятора. Струм визначається опором шунту  $R_{SENSE}$  за формулою  $R_{SENSE} = 0.25V/I_{FAST}$ .
- Стабілізація вихідного струму в режимі крапельного заряду. Він, залежно від вибраного максимального часу заряду, становить від 1/8 до 1/64 струму швидкого

заряду. Загалом, якщо вибрати час адекватно,  $I_{TRICKLE}$  виявляється у діапазоні  $C/10..C/20$ .

Крім того, сам стабілізатор може працювати в одному з двох режимів – імпульсному чи лінійному. Це визначається ємністю конденсатора корекції  $C2$ . Лінійний режим дуже простий і неодноразово описаний. Але - в ньому на регульовальному транзисторі розсіюється досить велика потужність, крім того, вивод  $DRV$  мікросхеми теж працює в лінійному режимі і на ньому теж розсіюється деяка потужність (яка, в сумі з потужністю, що розсіюється стабілізатором живлення мікросхеми, не повинна перевищувати 0.6-0.8Вт залежно від корпусу).

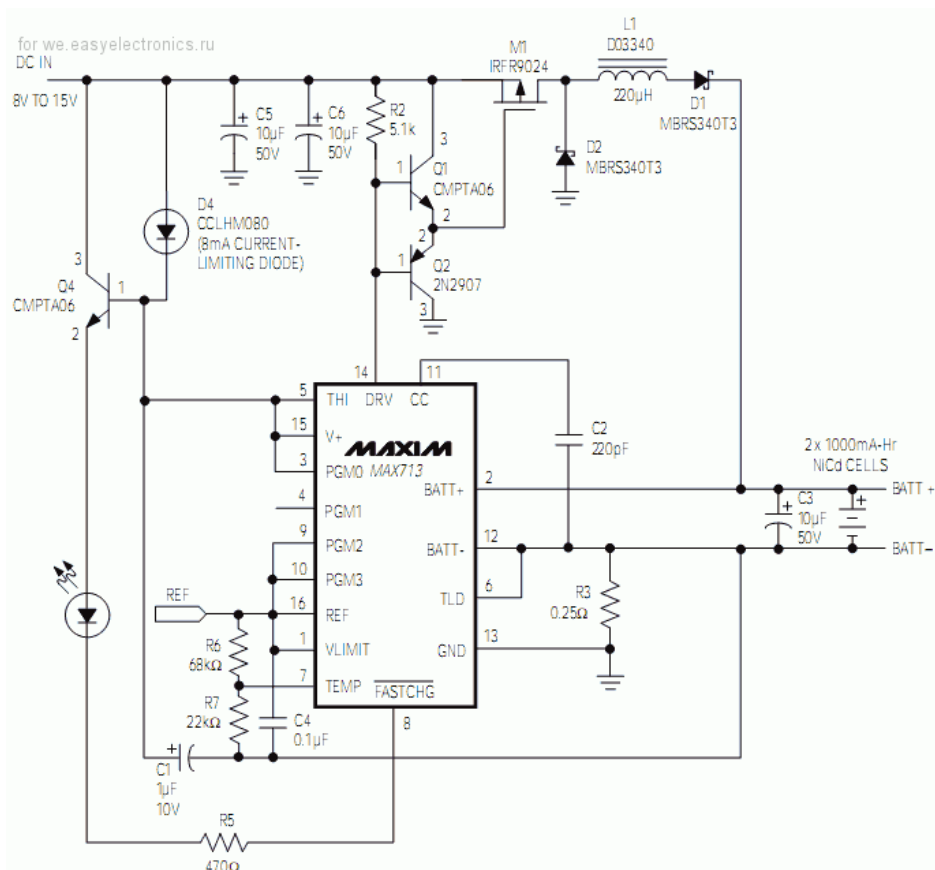


Рисунок 2.7. Схема включення в імпульсному режимі

Наведена в даташиті схема включення в імпульсному режимі. Здебільшого, тут все те саме, що і в лінійному режимі:

- Місткість конденсатора  $C2$  помітно зменшена. Саме це переводить петлю стабілізації струму на нестійкий режим. Він визначає частоту генерації, у разі — близько 30 кГц.

- Регулюючий транзистор тепер польовий (хоча насправді туди без проблем можна включити біполярний транзистор) і разом з D2 і L1 утворює звичайний step-down. Робота цієї схеми описана DI HALT'ом. Дросель можна порахувати, але в принципі схема допускає сильний розкид його індуктивності, так що можна просто взяти 220 мкГн.
- На Q1, Q2 та R2 зібрано драйвер MOSFET'а. Цілком типова схема. Хоча якщо напруга живлення перевищує максимально допустиму напругу витік-затвор — над драйвером доведеться попрацювати... Або замінити польовий транзистор на біполярний.
- Реалізація схеми живлення та індикації. Струм живлення обмежується якимось «струмообмежувачим діодом», а індикатор запитується не має від живлення контролера, як від вхідного.

## Транзистор BF245C MOSFET

BF245 - це N-канальний кремнієвий польовий транзистор, що випускається у корпусі TO-92. Він призначений в основному для використання як підсилювач в діапазонах частот УКХ і УВЧ, а також як підсилювач звукової частоти.

Транзистор має високий коефіцієнт посилення та низький рівень шуму, завдяки чому він добре працює для посилення дуже маленького сигналу з низьким коефіцієнтом посилення (радіочастотний, звуковий або будь-який інший сигнал) до високого коефіцієнта посилення з фільтрацією небажаного шуму.

Ці прилади випускаються у чотирьох різних типах: BF245, BF245A, BF245B та BF245C. Кожен тип трохи відрізняється від іншого за напругою затвор-витік та струму стоку напруги нульового затвора.



## Технічні особливості BF245

- Випускається у корпусі TO-92
- Тип транзистора: N-канальний JFET
- Напруга від стоку до джерела: 30 В (максимум)
- Напруга між стоком та затвором має бути: 30 В (максимум)
- Напруга на зворотному затворі до джерела: -30 В (максимум)
- Струм постійного стоку: 25 мА (максимум)
- Мінімальна та максимальна напруга відсікання затвора від джерела: від -0,5 до -0
- Розсіювана потужність: 300 мВт (максимум)
- Температура зберігання та експлуатації повинна бути: від -55 до +150 градусів Цельсія
- Низький рівень шуму та високий коефіцієнт посилення
- Частоти до 700 МГц.
- Взаємозамінність з'єднань стоку та витоку

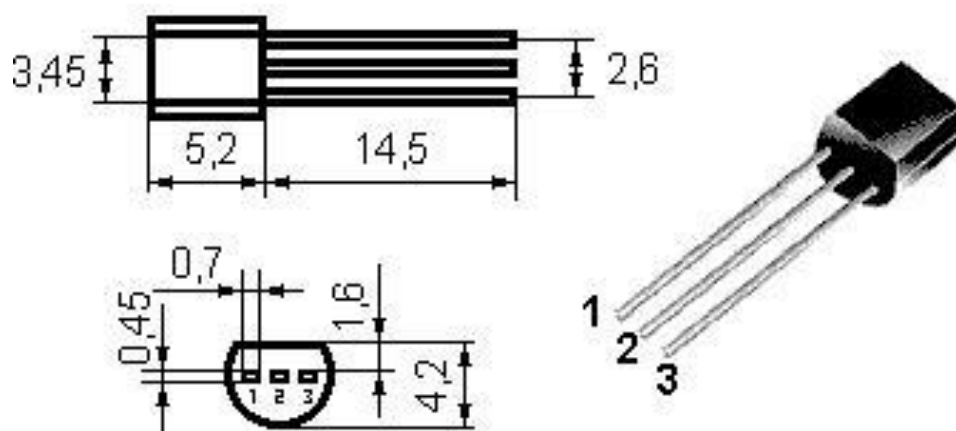


Рисунок 2.8. Транзистор BF245C MOSFET

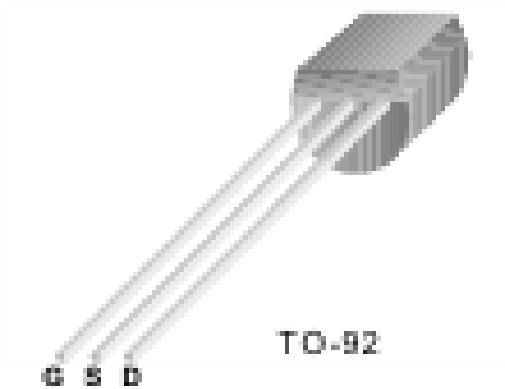


Рисунок 2.9. Цоколевка транзистора BF245C MOSFET

### Транзистор BC547.

Технічні характеристики:

- Тип матеріалу: Si
- Полярність: NPN
- Максимальна потужність, що розсіюється ( $P_c$ ): 0.5 W
- Максимальна допустима напруга колектор-база ( $U_{cb}$ ): 50 V
- Максимально допустима напруга колектор-емітер ( $U_{ce}$ ): 50 V
- Максимально допустима напруга емітер-база ( $U_{eb}$ ): 6 V
- Максимальний постійний струм колектора ( $I_c$ ): 0.1 A
- Гранична температура переходу PN ( $T_j$ ): 150 °C
- Гранична частота коефіцієнта передачі струму ( $f_t$ ): 300 МГц
- Місткість колекторного переходу ( $C_c$ ): 6 pF
- Статичний коефіцієнт передачі струму ( $h_{fe}$ ): 110
- Корпус транзистора: TO92

Таблиця 2.2. Технічні характеристики

<b>Основные</b>	
Тип транзистора	Біполярний
Тип біполярного транзистора	NPN
Максимально допустима напруга колектор-база	50 В
Максимально допустима напруга колектор-емітер	50 В
Максимальна потужність розсіювання	0.5 Вт
Тип монтажу	Ручний монтаж

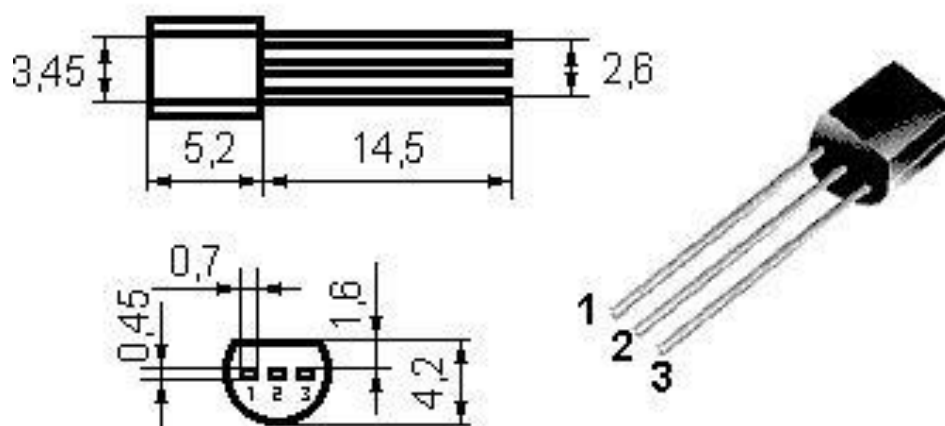


Рисунок 2.10. Транзистор BC547

### Цоколевка BC547B

1. Колектор
2. База
3. Еміттер

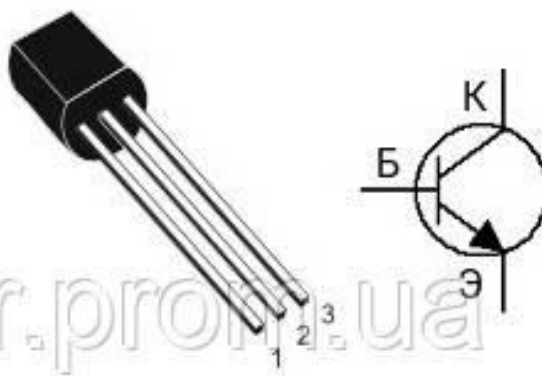


Рисунок 2.11. Цоколевка транзистора BC547

### Транзистор BC557B

Транзистор BC557B біполярний 0.1А 45V PNP TO92 - призначений для застосування в імпульсних та перемикаючих пристроях.

#### Характеристики

- Тип матеріал Si
- Полярність PNP
- Максимальна потужність, що розсіюється 0.5 Вт
- Максимальна допустима напруга колектор-база 50 В
- Максимально допустима напруга колектор-емітер 45 В
- Максимально допустима напруга емітер-база 5 В
- Максимальний постійний струм колектора 0.1 А
- Гранична температура PN-переходу 150°C
- Гранична частота коефіцієнта передачі струму 75 МГц
- Ємність колекторного переходу 9 пФ

- Статичний коефіцієнт передачі струму 200
- Корпус транзистора ТО92

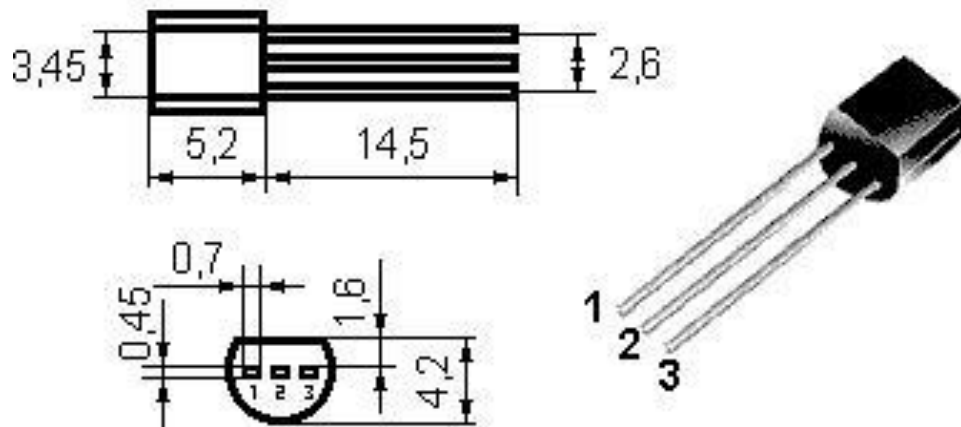


Рисунок 2.12. Транзистор BC557

Цоколевка BC557B

1. Коллектор
2. База
3. Эмиттер

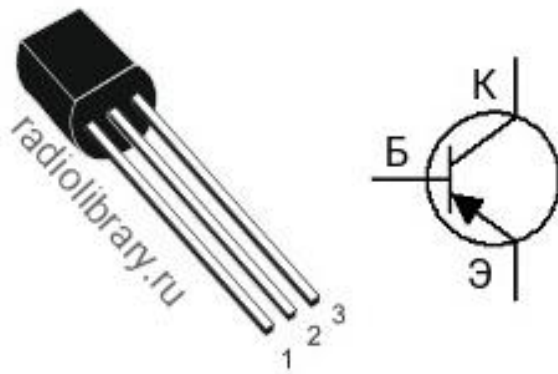


Рисунок 2.13. Цоколевка транзистора BC557

## Транзистор IRF9520PBF

Транзистор Р-МОП, польовий, 100В 6,8А 60Вт 0,6Ом ТО220АВ

Таблиця 2.3. Технічні параметри

Структура	Р-канал
Максимальна напруга сток-виток $U_{св}$ , В	100
Максимальний струм сток-виток при 25 С $I_{св макс.}$ А	6.8
Максимальна напруга затвор-виток $U_{зв макс.}$ В	$\pm 20$
Опір каналу в відкритому стані $R_{св вкл. (Max)}$ при $I_d, R_{ds}$ (on)	0.6 Ом/4.1А, 10В
Максимальна розсіювана потужність $P_{св макс.}$ Вт	40
Крутизна характеристики, S	2
Корпус	ТО-220АВ
Порогова напруга на затворі	-4
Вага, г	2.5

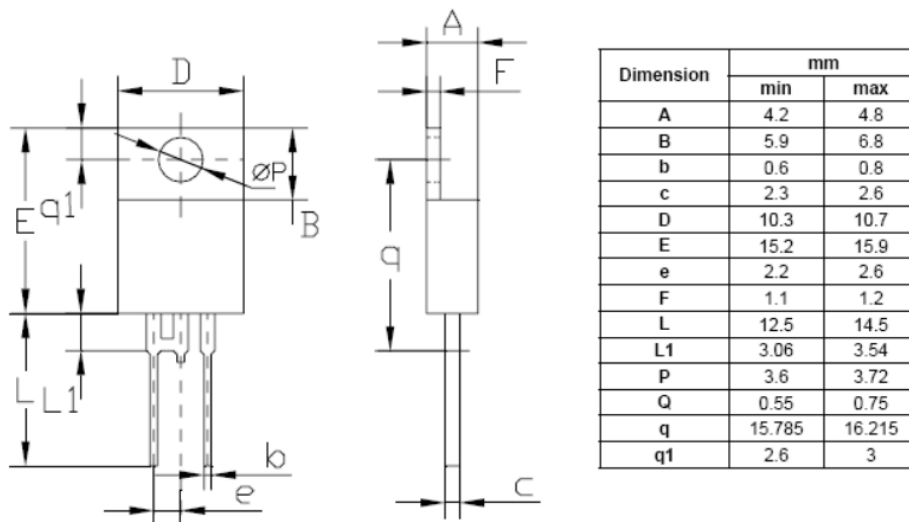
Основні характеристики

Діапазон робочих температур: +150 ° С

Поворотна напруга макс.  $V_{rmax}$ : 45В

Середній струм  $I_a$ : 7.5А

Тип корпусу: ТО-220АС



The dimensions of the TO-220AC component package.

Рисунок 2.14. Транзистор IRF9520PBF

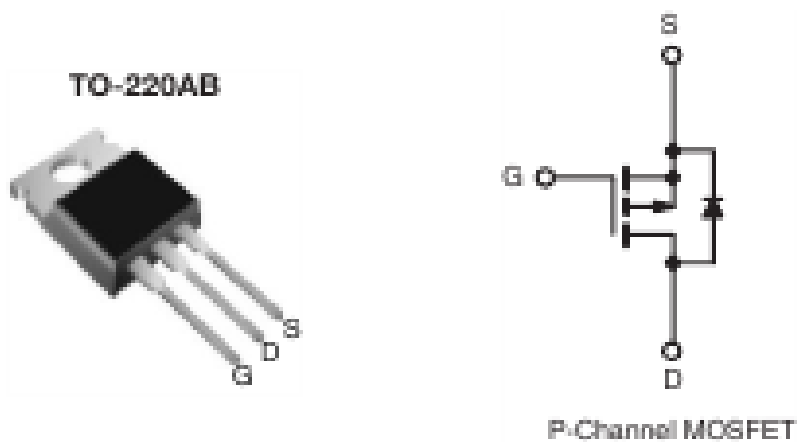


Рисунок 2.15. Цоколевка транзистора IRF9520PBF

## Діод PBYR745

Діод Шоттки PBYR745 Philips

Технічні характеристики:

Діапазон робочих температур +150 °C

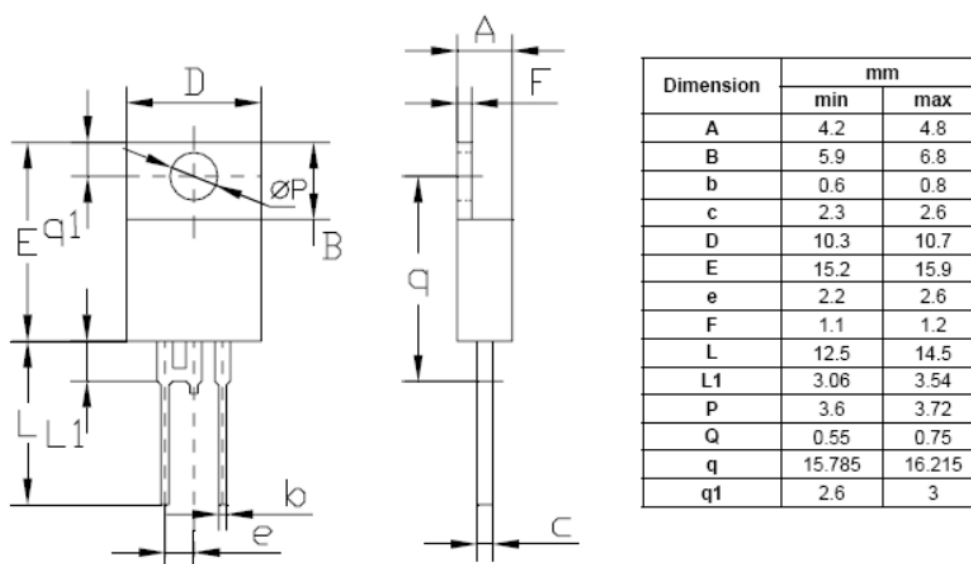
Поворотна напруга макс.  $V_{rmax} 45V$

Середній струм,  $I_a 7.5A$

Тип корпусу TO-220AC

Таблиця 2.4. Додаткові технічні характеристики:

Пікова зворотна напруга, що повторюється ( $U_{rrm}$ ), В	45
Максимальний середній струм діода ( $I_f(av)$ ), А	7.5
Пряме падіння напруги ( $U_f$ ), В	0.57
Кількість діодів у корпусі та схема (N/Схема)	1



The dimensions of the TO-220AC component package.

Рисунок 2.16. Діод PBYR745 в корпусі TO-220AC 2- вивідний контур JEDEC

### Інфрачервоні випромінюючі діоди АЛ156

Діоди АЛ156 інфрачервоні випромінюючі, епітаксійні, червоного кольору світлення.

Призначені для візуальної індикації у обладнанні загального призначення.



Виготовляються на основі сполук галій - алюміній - миш'як АЛ156АМ, АЛ156БМ та фосфіду галію АЛ156ВМ, АЛ156ГМ, АЛ156ДМ, АЛ156ЕМ, АЛ156ІМ, АЛ156ЛМ.

Випускаються у пластмасових корпусах з гнучкими виводами.

Діоди АЛ156А інфрачервоні випромінюючі.

Призначені для роботи як джерела ІЧ випромінювання.

Тип діода наводиться на груповій тарі.

Корпус типу КДІ-22.

Вид кліматичного виконання: «УХЛ».

Технічні умови: АДБК.432220.109ТУ.

Імпортний аналог: SFH400-3. Основні технічні параметри світлодіода АЛ156:

- Довжина хвилі, нм 860
  - Потужність випромінювання Р, мВт 5
  - Пряма напруга, 1.8
  - при струмі Іпр., ма 100
  - Ширина спектру випромінювання, нм 40
  - Видимий тілесний кут, град 15
  - Максимальний час наростання імпульсу, нс 100
  - Максимальний час спаду імпульсу, нс 100
  - Максимальна зворотна напруга, 3
  - Максимальний прямий струм, ма 110
  - Максимальний імпульсний прямий струм, ма 1500
  - Спосіб монтажу в отвір
  - Робоча температура, С -60...85

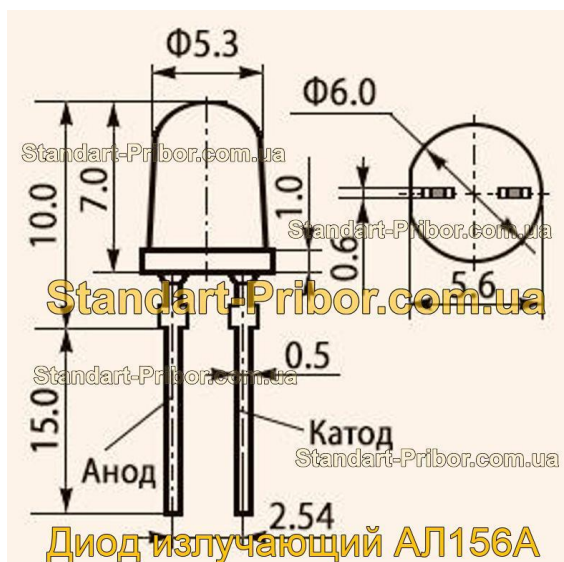


Рисунок 2.17. Світлодіод АЛ156

### Конденсатор К10-7В

Конденсатор керамічний дисковий К10-7В. Конденсатор серії К10-7В одношаровий керамічний конденсатор постійної ємності, що накопичує заряд від 1пФ до 0,47мкФ при напрузі від 16В до 50В. Допустиме відхилення ємності становить  $\pm 5\%$ ,  $\pm 10\%$ ,  $\pm 20\%$ . Призначений для експлуатації в ланцюгах постійного, змінного та імпульсного струму. Конденсатор виконан у вигляді залялькованого корпусу з односпрямованими гнучкими виводами дротяного типу. На корпусі конденсатора наведено коротке маркування номіналу із зазначенням ємності. Кріплення керамічного дискового конденсатору здійснюється за виводи за допомогою паяння або монтажу в отвори (ТНТ-технологія – виводи монтуються безпосередньо в наскрізні отвори друкованої плати). Щодо ТКЕ (температурний коефіцієнт ємності) керамічний конденсатор представлений декількома групами: NP0, N150, N220, N330, N470, N750, SL, Y5V, Z5V, Z5U, Y5P, і має стійку лінійну зміну ємності щодо температури. Підвищена робоча температура середовища не більше  $+85^{\circ}\text{C}$ , робоча знижена температура – не нижче  $-30^{\circ}\text{C}$ . Граничний тангенс кута втрат  $\text{tg}\delta$  трохи більше 0,05, максимальний струм витоку – 3мкА. Напрацювання у своїй становить щонайменше 10 000 год. До зовнішніх факторів,

до яких стійкі представлений керамічний конденсатор, відносять вібрації з частотою 1-5000Гц (прискорення до 40g), механічні удари багаторазові (прискорення до 15g) дії та лінійні навантаження (прискорення до 100g). Застосовуються керамічний дисковий конденсатор серії K10-7В в фільтрах, що згладжують джерела електроживлення, ланцюгах міжкаскадних зв'язків, при фільтрації перешкод і в іншій радіоелектронній апаратурі. Детальні характеристики, розшифрування маркування, габаритні та настановні розміри керамічного конденсатору K10-7В вказані нижче.

Технічні характеристики:

Діапазон номінальних значень ємності: 1 нФ – 0.22 мкФ

Температурний діапазон: -25°C...+85°C

Типи діелектриків: NP0, N150, N220, N330, N470, N750, SL, Y5V, Z5V, Z5U, Y5P

Точність:  $\pm 5\%$ ,  $\pm 10\%$ ,  $\pm 20\%$ , +80-20%

Робоча напруга: 16, 25, 50 В

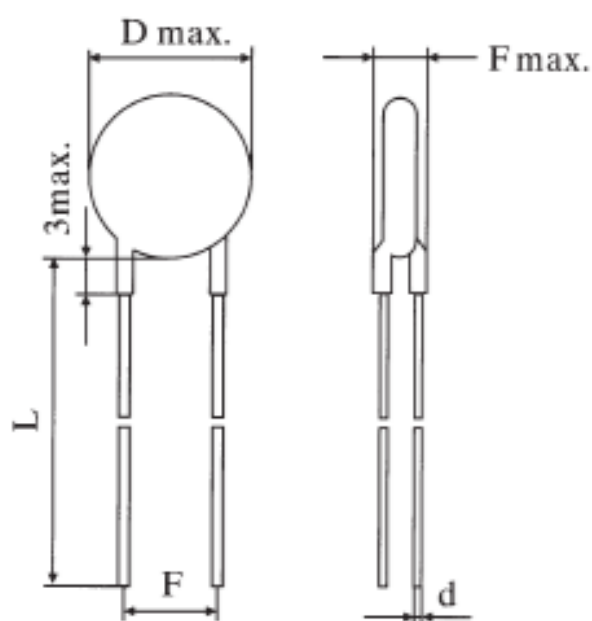


Рисунок 2.18. Конденсатор K10-7В

Таблиця 2.5. Габаритні розміри для діелектриків класу I

Напруга, В Ємність, пФ	16-50			
	NPO		SL	
	D (макс.), мм	F, мм	D (макс.), мм	F, мм
1-24	4	2,5	4	2,5
27-39	5	2,5	4	2,5
43-62	6,3	2,5	4	2,5
68-110	8	5	5	2,5
120-160	10	5	5	2,5

Таблиця 2.6. Габаритні розміри для діелектриків класу II

Напруга, В Ємність, пФ- мкФ	16-50							
	Z5V		Z5U		Y5V		Y5P	
	D (макс.), мм	F, мм	D (макс.), мм	F, мм	D (макс.), мм	F, мм	D (макс.), мм	F, мм
100-680	-	4	-	4	-	4	5,5	4
750-2200	-		5		-	5,5		
2500-5500	5,5		6		-	7,5		
6800-10000	7		8		-	10		
0,01-0,015	7		8-10		4	11,5		

0,022- 0,033	9,5		10		5		15	
0,047	11		16		5			
0,068	13		16		6			
0,1-0,47	17		20		6-15			

### Електролітичний конденсатор ECAP-LOW-ESR-10mkf - 63v (WL)

Електролітичний конденсатор ECAP-LOW-ESR-10mkf - 63v (WL) компанії SAMWHA SD 10 mF 400V 85°C d10 h17 в алюмінієвому циліндричному корпусі, з односпрямованими дротяними гнучкими виводами радіального типу (radial lead).

Конденсатори ECAP-LOW-ESR-10mkf - 63v (WL) SAMWHA мають полярний тип конструкції. Полярність виводів, номінальна напруга та ємність, а також маркування конденсатора вказано на корпусі за допомогою фарби. Визначити де плюс або мінус конденсатора можна за відмітками на корпусі або довжиною виводів (минусовий вивод короткий). Допустиме номінальне відхилення ємності становить  $\pm 5\%$ .

Радіальні електролітичні конденсатори ECAP-LOW-ESR-10mkf - 63v (WL) компанії SAMWHA широко застосовуються в блоках живлення та зарядних пристроях, частотних перетворювачах, аудіо та побутовій апаратурі. При установці конденсатора в електричне коло необхідно суворо дотримуватися полярності його полюсів, ємності та номінальної напруги. Також необхідно забезпечити вільний простір навколо конденсатора для можливого спрацьовування захисного клапана.

Перед встановленням конденсатори ECAP-LOW-ESR-10mkf - 63v (WL) SAMWHA слід розрядити, замикаючи виводи через резистор опором 1кОм.

Таблиця 2.7. Основні технічні характеристики

Виробник	Samwha
----------	--------

Тип конденсатора	Низьковольтний
Тип діелектрика	Електроліт
Тип корпусу	Металофольгований
Тип ємності	Постійна
Ємність конденсатора	10.0(мкФ)
Максимальний допуск ємності	20.0(%)
Номинальна робоча напруга	63.0(В)
Висота	11.0(мм)
Діаметр	5.0(мм)
Мінімальна робоча температура	-25.0(град.)
Максимальна робоча температура	105.0(град.)
Інтервал робочих температур	-25°C ~+105°C
Допустиме відхилення ємності	±20% при 120Hz, +20°C
Тангенс кута втрат	0,25max. при 120Hz, +20°C

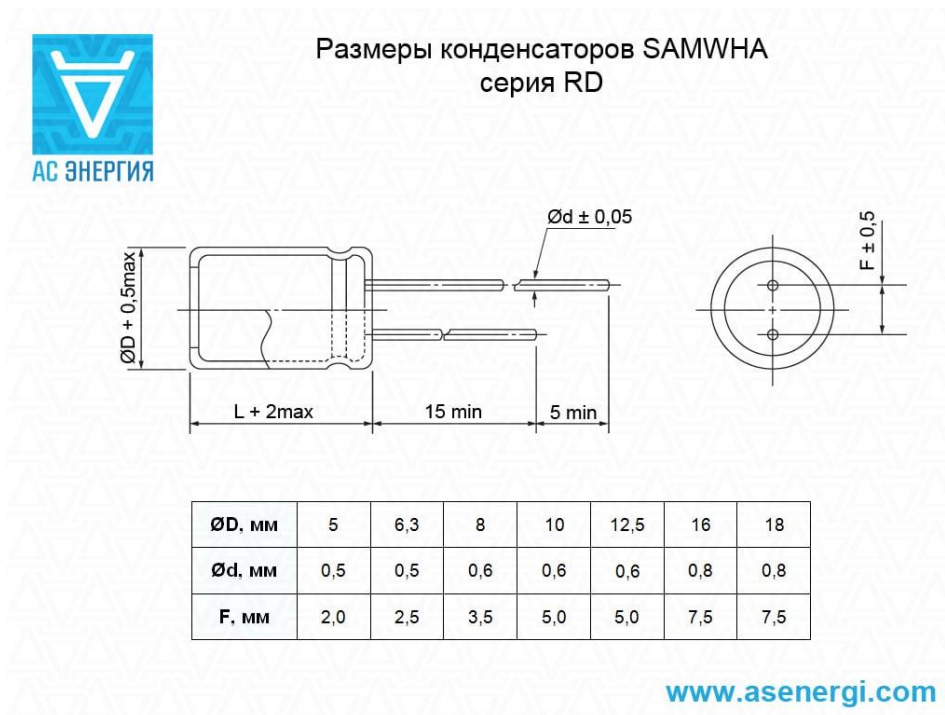


Рисунок 2.19. Електролітичний конденсатор ECAP-LOW-ESR-10mkf - 63v (WL)

## Резистори

Резистори керамічні дротяні цементні, ще їх називають потужні цементні резистори SQP, RX27, RX27-1, PRW, CR-L (Cement Resistor) - постійні дротяні резистори в керамічному корпусі, діапазон опорів 0,1 Ом - 910 кОм. Потужність, що розсіюється - 5Вт, 10Вт, 15Вт, 20Вт, 25Вт, 30Вт, 40Вт. Гранична робоча напруга складає 750В – 1000В, залежно від серії або потужності резистора, діаметр виводів –  $\varnothing 0,75$  мм. Призначені для експлуатації в ланцюгах постійного чи змінного струму, забезпечуючи обмеження сили струму та розподіл напруги. Конструктивно дротяні резистори виконані у вигляді трубчастої основи з кераміки (чистий глинозем  $Al_2O_3$ ), як резистивний елемент використовується дротяний провідник (мідно-нікелевий або хромово-нікелевий сплав) з високим питомим опором. Основу з обмоткою поміщено в литий прямокутний корпус із стеатитової кераміки та закапсульовано кремнеземом (діоксид кремнію  $SiO_2$ ). Виводи керамічних резисторів – гнучкі осьові аксіальні дротяного типу. Як матеріал виводів використовується луджена мідь. Монтаж здійснюється з використанням паяння за

ТНТ-технологією - виводи монтуються безпосередньо в наскрізні отвори друкованої плати. Положення монтажу – будь-яке, але слід пам'ятати про резистивні особливості, що супроводжуються нагріванням корпусу резистора. Тому не рекомендується розміщення резисторів на близькій відстані до друкованої плати або термочутливих елементів. Допустиме відхилення опору цементних аксіальних резисторів становить  $\pm 5\%$ . Ряд проміжних значень номінальних опорів - E24. Робоча підвищена температура середовища вибирається у  $+155^{\circ}\text{C}$ , знижена – до  $-55^{\circ}\text{C}$ , гранична температура перегріву – до  $+275^{\circ}\text{C}$ . Опір ізоляції становить щонайменше 1000 МОм. При доборі необхідного номіналу, розрахунок рекомендується проводити, використовуючи гнучкий калькулятор резисторів, за допомогою якого можна визначити загальний опір паралельно або послідовно підключених резисторів, а також опір резисторів у ланцюгу. У порівняльній таблиці представлені особливості конструкції та характеристики потужних резисторів SQP, C5-35B, C5-36B, ПЕВ, ПЕВР, АНР. Застосовуються потужні керамічні резистори в різній промисловій електроніці, радіо- та телевізійних приймачах, блоках живлення та управління, підсилювачах, автомобільній електроніці, а також як випробувальне навантаження або нагрівальні елементи (наприклад, у відеокамерах зовнішнього відеоспостереження).



Рисунок 2.20. Резистори



Таблиця 2.8. Серії і характеристики керамічних дротяних цементних резисторів

Серія	Потужність, що розсіюється	Діапазон опору	Максимальна робоча напруга	Діелектрична міцність	Вага
5W	5Вт(+40°C)	0,1Ом- 910кОм	750В	1500В	5г
10W	10Вт(+40°C)	0,1Ом- 100кОм	1000В	1500В	11г
15W	15Вт(+25°C)	0,1Ом- 100кОм	1000В	1500В	17,4г
20W	20Вт(+25°C)	0,1Ом- 100кОм	1000В	1500В	20г
25W	25Вт(+25°C)	0,1Ом- 100кОм	1000В	1500В	25г
30W	30Вт(+25°C)	0,1Ом- 100кОм	1000В	1500В	60г
40W	40Вт(+25°C)	0,1Ом- 100кОм	1000В	1500В	65г

## Дросель КЕМЕТ

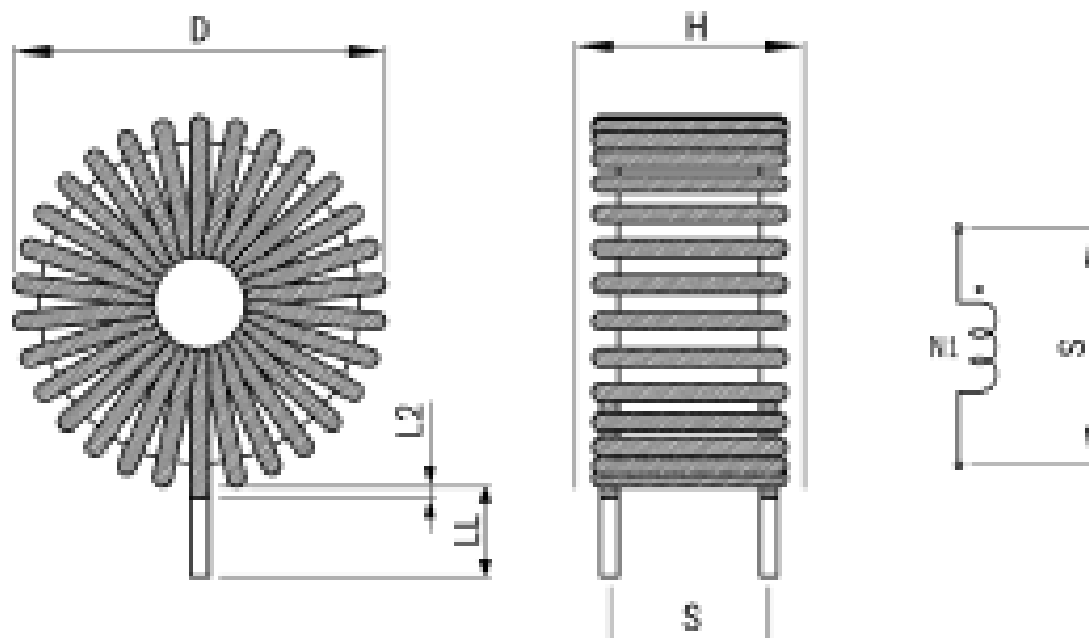


Рисунок 2.21. Дросель КЕМЕТ

Розміри:

D 26 мм МАКС

H 12 мм МАКС

LL 20 мм +/-2 мм

S 12 мм

L2 1,5 мм МАКС

Розмір дроту 1 мм

Загальна інформація:

Серія SN

Стиль Through-Hole

Компактний розмір

RoHS Так

Різне 34 (К) Підвищення температури Макс.

Серцевина Fe

Технічні характеристики:

Індуктивність 100 мкГ (0,1 МГц)

Допуск індуктивності MIN

Струм 5 А

Діапазон температур -40/+105°C

Опір постійному струму 42 мОм

### **З'єднувачі типу РП10**

З'єднувачі внутрішнього монтажу призначені для роботи в електричних ланцюгах постійного, змінного (частотою до 3 МГц) та імпульсного струмів. Вид кліматичного виконання - УХЛ, Ст. Вид приймання – 1, 5, 9.

Вилки та розетки мають металевий литий або пластмасовий кожух з прямим та кутовим виходом кабелю та фіксуючі замки. Покриття контактів срібло та олово-вісмут. Виделки та розетки мають уловлювачі та плаваючі контакти.

Технічні характеристики:

Робоча напруга, В.....1500

.....550 – «В» (ПЗ)

Сила електричного струму на один контакт, А, не більше 15

Опір контактів, Ом, не більше .....0,004  
 .....0,02-УХЛ 2.1 (ОТК)  
 Температура довкілля, 0С.....-60 год +125  
 Кількість контактів.....7,11,15,22,30,42

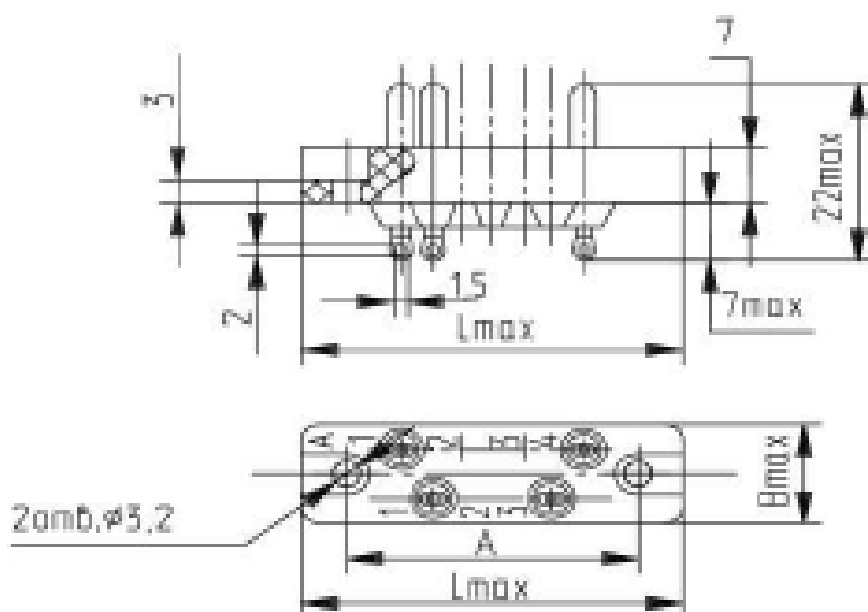


Рисунок 2.22. Вилка РП10 без корпусу

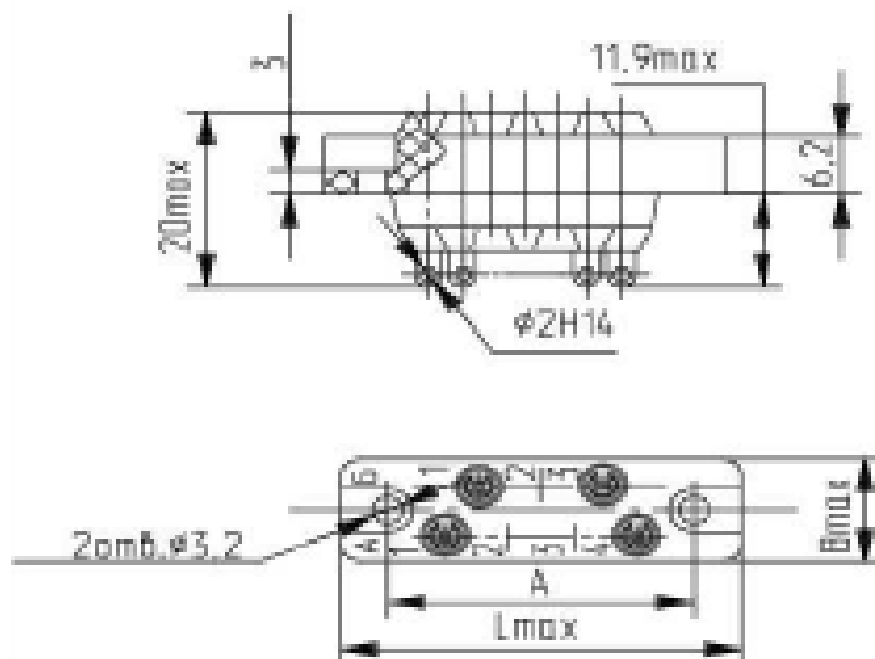


Рисунок 2.23. Розетка РП10 без корпусу

Таблиця 2.9. Вилка РП10 без корпусу

Умовне позначення типоконструкції	Кільк. рядів	Кільк. контактів	Розміри, мм				Маса, г не більше
			А		В <sub>мах</sub>	L <sub>мах</sub>	
			Номін.	Гранич. Відх.			
РП10-7	2	7	32,5	±0,1	12,5	42,5	8,5
РП10-11		11	45,0			55,0	13,0
РП10-15		15	58,0			68,0	17,5
РП10-22	3	22	58,0		21,0	68,0	26,5

### 3. РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ПРИСТРОЮ

#### 3.1. Вибір конструкції друкованої плати

За своїм конструктивно-технологічним виконанням друковані плати (ДП) поділяються на односторонні (на шаруватій пресованій та рельєфній литій підставах), двосторонні (на діелектричній та металевій підставах), багат шарові (з міжшаровими сполуками об'ємними деталями та хіміко-гальванічною металізацією, керамічні), гіб кабелі), провідні (з друкованим рисунком і без).

Так як схема пристрою досить проста у виконанні і містить невелику кількість елементів, то для забезпечення всіх зв'язків відповідно до схеми електричної принципової буде достатньо використання двосторонньої ДП, що має низьку щільність компонування (не більше 1,5 ел./см<sup>3</sup>). Така плата характеризується можливістю забезпечення підвищених вимог до точності виконання провідного рисунка та низькою вартістю конструкції. Це важливо при вимогах до надійності

пристрою на ДП та автоматизації виробництва плат з використанням більш простого та дешевого обладнання.

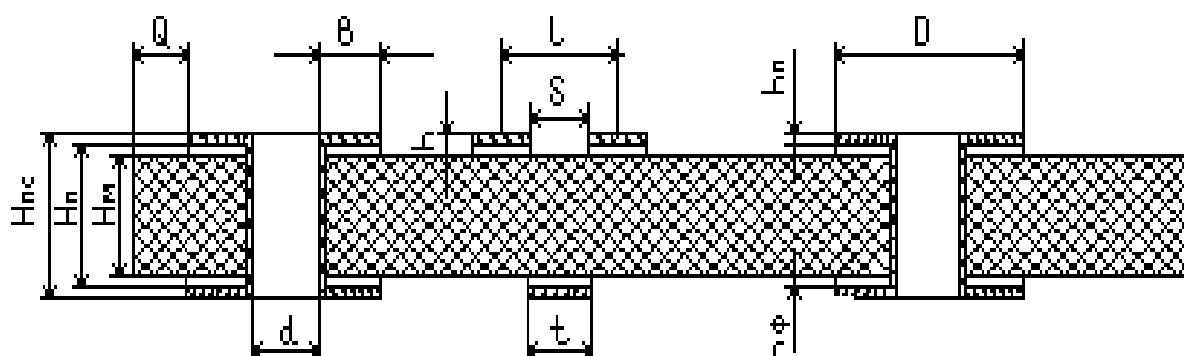


Рисунок 3.1. Конструкція двосторонньої ДП

Для пристрою вибираємо двосторонню друковану плату, що виготовляється по 3 класу точності з обмеженнями наведеними в таблиці 3.1. Вибір типу обумовлений компоувальною схемою вузла, вибір класу точності – щільністю електричних зв'язків та кроком розташування висновків. У схемі використовується мікросхема із кроком розташування виводів 1,25 мм.

Таблиця 3.1 - Обмеження, що накладаються третім класом точності

Параметри	Номінальні значення розмірів
Мінімальна ширина провідника $t$ та зазору $S$ , мм	0,25
Граничне відхилення $\Delta t$ провідника з металевим покриттям, мм	$\pm 0,05$
Гарантійний пасок контактного майданчика $b_{\min}$ , мм	0,05

Допуск на отвір діаметром до 1 мм. з металізацією $\Delta d$ , мм без металізації	$\pm 0,05$ $-0,13$ $\pm 0,05$
Допуск на отвір діаметром понад 1 мм. з металізацією $\Delta d$ , мм без металізації	$+0,10$ $-0,15$ $\pm 0,10$
Відношення діаметра металізованого отвору до товщини плати, $\gamma$	0,33

### 3.2. Конструктивно-технологічний розрахунок друкарського монтажу

Три фактора визначають ширину друкованих провідників. К цим факторам відноситься: для ланцюгів живлення та шин заземлення це максимальний струм, що протікає провідником, для сигнальних ланцюгів таким фактором це допустиме падіння напруги, для всіх з'єднань на платі це можливостями обраного методу виготовлення та класом точності плати.

Для ланцюгів живлення та шин заземлення можна визначити мінімальну ширину  $b_{\min I}$ , мм, друкарського провідника по постійному струму

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

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.

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

Якщо відомо допустиме падіння напруги на друкованому провіднику, то можна визначити мінімальну ширину  $b_{\min U}$ , мм цього провідника:

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

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.

$$I_{\max} \leq I_{\text{доп}},$$

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

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

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

де  $d_{\text{э}}$  – максимальне значення діаметру виводу елемента, яке можна встановити на плату, мм;

$\Delta d_{\text{н.о.}}$  – 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).

Найближче більше значення ряду до якого округляють розраховані значення діаметрів  $d$ : 0,7; 0,8; 0,9; 1,0; 1,1; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5 ...

Елементи зазвичай розділяють на дві групи, так як вони мають різні діаметри виводів:

$$d_{\text{э}} = 0,5 \text{ мм}$$

$$d_{\text{э}} = 1,5 \text{ мм}$$

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

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

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.

### 3.3. 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 контактного майданчика  $D_{1\min}$ , мм:

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

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

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

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:

$$D_{\max} = D_{\min} + (0.02...0.06) \quad (3.9.)$$

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

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

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  $\delta l$  – 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:

$$S_{4 \min} = 0.5D_{1 \max} + 0.5D_{2 \max} + 2\delta p + (b_{\max} + \delta l)N + S(N + 1). \quad (3.13.)$$

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

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:

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

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

$E_g$  - діелектрична проникність повітря,  $E_g = 1$  (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.

### 3.4 Розрахунок по постійному струму

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

$$t_{пз} \geq P_{IC} \rho / (0,01 E^2 h_{\Phi}), \quad (3.18)$$

де  $P_{IC}$  – потужність IC, Вт (максимальна споживана потужність мікросхеми 74НС14D);  $\rho$  - питомий опір провідника ( $\rho=1,72 * 10^{-8}$  Ом/м) [1];  $h_{\Phi}$  - товщина фольги ( $h_{\Phi}=35 * 10^{-6}$  м)[1];  $E_n$  – номінальне значення напруги живлення ( $E_n = 5$ В).

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

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

### 3.5. Розрахунок по змінному струму

При передачі по друкованих елементах плати високочастотних імпульсних сигналів через наявність індуктивного опору провідників, взаємній індуктивності і ємності, опору витоку 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 по формулі

$$l_{\text{д}} = \frac{0,5 * l_{\text{сд}} * l_{\text{мд}}}{l_{\text{сд}} + l_{\text{мд}}}, \quad (3.19)$$

де  $l_{\text{сд}}, l_{\text{мд}}$  - 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

$$l_{\text{сд}} = \frac{C_{\text{д}}}{C_{\text{п}}}, \quad (3.20)$$

де  $C_{\text{д}}$  – припустима ємність паразитного зв'язку, обумовлена завадостійкістю мікросхем ( $C_{\text{д}} = 22$  пФ);  $C_{\text{п}}$  – погонна ємність пФ/см, визначається по формулі

$$C_{\text{п}} = K_{\text{п}} * E', \quad (3.21)$$

де  $K_{\text{п}}$  – коефіцієнт пропорційності ( $K_{\text{п}} = 0,25$ );  $E'$  - діелектрична проникність середовища.

Для провідників, розташованих на поверхні плати;

$$E' = \frac{E_0 + E}{2}, \quad (3.22)$$

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 (2.11) одержуємо, що

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

Підставляючи  $E'$  в (2.10), одержуємо значення погонної ємності  $C_{\text{п}}$ :

$$C_{II} = 0,25 * 5 = 1,25 n\Phi / \text{см}.$$

Значення  $C$  підставляємо у формулу (3.20) і обчислюємо припустиму довжину паралельно розташованих сусідніх провідників при впливі тільки ємнісного паразитного зв'язку:

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

Припустима довжина паралельно розташованих сусідніх провідників при впливі тільки індуктивного паразитного зв'язку для плати без площини, що екранує, визначають по рівнянню (3.23):

$$l_{MD} * \ln\left(\frac{2 * l_{MD}}{S + 0,5 * (t_1 + t_2)} - 1\right) = t_{ЗСР} * \frac{U_{ПУ} + U_0}{K_3 + \Delta I}, \quad (3.23)$$

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

$U_0$  - напруга логічного 0, наведеного в ТУ, В ( $U_0 = 1,5$  В);  $\Delta I$ - перепад струму в ланцюзі живлення при перемиканні ІС ( $I = 0,01$ А);  $t_{ЗСР}$  - середній час затримки ( $t_{ЗСР} = 75$  нс);  $K_3$  - коефіцієнт запасу ( $K_3 = 0,7$ ).

Для рішення даного рівняння скористаємося ітераційним методом Ньютона.

Уведемо позначення

$$Z = l_{MD};$$

$$C = t_{ЗСР} * (U_{ПУ} + U_0) / K_3 * \Delta I;$$

$$B = -1;$$

$$A = S + 0,5 * (t_1 + t_2) / 2.$$

Тоді вихідне рівняння перетвориться до виду

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

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  $\Delta$  - точність обчислень.

Рекомендується вибирати  $Z_0 = 10 \dots 100$ ,  $\Delta = 1$ .

Тоді при  $t_3$  порівн = 75нс,  $U_{ny} = 1,5$  У;  $U_o = 1,5$  В;  $K_3 = 0,7$ ;  $\Delta I = 0,01$ А;  $S = 0,025$  см;  $t_1 = t_2 = 0,025$  см, маємо:

$$C = 75 * (1,5 + 1,5) / (0,7 * 0,01) = 317;$$

$$B = -1;$$

$$A = 0,025 + 0,5 * (0,025 + 0,025) / 2 = 0,038.$$

Тоді:

$$Z_1 = (100 + 317) / (\ln ( 100 / 0,038) + (-1) + 1) = 52;$$

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

$$Z_2 = (52 + 317) / (\ln ( 52/0,038) + (-1) + 1) = 51,11;$$

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

Отже,  $l_{md} = 51,11$  см.

Тоді по формулі (2.9) припустима довжина трьох паралельних провідників буде:

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

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

### 3.6. Розрахунок сумарної потужності споживаної елементами схеми

Для розрахунку споживаної потужності вибираються вихідні дані з довідкової літератури.

Розрахунок споживаної потужності виконується за такою формулою:

$$P_{\text{спож}} = I_{\text{спож}} \cdot U_{\text{дж}} \quad (3.24.)$$

де  $I_{\text{спож}}$  - струм споживання,  $U_{\text{дж}}$  - напруга джерела живлення.

Таблиця 3.2. Значення споживаної потужності ІМС та їх кількість.

Позначення у схемі	Найменування ІМС	Кількість ІМС	$I_{\text{спож}}$ , А	$U_{\text{дж}}$ , В	$P_{\text{спож}}$ однієї ІМС, Вт
Резистор R1	0,25 Ом	1	0,001	15	0,015
Резистор R2	68000 Ом	1	0,0002	15	0,003
Резистор R3	22000 Ом	1	0,0007	15	0,001
Резистор R4	1000 Ом	1	0,0015	15	0,02
Резистор R5	4700 Ом	1	0,003	15	0,045
Конденсатор C1	220 мкФ x 15 В	1	0,003	15	0,045
Конденсатор C3 C4, C6, C7	10 мкФ x 15В	4	0,001	15	0,06
Конденсатор C2	0,1 мкФ x 15В	1	0,001	15	0,015
Конденсатор C5	1 мкФ x 15В	1	0,001	15	0,015
Мікроконтролер DD1	MAX712	1	0,0036	15	0,54
Транзистор VT1	BF245C	1	0,001	15	0,015
Транзистор VT2, VT3	BC547B	2	0,001	15	0,03

Транзистор VT4	BC557B	1	0,001	15	0,015
Транзистор VT5	IRF9520	1	0,001	15	0,015
З'єднувачі K1, K2, K3, K4	РП10-7	4	0,01	15	0,60
Діод VD1, VD2	PBYR745	2	0,001	15	0,03
Світлодіод HL1	АЛ307	1	0,001	15	0,015
Дросель L1	КЕМЕТ	1	0,1	15	1,5
Итого: 3,369 Вт					

Сумарна потужність пристрою тестер ємності акумулятора складає 3,369 Вт.

### 3.6. Розрахунок надійності елементів друкованої плати з обліком пайки

Надійність одна із властивостей, які визначають якість електронної апаратури. Існуючі методи розрахунку показників безвідмовності та ремонтпридатності ЕА відрізняються ступенем точності обліку електричного режиму, умов роботи, конструкторсько-технологічних, функціональних та інших особливостей елементів, що входять до складу пристрою.

Виділяють два етапи оцінки надійності блоків електронних апаратів (ЕА):

- 1) орієнтовний розрахунок показників безвідмовності (виконують на ранній стадії проектування);
- 2) уточнений розрахунок показників надійності (виконують на завершальних стадіях проектування).

Розрахунки виконуються за таких припущень:

- а) відмови елементів випадкові та незалежні;
- б) для елементів справедливий експоненційний закон надійності;

в) беруться до уваги лише раптові відмови, тобто з цієї точки зору ймовірність відсутності поступових відмов дорівнює одиниці;

г) враховуються лише елементи електричної схеми, і навіть монтажні з'єднання, якщо вид з'єднань заздалегідь визначено;

д) при уточненому розрахунку дані про електричний режим та умови експлуатації елементів враховуються більш точно, ніж при орієнтовному розрахунку, і, крім того, беруться до уваги конструктивні елементи пристрою (шасі, корпус дроту тощо).

Інтенсивність відмов пристрою є сума інтенсивності відмов всіх елементів, що входять до нього.

$$\lambda_0 = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot N_i \quad (3.25.)$$

де  $\lambda_i$ - Інтенсивність відмови елемента і-ого типу;  $N_i$  - кількість елементів з інтенсивністю відмови  $\lambda_i$

Ймовірність безвідмовної роботи пристрою - є ймовірність того, що безвідмовно будуть працювати всі елементи, що входять до цього пристрою.

$$P_{0(t)} = e^{-\lambda_0 \cdot t} \quad (3.26.)$$

де  $e$  - основа натурального логарифму,  $\lambda_0$  - Сумарна інтенсивність відмов всіх елементів схеми,  $t$  - час напрацювання на відмову;  $T$  - середнє напрацювання на відмову.

$$T = \frac{1}{\lambda_0} \quad (3.27.)$$

Годин

$$\lambda_0 = \sum \lambda_i \cdot N_i \cdot K_H \cdot K_T \cdot 10^{-6} \text{ (год}^{-1}\text{)} \quad (3.28.)$$

Де  $K_H$  - коефіцієнт електричного навантаження;  $K_T$  - Коефіцієнт температурного режиму

Контрольовані параметри та формули обчислення коефіцієнтів навантаження для основних електрорадіовиробів (ЕРІ) наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3. Коефіцієнти навантаження компонентів,  $K_H$

Компоненти	Контрольовані параметри		Коефіцієнт навантаження $K_H$			Рекомендовані значення в	
						режимах	
						імпульсний	Статистичний
Мікросхеми	Вхідний	ст ру м		n			
	мікросхем,	на		$\sum_{i=1}^I I_{вхi}$		-	-
	включених			i=1			
	виході, $I_{вхi}$			$I_{вх}$ max			

	Максимальний					
	вихідний струм $I_{\text{вихmax}}$					
	Число навантажених					
	входів $n$					
Транзистори	Потужність ,		$P_k / P_{\text{кдоп}}$	0,5	0,2	
	Що розсіюється на					
	коллекторе , $P_k$					
Напіпровідникові діоди	Зворотня напруга $U_o$		$U_o / U_{\text{одоп}}$	0,5	0,2	
Конденсатори	Напруга на		$U / U_{\text{доп}}$	0,7	0,5	
	На обкладинках $U$					
Резистори	Потужність ,		$P / P_{\text{доп}}$	0,6	0,5	
	Що розсіюється $P$					
Дроселі	Струм навантаження $I_n$		$I_n / I_{\text{ндоп}}$	0,9	0,7	
Електричні з'єднувачі	Струм $I_k$		$I_k / I_{\text{кдоп}}$	0,8	0,5	

Таблиця 3.4. Інтенсивність відмов елементів.

Найменування та тип елемента	$\lambda_i \cdot 10^{-6}(\text{год}^{-1})$	$N_i$	$K_H$	$K_T$	$\lambda_i \cdot N_i \cdot K_H \cdot K_T \cdot 10^{-6}(\text{год}^{-1})$
Мікросхема: (DD1)	0,013	1	1	1	0,013
Резистори R1- R5	0,5	5	0,6	1	3,0
Конденсатори C1 – C7	0,55	7	0,7	1	4,9
Транзистори VT1-VT5	0,5	5	1	1	0,5
З'єднувачі K1- K4	0,4	4	1	1	1,6
Діоди VD1,2	0,03	2	0,6	1	1,2
Світлодіод HL1	0,01	1	1	1	0,01
Дросель L1	0,01	1	1	1	1,0
Разом: $\lambda_o = 12,2 \times 10^{-6}, (\text{ч}^{-1})$					

$$P(t) = 2,7^{-12,2} \times 10^{-6} \times 10000 = 0,84$$

$$T = 10^6 / 12,2 = 127616 (\text{ч}).$$

Розрахункові значення ймовірності відмови  $Q(t)$ :

$$Q(t) = |1 - 0,99| = 0,01$$

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

У ході виконання дипломної роботи було досліджено процес заряджання NiCd і NiMH акумуляторів. В результаті виконання роботи було розроблено пристрій для заряджання NiCd і NiMH акумуляторів. Спочатку проаналізували аналоги розроблюваного пристрою: зарядний пристрій-аналізатор NiMH/NiCd акумуляторів, зарядний пристрій для чотирьох Ni-Cd або Ni-MH акумуляторів розміру AA та AAA, зарядний пристрій для Ni-Cd та Ni-MH акумуляторів на мікроконтролері, зарядний пристрій Ni-Cd і Ni-MH акумуляторів.

Розглянутий у цій роботі зарядний пристрій для заряджання NiCd і NiMH акумуляторів надійніше і потужніше, ніж існуючі аналоги, він має більшу вихідну потужність, менший коефіцієнт гармонік тощо.

Було також проаналізовано електричну принципіальну схему розроблюваного пристрою. Підібрані і розраховані всі компоненти з яких складається пристрій. Всі рисунки елементів пристрою детальні і дають можливість розмістити їх компактно на поверхні плати.

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 105x85 мм. Закріплення друкованої плати було зроблено на чотири точки опори.

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

Також була розрахована потужність, яку споживає пристрій і розрахована надійність з якою може працювати пристрій для заряджання NiCd і NiMH акумуляторів.

В результаті проведеної роботи був розроблений пристрій для заряджання NiCd і NiMH акумуляторів з необхідною надійністю.

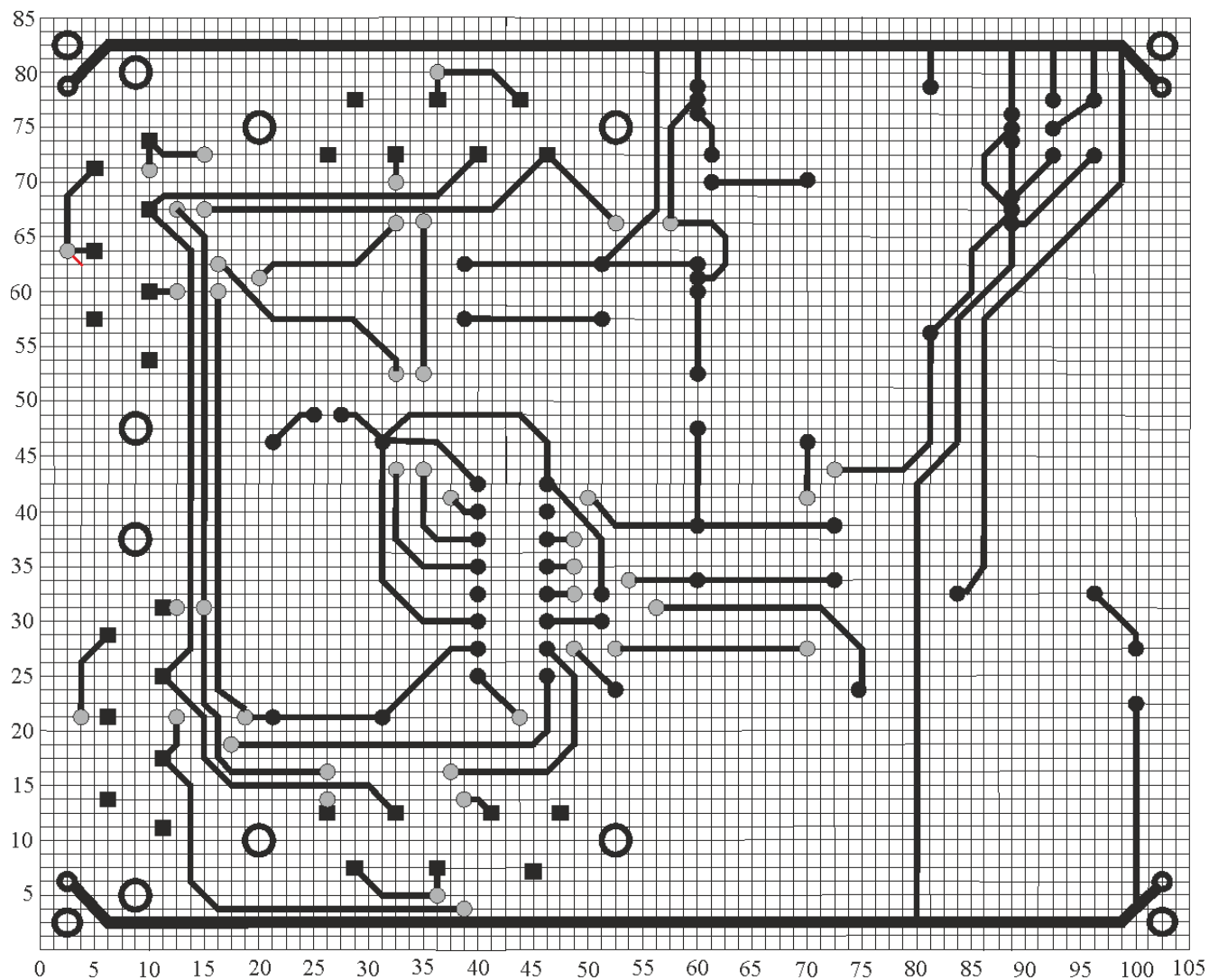


## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

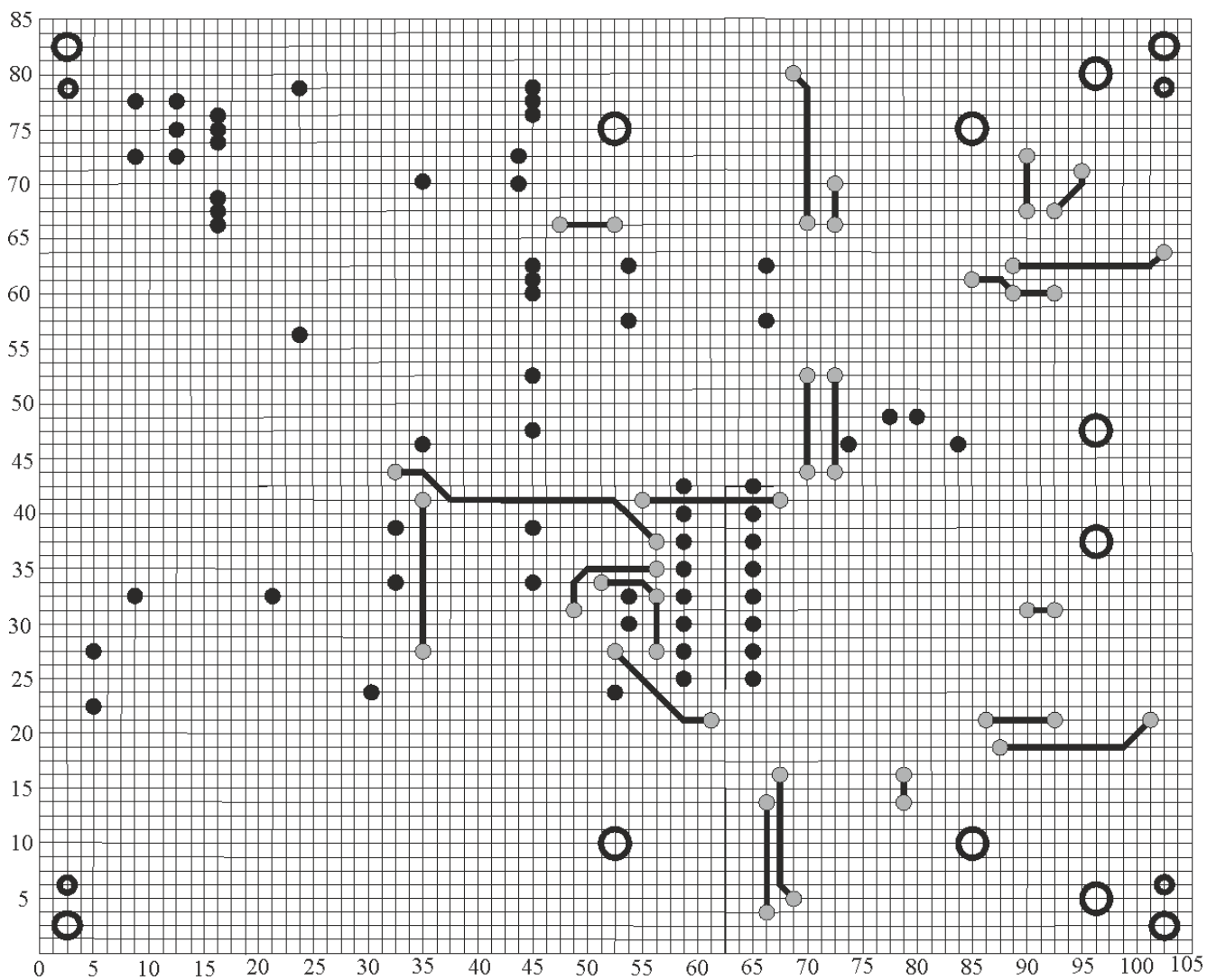
1. Фрумкин Г. Д. Расчет и конструирование радиоэлектронной аппаратуры. – М: Высшая школа, 1977 г.
2. Кириченко И. А., Тарасов С. П. Программа, методические указания и варианты заданий по курсовому проектированию по курсу “Теория, расчет и проектирование приборов и систем”. – Таганрог: ТРТУ, 1998 г.
3. <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



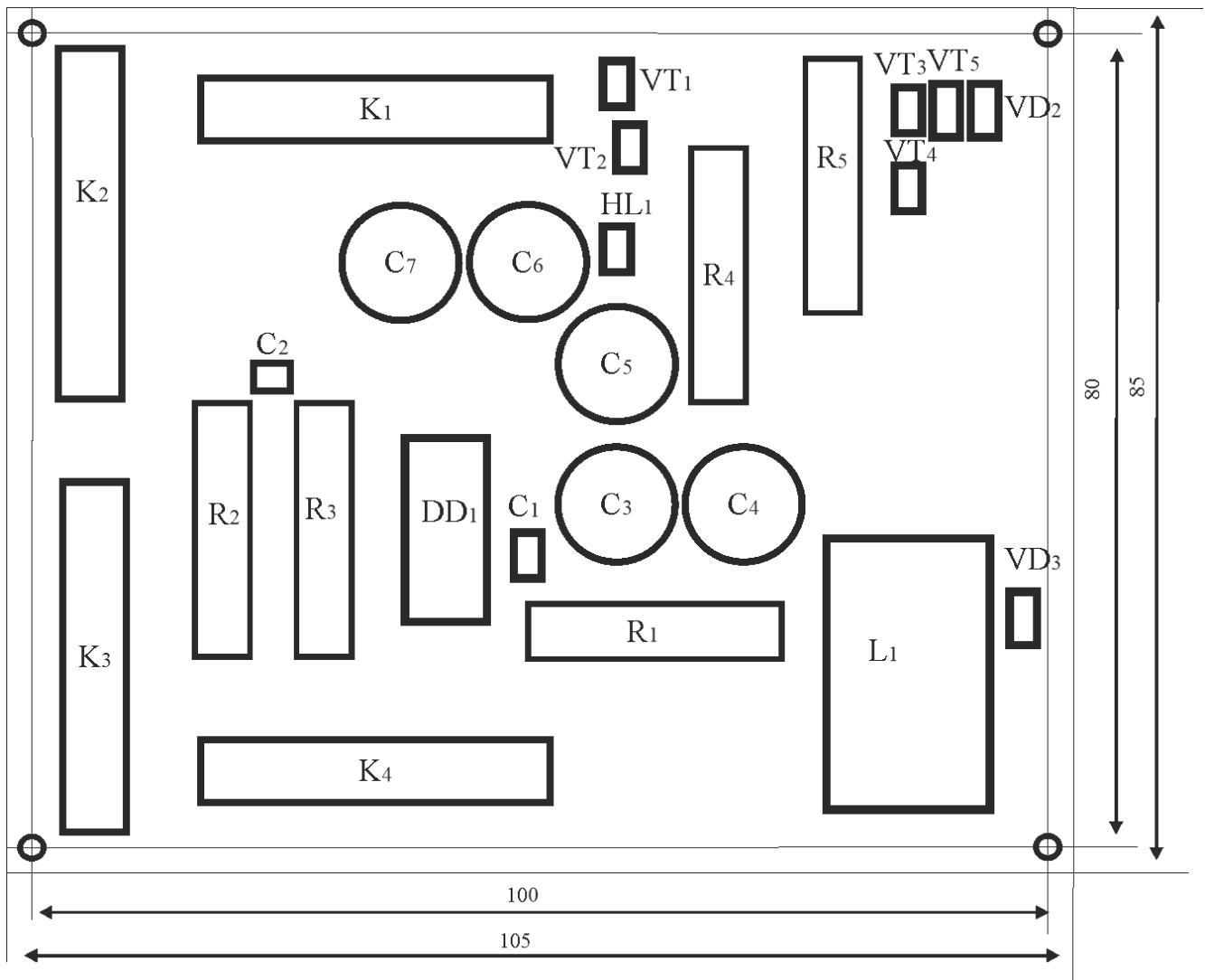
## Таблиця отворів

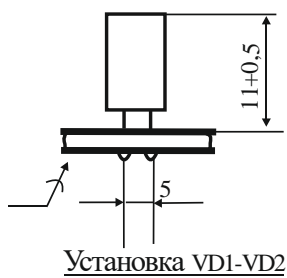
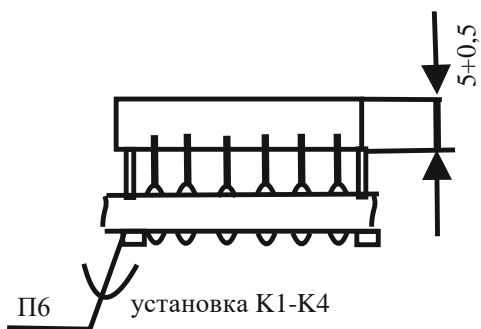
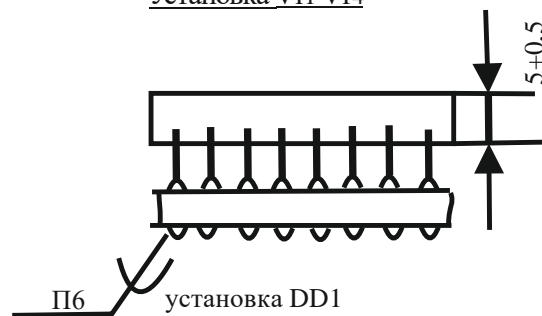
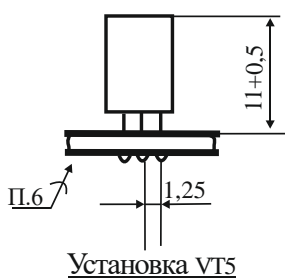
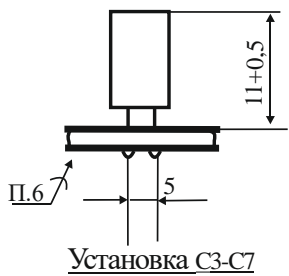
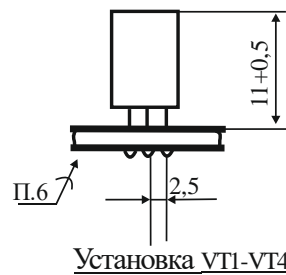
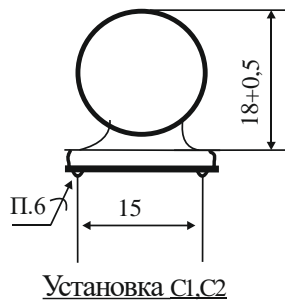
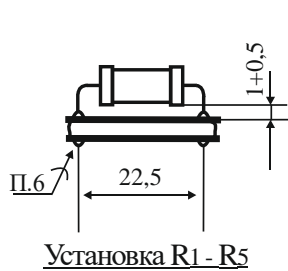
графіч. зображ.	діаметр КМ	діаметр отвору	наявність металу	призначення
•	1,5	1,3	так	монтажне
•	0,9	0,7	так	перехідне
○	2,4	2,0	так	монтажне
○	5,3	5	ні	кріплення

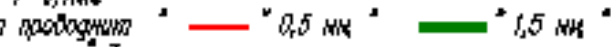


- → \*¶
- → 1. Розміри довідок¶
- → 2. Плату зробити комбінованим позитивним способом.¶
- → 3. Плата має відповідати ГОСТ-23752-86, група жорсткості-3.¶
- → 4. Клас точності-3 за ГОСТ-23751-86.¶
- → 5. Крок основної координатної сітки-1,25 мм. Лінії координатної сітки показано через 1,25 мм.¶
- → 6. 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 . Конфигурацию проводников выдерживать по координатной сетке с отклонением от чертежа  $\pm 0,1$  мм
- 5 . Ширина проводника \*  \*  3 мм \*  1,5 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 слое 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 резином (гляцевой маской) в соответствии с технической инструкцией завода-изготовителя. Тип гляцевого защитного реза 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 ТУ 29–02–869–88, УНП или краской PLASTSTAR OE–001, черной фирмы "SERICOL".
- 12 . Маркировочный слой вытравить краской ТНПФ–84, белой ТУ 29–02–869–88, УНП. Шрифт 2–Пр3 ГОСТ 26.020–80.
- 13 . Основные обозначения и размеры отверстий см. табл. лист . Наименование столбцов таблицы отверстий: Hole Dia(mm)–Диаметр отверстия(мм); Spots–Основное 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.