

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

Факультет інформаційних технологій та електроніки

(повне найменування факультету)

Кафедра _____ електронних апаратів _____

(повна назва кафедри)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломного проекту (роботи)

освітньо-кваліфікаційного рівня _____ бакалавр _____

(бакалавр, спеціаліст, магістр)

спеціальність 171 «Електроніка» _____

(шифр і назва напрямку підготовки)

на тему

**«РОЗРОБКА ТАЙМЕРУ ДЛЯ ЗВОРОТНЬОГО ВІДЛІКУ ЗАДАНИХ ЧАСОВИХ
ІНТЕРВАЛІВ»**

Виконав: студент групи ЕЛ-
20Бд _____

В.О. Самойловських

Керівник _____

Ж.Г. Самойлова

Завідувач кафедри _____

Ю.Е. Паеранд

Рецензент _____

І.С. Тюндер

СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ**

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет, відділення інформаційних технологій та електроніки

Кафедра, циклова комісія Електронних апаратів

Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр

Спеціальність 171 «Електроніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕА

_____ Ю.Е.Паеранд

“ ____ ” _____ 2024 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ СТУДЕНТУ
Самойловських Владиславу Олексійовичу

1. Тема проекту: **Розробка таймеру для зворотнього відліку заданих часових інтервалів**
2. Керівник проекту: Самойлова Жанна Георгіївна, доцент, затверджені наказом вищого навчального закладу від . р. № .
3. Строк подання студентом проекту 31 травня 2024 р.
4. Вихідні дані до проекту:
 - 4.1. Виріб ЕА- таймер для зворотнього відліку заданих часових інтервалів
 - 4.2. Схема електрична принципова.
 - 4.3. Температура навколишнього повітря від +15 до +50°C; відносна вологість повітря 75% при температурі 30 °С, атмосферний тиск від 84 до 107 кПа.
 - 4.4 Напруга живлення – 8...12±0,25 В, струм – не більше 5,0 А.; тип виробництва – дрібносерійне багатонаменклатурне
5. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):
 - 5.1. Вступ.
 - 5.2. Аналітичний огляд аналогів проєктованого пристрою
 - 5.3. Конструкторсько-технологічний аналіз технічного завдання.
 - 5.3 Створення конструкції пристрою.
 - 5.4. Загальні висновки по роботі
7. Дата видачі завдання 10 лютого 2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проектування	Строк виконання етапів	Примітка
1	Вивчення літератури з теми проекту	15.02.24 – 28.02.24	
2	Формування напрямів і задач дослідження	01.03.24 – 15.03.24	
3	Визначення методів і принципів проведення дослідження	16.03.24 - 30.03.24	
4	Дослідження та модулювання об'єктів або процесів	01.04.24 – 19.04.24	
5	Аналіз та узагальнення отриманих результатів	20.04.24 – 04.05.24	
6	Формування розділів роботи	05.05.24 – 15.05.24	
7	Оформлення пояснювальної записки та презентації	16.05.23 – 31.05.23	

Студент _____ Самойловських В.О.

Керівник проекту _____ Самойлова Ж.Г.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломного проекту містить:

77 сторінок , 24 рисунка, 21 таблиця, 16 джерел, мова - українська.

ТАЙМЕР, ЧАСОВІ ІНТЕРВАЛИ, ЕЛЕКТРОРАДІОЕЛЕМЕНТ, РЕЗИСТОР,
КОНДЕНСАТОР, МІКРОСХЕМА, ДРУКОВАНИЙ ПРОВІДНИК,
МОНТАЖНИЙ ОТВІР, КОНТАКТНА ПЛОЩАДКА, КОНСТРУКЦІЯ,
ТРАСУВАННЯ

Об'єкт розробки – дослідження процесу розробки таймеру для зворотнього відліку заданих часових інтервалів, топологічне проектування параметрів таймеру для зворотнього відліку заданих часових інтервалів.

Мета роботи - дослідити процес розробки таймеру для зворотнього відліку заданих часових інтервалів, спроектувати топологію плати таймеру для зворотнього відліку заданих часових інтервалів на основі схеми електричної принципової відповідно до вимог технічного завдання та розрахувати показники безвідмовності.

Метод дослідження - теоретичний із застосуванням комп'ютерної техніки.

У дипломній роботі досліджені процеси розробки таймеру для зворотнього відліку заданих часових інтервалів, розраховані показники безвідмовності та спроектована топологія плати таймеру для зворотнього відліку заданих часових інтервалів 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
1.1. Програмований цифровий таймер на PIC16F628a.....	8
1.2. Таймер для точкового зварювання.....	10
1.3. Простий інтервальний таймер на K561IE16.....	13
1.4. Таймер на мікроконтролері MSP430F2013, розрахований на 24 години....	15
1.5. Мініатюрний таймер-нагадувач на мікроконтролері ATtiny13A.....	18
1.6. Простий таймер PIC16F628A.....	21
2.АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ.....	23
2.1.Аналіз електричної принципової.....	23
2.2. Вибір елементної бази.....	25
2.3.Аналіз умов експлуатації.....	44
3.РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ПРИСТРОЮ.....	48
3.1. Вибір конструкції і класу точності друкованої плати.....	48
3.2. Конструктивно-технологічний розрахунок друкарського монтажу.....	56
3.3. Визначення мінімальної ширини друкованих провідників.....	57
3.4. Визначення діаметрів контактних майданчиків.....	60
3.5. Розрахунок надійності.....	63
3.6. Розрахунок віброміцності.....	67
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ.....	69
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	70
Додаток А.....	72
Додаток В.....	75

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ЕРЕ - електрорадіоелемент;

ТЗ - технічне завдання;

ТУ - технічні умови;

НЕ - начіпний елемент;

ДП - друкована плата;

ІС - інтегральна схема;

РЕА - радіоелектронна апаратура;

УГП - умовне графічне позначення;

ДДП - двостороння друкована плата;

ВСТУП

В Україні є безліч підприємств, які виробляють харчову, хімічну металургійну і так далі продукцію. Наприклад це може бути варіння їжі або час закалювання металу. Для здійснення технологічних процесів на підприємствах потрібні пристрої, які використовують для відліку певних проміжків часу. Для цього можна використовувати таймери. Таймери дають можливість автоматично запускати та припиняти технологічні процеси. Це дозволить збільшити об'єми виготовленої продукції та підвищити її якість за рахунок точного розподілу часу на виготовлення. Актуальність використання таймерів для регулювання та автоматизації технологічних процесів остається досить високою, так як на території нашої країни збільшується кількість підприємств.

Таймери можна також встановити в будинку для керування освітленням або використовувати в комерційних цілях для регулювання систем опалення, вентиляції та кондиціонування повітря та інших систем.

Ціллю дипломного проекту являється розробка таймеру для зворотного відліку заданих часових інтервалів для автоматизації технологічних процесів на підприємстві та в побуті, а також пошуків способів покращення технології. Тому основними вимогами до таймеру є простота в виготовленні та мала собівартість .

Виходячи з цілей проекту було поставлено та вирішено такі задачі:

- Було проведено огляд аналогів таймеру та було знайдено спосіб вдосконалення таймеру;
- Була спроектована електрична принципова схема приладу;
- Був також зроблений підбір елементної бази приладу;
- Наприкінці було створено креслення друкованої плати.

1.АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД АНАЛОГІВ ПРОЕКТОВАНОГО ПРИБОРУ

1.7. Програмований цифровий таймер на PIC16F628a

Схема цифрового таймера на PIC16F628a дозволяє включати та вимикати за розкладом навантаження (побутові прилади та електронні пристрої). Навантаження керується за допомогою електромагнітного реле.

З цим програмованим цифровим таймером можна встановити час включення, так і час вимкнення. Це означає, що можна встановити час, коли навантаження має бути включене і час відключення, тобто як довго воно має пробути у включеному стані.

Граничний інтервал часу, який можна встановити для увімкнення та вимкнення навантаження - 99 годин і 59 хвилин. Для зручності роботи таймер має рідиннокристалічний (РК)-дисплей 16×2 і 4-ма кнопками. Принципова схема даного цифрового таймера показано на рисунку 1.1.

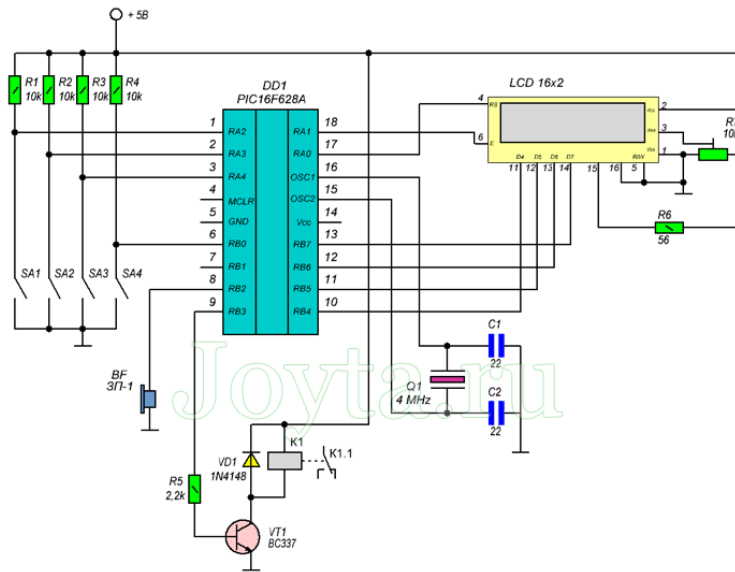


Рисунок 1.1. Електрична принципова схема програмованого цифрового таймера на PIC16F628а

Реле з робочою напругою 5В комутується за допомогою NPN транзистора BC337, управління самим транзистором відбувається сигналом з виводу 9 (RB3) мікроконтролера PIC16F628А.

Цифрові сигнали від 4-х кнопок зчитуються через входи 1, 2, 3 та 6. Стандартний LCD індикатор 16×2 працює у 4-бітному режимі, тому задіяні лише 6 контактів введення/виводу мікроконтролера. Зумер забезпечує звуковий сигнал у момент, коли таймер запускається та зупиняється. Він також видає звуковий сигнал, коли навантаження увімкнене або вимкнено.

Робота таймера, яка просимульована в Proteus, зображена на рисунку 1.2.

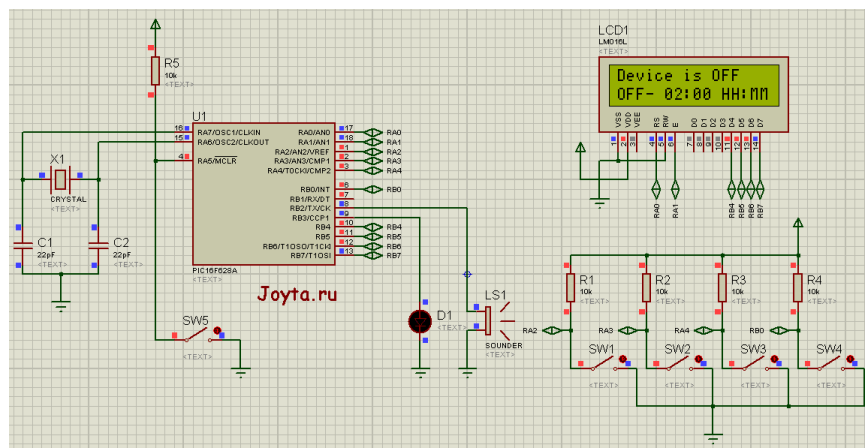


Рисунок 1.2. Робота таймера, яка просимульована в Proteus

Все керування таймером здійснюється чотирма кнопками:

Кнопка SA1 (on/off) — дозволяє встановлювати час включення, так і час вимкнення таймера. При подачі живлення на таймер, навантаження знаходиться у вимкненому стані, і обидва часи (ввімкнення та вимкнення) дорівнюють 0. При натисканні на кнопку SA1, ви можете перемикатися між режимами увімкнення та вимкнення.

Кнопка SA2 (select) — дозволяє вибрати під час встановлення цифри годин та хвилин увімкнення та вимкнення таймера. Вибрана цифра збільшується на одиницю під час натискання SA1.

Кнопка SA3 (enter) дозволяє вийти з режиму встановлення таймера.

Кнопка SA4 (start/stop) – запускає та зупиняє роботу таймера.

Розглянемо роботу таймера. Припустимо, що ми хочемо включити навантаження через 2 хвилини та вимкнути його після 20 хвилин роботи. У цьому випадку час увімкнення (ON) буде 00:02, а час вимикання (OFF) 00:20 у форматі гг:мм. Після натискання на кнопку SA4 запуститься таймер, і навантаження увімкнеться через 2 хвилини, і відключиться через 20 хвилин.

1.2. Таймер для точкового зварювання

Суть точкового зварювання полягає в стисканні двох деталей, що зварюються між електродами з високою електропровідністю. Далі подається короткий, але потужний імпульс струму, що нагріває невелику область металу в точці контакту деталей. Притиснутий метал застигає, утворюючи міцне з'єднання між двома частинами.

У будь-якому апараті точкового зварювання неодмінним елементом є таймер, що регулюється. Він відповідає за точне налаштування тривалості імпульсу струму, що є ключовим чинником якісного виконання зварних швів. Правильний

вибір часу зварювання є вирішальним чинником. Робота без таймера може призвести до перепалу металу, утворення наскрізних отворів або результату, схожому більше на електродугове зварювання, ніж на точкове.

Більше серйозні апарати для точкового зварювання, крім контролю часу імпульсу, можуть регулювати і величину струму. Однак апарат на МОТ має обмежену потужність, тому додаткове зниження струму не має сенсу.

У цій конструкції контроль струму не реалізований. Синхронізація здійснюється за допомогою мікросхеми таймера NE555 (DD1), що працює у моностабільному режимі. Параметри компонентів підбрані таким чином, що тривалість імпульсу може регулюватися в діапазоні від одного періоду напруги до майже однієї секунди.

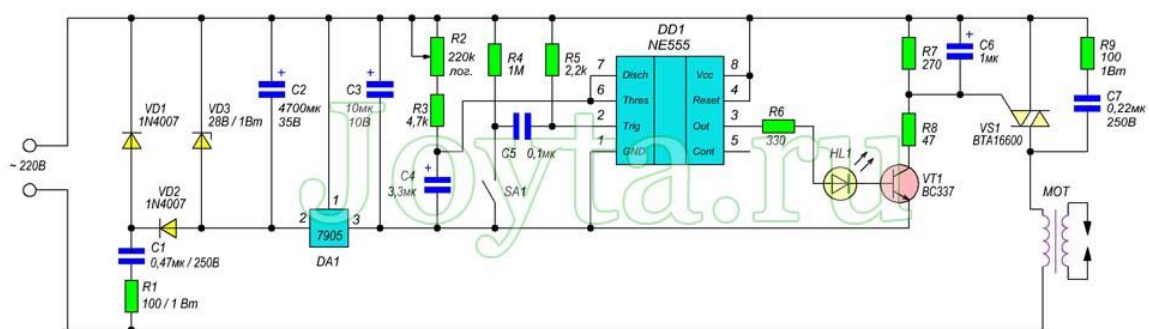


Рисунок 1.3. Електрична принципова схема таймера для точкового зварювання

Цей імпульс керує симістором ВТА16600 (VS1), оснащеним снабберним ланцюгом R9-C7. Снаббер захищає симістор від проблем, викликаних високоіндуктивним навантаженням, що створюється МОТ.

Схема таймера живиться від мережі змінного струму безпосередньо через конденсатор, що гасить. Це дозволило відмовитись від використання додаткового силового трансформатора.

Безтрансформаторне джерело живлення здатне забезпечити струм лише близько 15 мА, що недостатньо для запуску симістора. Тому в схемі використовується відносно великий конденсатор C2, який забезпечує необхідний

резерв струму (близько 80 мА) для спрацьовування симістор на час зварювального імпульсу.

Симістори коректно працюють у двох режимах:

При збігу полярності напруги на електроді, що управляє, і на навантаженні.

При постійному негативному напрузі на електроді, що управляє.

У разі невідповідності полярностей (позитивна напруга на електроді, що управляє, і негативне на навантаженні) ефективність роботи симісторів знижується. Деякі екземпляри за такого режиму роботи можуть навіть вийти з ладу.

У зв'язку з цим, у цій схемі використовується негативна напруга на керуючому електроді симістора. Для цього схема таймера запитана від -5В, одержуваних за допомогою стабілізатора негативної напруги 7905 (DA1).

Дана схема може здатися дещо незвичною для тих, хто звик до роботи з негативною землею та позитивним виходом стабілізатора. Однак у ній немає принципово нових елементів, просто схему побудовано за «інвертованою» схемою.

Стабілізатор 7905 може бути представлений різними виробниками, що відображається у префіксі назви: LM7905, UA7905, L7905, MC7905 і т.д. Наведена у тексті цоколівка відповідає корпусу ТО-220.

Аналогічно, таймер NE555 може бути представлений різними виробниками та мати різні позначення, наприклад NE555, LM555 та інші.

У цій схемі був використаний симістор ВТА16600. Однак він не є оптимальним вибором для цього завдання. ВТА16600 є чотириквadrантним TRIAC, який може бути схильний до мимовільного спрацьовування при роботі з індуктивним навантаженням.

Для цього пристрою можна рекомендувати використовувати триквadrантний симістор, наприклад, Т1635-8Т. Незважаючи на те, що Т1635-8Т позиціонується як «без демпфера», його все ж таки слід використовувати в даній схемі. Ні

симістору, ні стабілізатору напруги не потрібно радіатор, оскільки зварювальні імпульси короткочасні, а між ними, як правило, є тривалі паузи.

Замість транзистора BC337 (VT1) можна використовувати будь-який малопотужний NPN-транзистор, здатний витримувати струм щонайменше 100 мА.

Конденсатори 470 нФ (C1) та 220 нФ (C7) повинні бути розраховані на змінну напругу мережі і навіть із запасом. Такі конденсатори часто називають X-конденсаторами.

Рекомендується використовувати логарифмічний потенціометр (R2), якщо є в наявності. Це дозволить досягти ширшого діапазону регулювання зварювального імпульсу. При використанні лінійного потенціометра буде важко встановити мінімальну тривалість імпульсу.

Як вимикач найзручніше використовувати ножну педаль, щоб обидві руки залишалися вільними для роботи з електродами і деталями, що зварюються. При точковому зварюванні без спеціального пристрою, затиску або іншого пристрою, як правило, потрібно мінімум три, а то й чотири руки.

1.2. Простий інтервальний таймер на K561IE16

Цей простий інтервальний таймер призначений для включення на певний час різних нагрівальних пристроїв. Є п'ять інтервалів: 1.5, 3, 6, 12 та 24 години. Навантаження підключається до електромережі в момент початку відліку часу та відключається після завершення відліку. Тимчасові проміжки визначаються за допомогою частотного дільника сигналів прямокутної форми, що виробляються рядовим RC-мультивібратором, у зв'язку з цим точність роботи таймера можна порівняти з недорогим механічним.

Управління нагрівачем здійснюється за допомогою симістора ТС106-10, що витримує до 300 Вт (без радіатора), а з радіатором близько 3000 Вт. Для

забезпечення безпеки схема таймера забезпечена гальванічною розв'язкою з використанням двох оптопар. У приладі застосовується безтрансформаторне живлення, у зв'язку з цим, при налагодженні та експлуатації потрібно дотримуватись правил техніки безпеки.

Задає генератор побудований на логічних елементах DD1.1 та DD1.2 мікросхеми K561ЛЕ5. Частота генерації задається RC-ланцюгом на R1, C1. Точність ходу підлаштовується в ході налаштування за найменшим діапазоном часу шляхом підбору опору R1 (тимчасово при налаштуванні його необхідно замінити змінним резистором). Для створення необхідних часових інтервалів, імпульси з виходу мультивібратора йдуть на 2 лічильники DD2 і DD3, в результаті відбувається розподіл частоти.

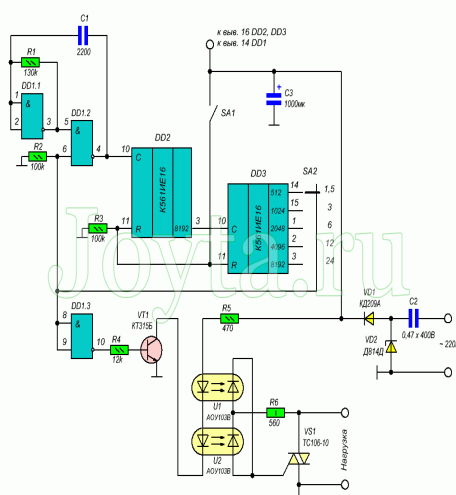


Рисунок 1.4. Електрична принципова схема простого інтервального таймера на K561IE16

Два лічильники: K561IE16 (або CD4020) підключені послідовно, але для одночасного обнулення або скидання в момент роботи таймера виводи скидання з'єднані разом. Скидання здійснюється за допомогою перемикача SA1. Перемикачем SA2 здійснюється вибір необхідного проміжку часу.

Як тільки на виході лічильника DD3 (на який встановлено перемикач SA2), виникне логічна 1 вона надходить на вивод 6 DD1.2 в результаті чого робота мультивібратора зупиняється. Одночасно логічний сигнал 1 надходить на вхід

інвертора DD1.3 до виходу якого підключений транзистор VT1. Як тільки на виході DD1.3 з'явиться логічний 0 транзистор VT1 закривається і знеструмлює світлодіоди оптопар U1 і U2, а це в свою чергу призводить до вимкнення симістора VS1 і відключення навантаження.

При скидання лічильників, на їх виходах з'являється логічний 0, зокрема і на виході, який встановлено SA2. На вході DD1.3 знаходиться логічний 0 і відповідно на його виході логічна 1, що призводить до включення навантаження. Також одночасно і на вході 6 DD1.2 з'являється логічний нуль, що у свою чергу запускає мультивібратор, і таймер починає відлік часу. Як було зазначено вище, живлення таймера здійснюється за безтрансформаторної схемою, з елементів C2, VD1, VD2 і C3.

Лічильник K561IE16 можна міняти на CD4020 чи CD4060. Місткість C2 типу K73-17 розрахована на напругу не менше 400 вольт. Діод КД209 можна замінити на 1N4004, КД228, КД105. Стабілітрон Д814Д повинен бути у металевому корпусі для кращого відведення тепла. Симістор TC106-10 має бути розрахований на напругу понад 300 вольт. Можна застосувати симістор TC116-10, TC112-10 або в крайньому випадку КУ208, знизивши опір резистора R6. Якщо можна застосувати оптосимістор, то оптопари можна не ставити, а просто в колекторний ланцюг транзистора VT1 включити світлодіод оптосимістора. Також потрібно мати на увазі, що оптосимістор повинен бути розрахований на робочу напругу більше 300V.

1.4. Таймер на мікроконтролері MSP430F2013, розрахований на 24 години

Таймер виконує такі функції:

— ввод/редагування часу спрацьовування таймера за допомогою двох кнопок, де кнопка "Mode" вибирає змінну цифру, яка блимає з 2 Гц, а друга "UP" збільшує її значення від 0 до 9;

— відображення часу до закінчення відліку заданого інтервалу, в межах 24 годин з точністю до 1 секунди. Час відображається на шести семисегментних світлодіодних індикаторах;

— керування включенням або відключенням силового навантаження на період роботи таймера, залежно від положення тумблера режиму керування силовим навантаженням "Load";

— сигналізація про закінчення часу таймера звуковим сигналом протягом 5 сек.

Принципова схема мікроконтролерного таймера представлена на рисунку 1.5.

Кварцовий резонатор 32768 Гц ("годинний" кварц), що підключається до зовнішніх виводів XIN і XOUT, задає частоту тактування внутрішнього таймера мікроконтролера. Тактування мікропроцесорного ядра мікроконтролера здійснюється від внутрішнього генератора.

Для реалізації шістнадцятирозрядного регістру зсуву використовуються дві мікросхеми 74НС495 - восьмирозрядні регістри зсуву з регістром - клямкою на виході, з'єднані послідовно, утворюючи 16 виходів. Для видачі послідовного коду з мікроконтролера на регістр використовується інтерфейс SPI (виводи даних та синхронізації) та один додатковий вивод для засувки зрушених даних.

Подача напруги живлення на анод чергової цифри, що активується, дисплея здійснюється через транзисторний ключ, керований сигналом низького рівня з виходу зсуву регістру D2. Для запалювання світлодіодних сегментів, на їх катоди через струмообмежуючі резистори подається низький рівень сигналу безпосередньо з виходів регістра D3, що зсуває. Світлодіод HL1 використовується для індикації стану силового навантаження — якщо видано сигнал на включення, він горить. Світлодіод HL2 відображає увімкнений стан таймера.

Електромагнітний випромінювач включається через транзисторний ключ, керований сигналом низького рівня безпосередньо з виводу P1.3 мікроконтролера. Кнопки та тумблер підключаються безпосередньо до входів порту P1, налаштованих на ввід з підключенням внутрішніх резисторів, що підтягують.

1.5. Мініатюрний таймер-нагадувач на мікроконтролері ATtiny13A

Цей невеликий пристрій розроблено насамперед для діабетиків, але для нього можна знайти набагато ширший спектр застосувань. Його завдання – сигналізувати про проходження заданого відрізка часу, що вимірюється з моменту натискання кнопки.

Таким чином, можна нагадати про необхідність вимірювання рівня глюкози в крові через певний час з їжі, або про необхідність заглянути в котельню через деякий час після розпалу в печі і т.д.



Рисунок 1.6. Зовнішній вигляд таймеру

Пристрій використовується для вимірювання одного з чотирьох можливих періодів часу: 15 хвилин, 30 хвилин, 1 година або 2 години. Відлік часу сигналізується швидким миготінням світлодіодів, а кінець відліку миготінням та звуком. Для живлення передбачена одна батарея типу CR2032, тому нагадувач дуже легкий та мініатюрний.

Принципова схема запропонованого рішення показана на рисунку 1.7.

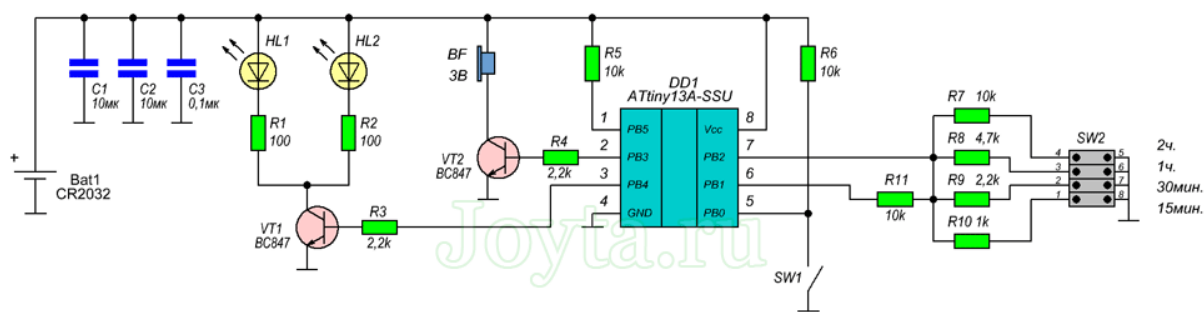


Рисунок 1.7. Електрична принципіальна схема таймера

Використання мікроконтролера ATtiny13A компанії ATMEL дозволило значно спростити конструкцію пристрою. Цей тип мікроконтролера ідеально підходить для використання у цьому випадку. Він має невеликий корпус SO8, можливість використання напруги від 1,8В та різні режими зниження енергоспоживання.

Для живлення використовується літєва батарея типу CR2032, що забезпечує напругу 3В, що достатньо для живлення компонентів пристрою.

Конденсатори C1...C3 зменшують опір джерела живлення. Це особливо важливо для батарей, що знаходяться на межі розряду, у яких зростає внутрішній опір.

Візуальна інформація представлена за допомогою двох синіх світлодіодів. Хоча їхня робоча напруга близька до напруги живлення, але це вистачає, щоб вони світили яскраво. У той же час синій колір добре помітний людському оку, особливо в умовах недостатнього освітлення. Для перемикання світлодіодів використовується ключ на транзисторі VT1 (BC847).

Звукове сповіщення про закінчення заданого проміжку часу здійснюється за допомогою п'єзоелектричного випромінювача з вбудованим генератором. Він досить гучний і його можна почути навіть тоді, коли пристрій захований, наприклад, у кишені. Управління звуковим випромінювачем здійснюється за допомогою транзистора VT2 (BC847).

Запуск зворотного відліку та зупинка здійснюється одним натисканням кнопки SW1, контакт якого попередньо підтягнутий резистором R6 (10кОм) до плюсу живлення.

Такий самий резистор встановлений на виводі RESET мікроконтролера, щоб запобігти випадковій зміні його логічного рівня. Подібна зміна може бути викликана внаслідок зовнішнього електромагнітного поля або впливом на мікроконтролер надто великої кількості статичної електрики.

Вибір часового інтервалу здійснюється шляхом перемикання однієї з чотирьох секцій перемикача SW2 типу DIP-SWITCH. Замкнена секція підключає на мінус живлення один із чотирьох резисторів (R7 до R10), утворюючи з резистором R11 дільник напруги.

Мікроконтролер, подаючи високий логічний рівень на резистор R11, вимірює за допомогою АЦП (анало-цифрового перетворювача) напругу, яка утворюється на дільнику.

Таким чином, для завдання часу використовуються лише два виводи мікроконтролера. Крім цього, цей контур можна вимкнути, змінивши рівень виводу PB1 на низький, що значно зменшить споживання живлення.

Перебуваючи у сплячому режимі, схема не виявляє жодних ознак роботи. Після одноразового натискання кнопки SW1 зчитується інформація з дільника та починається відлік часу, про що свідчить одноразове миготіння світлодіодів. З цього моменту вони блимають кожні 1 секунду до закінчення зворотного відліку. Якщо всі перемикачі SW2 знаходяться в положенні OFF, світлодіоди не блимають, а пристрій перейде в режим сну.

Через встановлений час світлодіоди починають блимати інтенсивно, а звуковий випромінювач видає короткі звуки. Зупинка здійснюється коротким натисканням SW1.

Важливо, що як тільки зворотний відлік запущено, ви не зможете зупинити або змінити його тривалість. Це дозволяє уникнути ситуації випадкового

вимкнення відліку часу, який може статися при випадковому натисканні кнопки SW1.

Споживаний струм у стані спокою становить близько 0,5 мА, тому теоретично батареї номінальною ємністю 200 мАч має вистачити на 45 років у режимі очікування. На практиці ж можна розраховувати на якийсь час порівняно з терміном придатності батареї. Під час зворотного відліку середнє споживання струму становить близько 8 мА, а стан оповіщення підвищується до 15 мА.

1.6. Простий таймер на PIC16F628A

Це простий таймер, побудований на мікроконтролері PIC16F628A та індикаторі LCD 1602.

Мікроконтролер PIC16F628A в даній схемі тактується від внутрішнього генератора, який є досить точним для даного випадку, але оскільки виводи 15 і 16 залишаються незайнятими, можна використовувати зовнішній кварцовий резонатор для більшої точності.

Як уже було сказано раніше, цей проект створено на основі вже існуючого проекту, але насправді обидві схеми відрізняються одна від одної, і тому код був практично повністю переписаний. У таймері для керування є три кнопки: "START/STOP", "MIN" та "SEC"

1. "START/STOP" - для запуску та призупинення таймера.
2. "MIN" - для встановлення хвилин. Кількість хвилин встановлюється від 0 до 99, а потім все починається знову з 0.
3. "SEC" - для встановлення секунд. Секунду також встановлюються від 0 до 59, а потім знову з 0.

Однотимчасне натискання на MIN і SEC призводить до скидання таймера під час роботи.

Коли час на таймері досягає 00:00, лунає звуковий сигнал (3 короткі і 1 довгий звуковий сигнал) і світлодіод HL1 загоряється. Як звуковипромінювач застосований зумер електромагнітного типу. Після цього при натисканні однієї з кнопок відбувається скидання таймера і вимкнення світлодіода HL1.

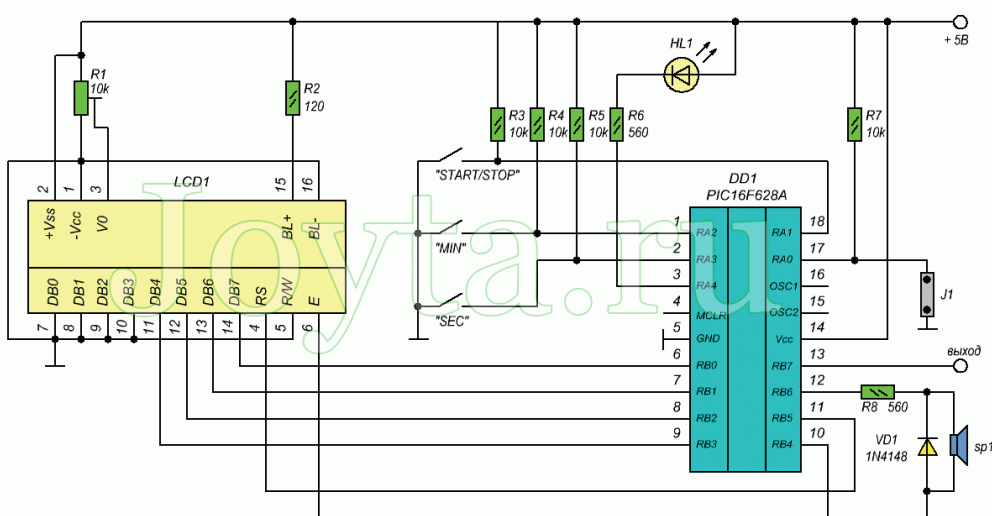


Рисунок 1.8. Електрична принципова схема таймера

Коли таймер здійснює зворотний відлік на виводі 13 (RB7), знаходиться високий рівень, а при зупинці таймера з'являється низький логічний рівень. Цей вивод можна використовувати для керування зовнішніми виконавчими пристроями. живлення таймера здійснюється від стабілізованого джерела на 78L05.

Перемичка J1 призначена для калібрування таймера. При замиканні таймер входить у режим настройки. За допомогою кнопок «MIN» та «SEC» можна збільшити/зменшити значення внутрішнього параметра, який дає змогу уповільнювати або прискорювати роботу таймера. Це значення зберігається в EEPROM. Якщо в цьому режимі натиснути кнопку «START/STOP», цей параметр буде скинутий до значення за замовчуванням.

2.АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

2.1. Аналіз схеми електричної принципової

Цей таймер призначений для точного зворотного відліку заданих часових інтервалів від 1 секунди до 99 хвилин. Він має можливість встановлення часу зворотного відліку у форматі хвилин та секунд.

Роздільна здатність в діапазоні від 1 секунди до 9 хвилин і 59 секунд становить 1 секунду, а в діапазоні від 10 до 99 хвилин збільшується до 10 секунд. Вбудоване реле та просте інтуїтивне управління дозволяють використовувати даний таймер у нескладних системах автоматизації.



Рисунок 2.1. Зовнішній вигляд проектованого таймера

Живлення схеми таймера здійснюється від джерела постійного струму з напругою в діапазоні 8 ... 12 В. Випрямний діод VD1 захищає від помилкової полярності підключення. Напруга живлення стабілізовано DA1. Основою таймера є мікроконтролер ATtiny261, який працює від внутрішнього тактового генератора.

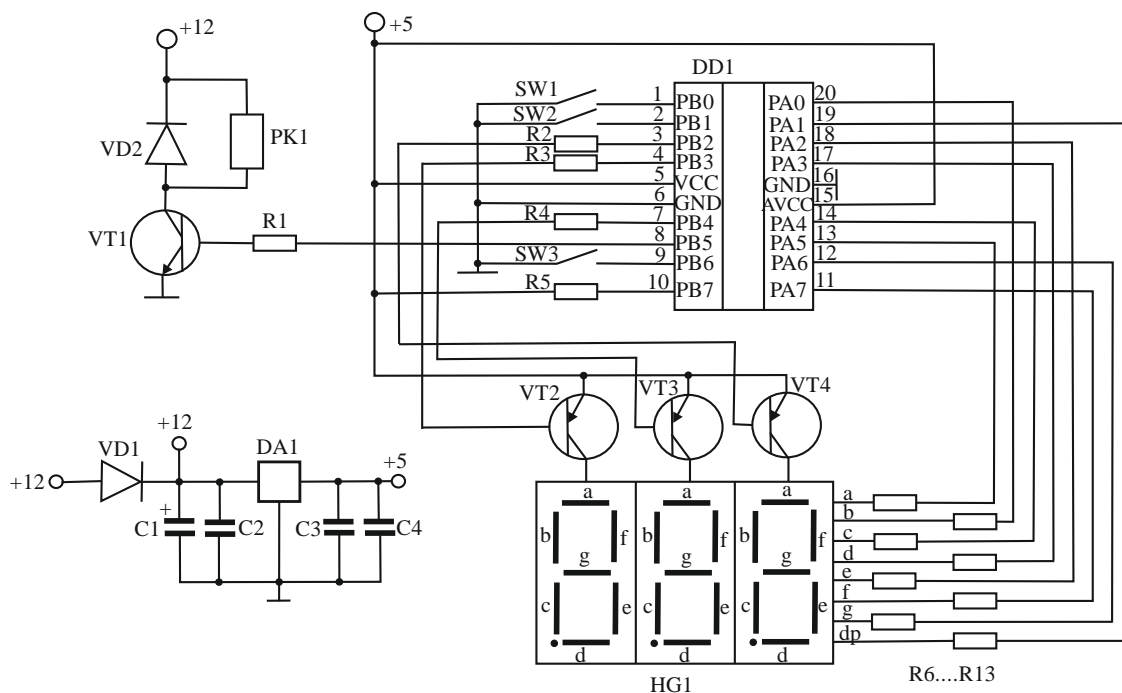


Рисунок 2.2. Електрична принципова схема проектованого пристрою

Стан роботи відображається на трирозрядному 7-сегментному дисплеї із загальним анодом. Катоди мультиплексованого світлодіодного дисплея з'єднані через струмообмежуючі резистори $R6...R13$ з портами $PA0...PA7$ мікроконтролера. Роль ключів, що управляють анодами дисплея, виконують транзистори $VT2...VT4$, які підключені до портів $PB2...PB4$ мікроконтролера ATtiny261.

Як виконавчий елемент використано електромагнітне реле на 12В з нормально замкнутими і нормально розімкненими контактами 8А/230В.

Для керування таймером використовуються три кнопки $SW1...SW3$. Управління таймером просте та інтуїтивно зрозуміле. Кнопки $SW1$ та $SW2$ використовуються для збільшення або зменшення значення, а кнопка $SW3$ використовується для початку зворотного відліку. Кожне натискання кнопки $SW2$ збільшує значення, а натискання кнопки $SW1$ зменшує його. Щоб змінити значення швидше, необхідно утримувати кнопку довше.

На дисплеї в діапазоні від 1 секунди до 9 хвилин 59 секунд зміна становить 1 секунду, а вище діапазону — 10 секунд. Встановлене значення зберігається в

незалежній пам'яті, тому немає необхідності вводити його знову після повторного ввімкнення пристрою.

Миготіння точки третього розряду вказує на роботу таймера. Після запуску зворотного відліку в будь-який момент, натиснувши кнопку SW3, можна зупинити роботу таймера. У цьому режимі цифри на дисплеї блимають. Повторне, коротке натискання кнопки SW3 відновить зворотний відлік, тоді як тривале натискання кнопки SW3 поверне пристрій до початкового значення.

2.1. Вибір елементної бази

Мікроконтролер ATtiny261

- Високопродуктивний 8-розрядний мікроконтролер AVR® з низьким енергоспоживанням
- Розширена архітектура RISC
 - 123 потужні інструкції – виконання більшості одиночних циклів
 - 32 x 8 робочих регістрів загального призначення
 - повністю статична робота
- Енергонезалежна пам'ять програм і даних
 - 2/4/8 КБ флеш-пам'яті внутрішньосистемної програмованої програми;
 - Витривалість: 10 000 циклів запису/стирання
 - 128/256/512 байт внутрішньосистемного програмованого EEPROM.
 - Витривалість: 100 000 циклів запису/стирання
 - 128/256/512 байт внутрішньої SRAM;
 - блокування програмування для самостійного програмування флеш-програм і даних EEPROM.

Безпека

- Периферійні функції

- 8/16-розрядний таймер/лічильник з попереднім дільником і двома ШІМ-каналами;
- 8/10-бітний високошвидкісний таймер/лічильник з окремим попереднім дільником;

3 високочастотні ШІМ-виходи з окремими вихідними регістрами порівняння

Програмований генератор мертвого часу

- універсальний послідовний інтерфейс із детектором умов запуску;
- 10-розрядний АЦП.

11 односторонніх каналів;

16 пар каналів диференціального АЦП;

15 пар каналів диференціального АЦП із програмованим посиленням (1x, 8x, 20x, 32x);

- програмований сторожовий таймер з окремим вбудованим генератором;
- вбудований аналоговий компаратор.

- Спеціальні функції мікроконтролера:

- вбудована система налагодження debugWIRE;
- внутрішньосистемне програмування через порт SPI;
- зовнішні та внутрішні джерела переривань;
- режими холостого ходу з низьким енергоспоживанням, зменшення шуму АЦП і режими вимкнення живлення;
- покращена схема скидання при включенні;
- програмована схема виявлення затемнення;
- внутрішній калібрований осцилятор.

- Введення/виведення та пакети

- 16 програмованих ліній введення/виведення;

– 20-контактний PDIP, 20-контактний SOIC і 32-контактний MLF.

• Робоча напруга:

– 1,8 - 5,5 В;

– 2,7 - 5,5 В.

• Клас швидкості:

– 0–4 МГц при 1,8–5,5 В, 0–10 МГц при 2,7–5,5 В;

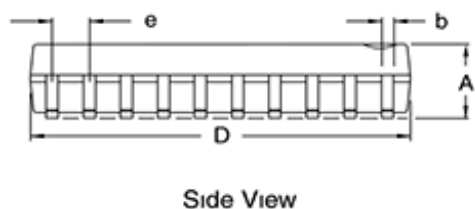
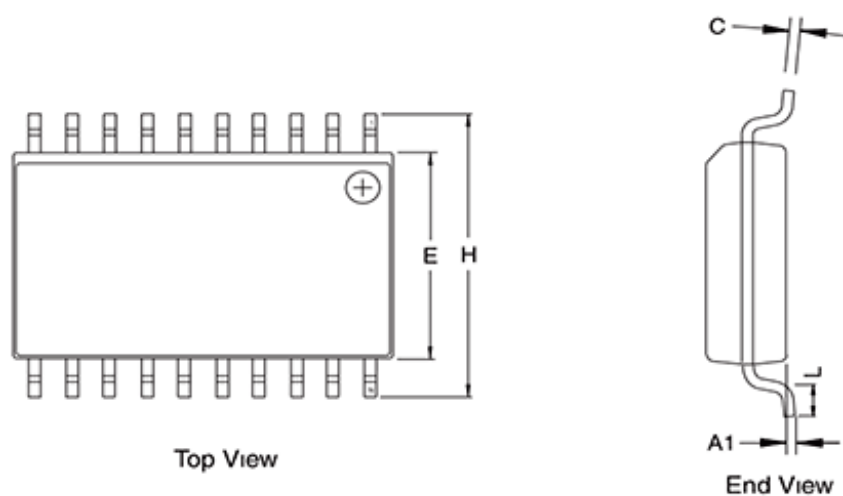
– 0–10 МГц при 2,7–5,5 В, 0–20 МГц при 4,5–5,5 В.

• Промисловий температурний діапазон

• Низьке енергоспоживання

– активний режим: 1 МГц, 1,8 В: 380 мкА

– режим вимкнення живлення: 0,1 мкА при 1,8 В



COMMON DIMENSIONS
(Unit of Measure – mm)

SYMBOL	MIN	NOM	MAX	NOTE
A	2.35		2.65	
A1	0.10		0.30	
b	0.33		0.51	4
C	0.23		0.32	
D	12.60		13.00	1
E	7.40		7.60	2
H	10.00		10.65	
L	0.40		1.27	3
e	1.27 BSC			

Рисунок 2.3. Мікроконтролер ATtiny261

Діод 1N4007

Випрямний діод загального призначення у корпусі DO-41. Вага: 0,340 грам (приблизно). Максимальна температура пайки $+260^{\circ}\text{C}$ протягом 30 секунд відповідно до JEDEC J-STD-020. Матеріал корпусу – формований пластик, рейтинг горючості UL 94V-0. Клеми: покриття – матові луджені виводи, які можна спаювати відповідно до MIL-STD-202, метод 208

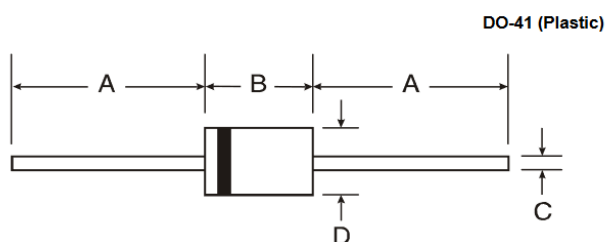


Рисунок 2.4. Діод 1N4007

Таблиця 2.1. Розміри діода в мм

Dim	Min	Max
A	25.40	–
B	4.06	5.21
C	0.71	0.864
D	2.00	2.72

Таблиця 2.2. Характеристики діода

Номінальний струм, $I_{пр}$	1 А
Максимальна зворотна напруга, $U_{зв}$	1000 В
Діапазон робочих температур	$-55^{\circ}\text{C}..+150^{\circ}\text{C}$
Корпус	DO-41

Катод діода позначений сірою смужкою.

Транзистор BC548

Транзистор BC548 - кремнієвий високочастотний біполярний транзистор з n-p-n структурою. Випускається у пластмасовому корпусі (ТО-92) з гнучкими виводами

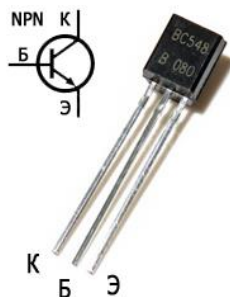


Рисунок 2.5. Цоколівка транзистора BC548

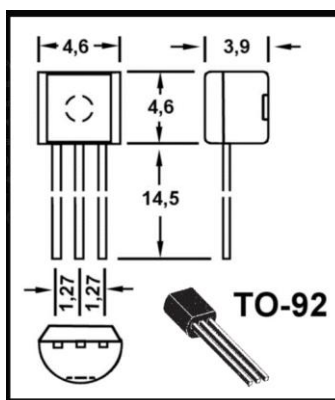


Рисунок 2.6. Корпус транзистора BC548

Таблиця 2.3. Характеристики транзистора BC548

Транзистор	$U_{кбо(и)}, В$	$U_{кео(и)}, В$	$I_{кmax(и)}, МА$	$P_{кmax(т)}, МВт$	h_{21e}	$f_{гр.}, МГц$
BC548A	30	30	100	500	110-220	150
BC548B	30	30	100	500	200-450	150
BC548C	30	30	100	500	420-800	150

$U_{кбо(и)}$ - максимально допустима напруга (імпульсна) колектор-база;

$U_{кео(и)}$ - максимально допустима напруга (імпульсна) колектор-емітер;

$I_{kmax(i)}$ - максимально допустимий постійний (імпульсний) струм колектора;

$P_{kmax(t)}$ - максимально допустима постійна потужність колектора, що розсіюється, без тепловідведення (з тепловідведенням);

h_{fe} - коефіцієнт посилення транзистора струмом;

$f_{Гр}$ - гранична частота коефіцієнта передачі струму.

Транзистор BC557

Транзистор BC557 – кремнієвий малопотужний біполярний транзистор р-п-р структури. Використовуються у схемах підсилювачів низької та високої частоти. Випускається у пластмасовому корпусі з гнучкими виводами.

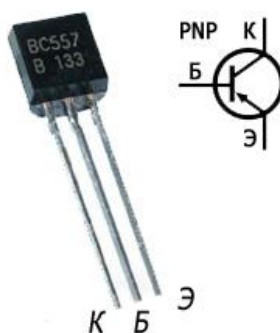


Рисунок 2.7. Цоколівка транзистора BC557

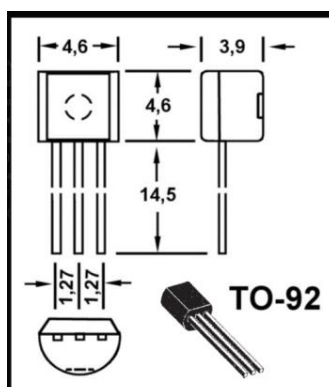


Рисунок 2.8. Корпус транзистора BC557

Таблиця 2. 4. Характеристики транзистора BC557

Транзистор	$U_{кбо(и)}, В$	$U_{кео(и)}, В$	$I_{кmax(и)}, мА$	$P_{кmax(т)}, мВт$	h_{fe}	$f_{гр.}, МГц$
BC557A	-50	-45	100	500	110-220	150
BC557B	-50	-45	100	500	200-450	150
BC557C	-50	-45	100	500	420-800	150

$U_{кбо(и)}$ - максимально допустима напруга (імпульсна) колектор-база;

$U_{кео(и)}$ - максимально допустима напруга (імпульсна) колектор-емітер;

$I_{кmax(и)}$ - максимально допустимий постійний (імпульсний) струм колектора;

$P_{кmax(т)}$ - максимально допустима постійна потужність колектора, що розсіюється, без тепловідведення (з тепловідведенням);

h_{fe} - коефіцієнт посилення транзистора струмом;

$f_{гр}$ - гранична частота коефіцієнта передачі струму.

Конденсатор ССТ-100N/50V-S

Керамічний конденсатор

Технічні параметри:

Маркування: 104

Номинальна ємність: 100 нФ (0,1 мкФ)

Номинальна напруга: 50В

Допустимо відхилення від номіналу: $\pm 20\%$

Робоча температура: $-55^{\circ}\text{C} \dots +125^{\circ}\text{C}$

Шаг між виводами: 5.08 мм.

Тип конденсатора: Керамічний

Діелектрик : X7R

Позначення виробника: ССТ-100N/50V-S

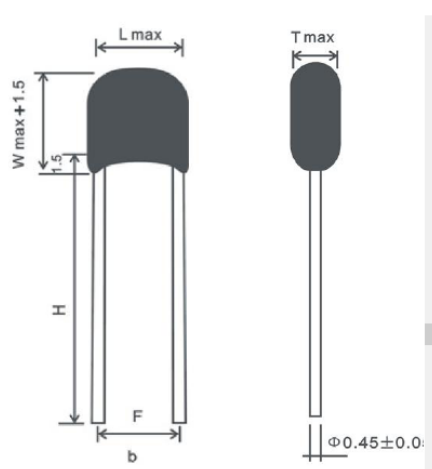


Рисунок 2.9. Конденсатор ССТ-100N/50V-S

Таблиця 2.5. Розміри корпусу конденсатора

Розміри, мм						Напруга, В	Ємність, нФ
b	F, ($\pm 0,5$)	H _{min} , (± 1)	L _{max}	W _{max}	T _{max}		
5,08	5,50	10,0	10,5	9,5	4,2	25	103~105
5,08	5,50	10,0	10,5	9,5	4,2	50	103~105
5,08	5,50	10,0	10,5	9,5	4,2	100	103~474

Конденсатор ВИШАЙ МАЛ215050101Е3

Алюмінієві електролітичні конденсатори радіальні мініатюрні, з низьким імпедансом.

Особливості:

- Дуже довгий термін служби: від 4000 до 10 000 годин при 105 °С, висока стабільність, висока надійність
- Дуже низький імпеданс і низьке ESR у корпусах менших розмірів, ніж серія 136 RVI
- Відмінна здатність до пульсацій
- Сертифікація AEC-Q200
- Поляризовані алюмінієві електролітичні конденсатори, нетвердий електроліт
- Радіальні виводи, циліндричний алюмінієвий корпус із скиданням тиску, ізолюваний синьою втулкою
- Стійкість до заряду та розряду

Використання:

- Джерела живлення (SMPS, DC/DC перетворювачі) для загальної промисловості, EDP, аудіо-відео, автомобільної та телекомунікаційної промисловості
- Згладжування, фільтрація, буферизація

Коротка технічна характеристика

Номінальні розміри корпусу (Ш Г х Д в мм): від 8 x 12 до 18 x 40;

Діапазон номінальної ємності, C_R : від 22 мкФ до 8200 мкФ;

Допуск на C_R : $\pm 20\%$;

Діапазон номінальних напруг U_R : від 10 В до 100 В;

Категорія діапазону температур: від -55 °С до +105 °С;

Випробування на міцність при 105 °С: від 3000 до 6000 годин;

Термін служби при 105 °С: від 4000 до 10 000 годин;

Термін служби при 40 °С, 1,8 x I_ч : від 200 000 до 500 000 годин;

Термін зберігання при 0 В, 105 °С: 1000 год;

Кліматична категорія: ІЕС 60068 55 / 105 / 56.

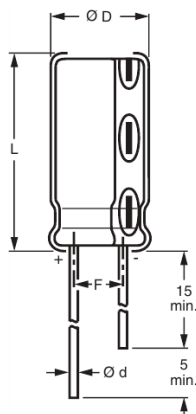


Рисунок 2.10. Конденсатор ВИШАЙ МАЛ215050101ЕЗ

Таблиця 2.6. Таблиця розмірів конденсатора

Діаметр виводів d , мм	Діаметр корпусу D , мм	Висота корпусу L , мм	Відстань між виводами F , мм	Маса конденсатора, г
0,6	8,5	13,0	$3,5 \pm 0,5$	~1,1

Стабілізатор LM78L05 з фіксованим виходом

Даний стабілізатор дозволяє полегшити проектування радіоелектронних схем зі значною кількістю друкованих плат, яким подається нестабілізована постійна напруга, і на кожній платі окремо монтується свій стабілізатор.

Мікросхема - стабілізатор 78L05 (7805) має тепловий захист, а також вбудовану систему, що оберігає стабілізатор від перевантаження по струму. Тим не

менш, для більш надійної роботи бажано застосовувати діод, що дозволяє захистити стабілізатор від короткого замикання у вхідному ланцюзі.

Електричні характеристики стабілізатора:

- Вхідна напруга: від 7 до 20 вольт
- Вихідна напруга: від 4,5 до 5,5 вольт
- Вихідний струм (максимальний): 100 мА
- Струм споживання (стабілізатором): 5,5 мА
- Допустима різниця напруги вхід-вихід: 1,7 вольт
- Робоча температура: від -40 до +125 °С.

TO-92

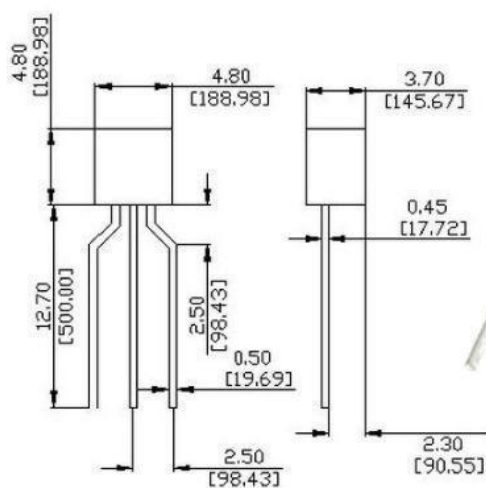


Рисунок 2.11. Стабілізатор LM78L05 з фіксованим виходом

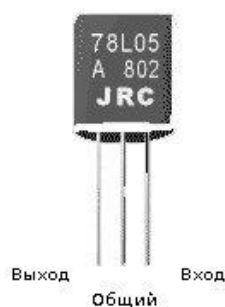


Рисунок 2.12. Пін стабілізатора LM78L05 з фіксованим виходом

Трирозрядний 7-сегментний дисплей із загальним анодом BA56-12EWA

0.56 дюймовий семисегментний 3-циферний індикатор із загальним анодом. Кількість виводів – 12. Колір світлодіодів – червоний. Індикація динамічна.

Таблиця 2.7. Характеристики дисплея

Артикул	BA56-12GWA
Монтаж	ТНТ
Виробник	KINGBRIGHT ELECTRONIC
Колір	зелений
Розміри	19x37,6мм
Сила світла	3...10,5мкд
Довжина хвилі λ_d	568нм
Вид дисплея	7-сегментный

Кількість знаків	3
Тип дисплея	LED
Висота знака	14,2мм
Загальний вивод	анод
Висота знака	0.56"
Позначення виробника	BA56-12GWA
Матеріал	GaP
Колір світіння	зелений
Мінімальна сила світла $I_{v \min}$	3mcd
Максимальна сила світла $I_{v \max}$	10,5mcd
Кількість сегментов	7
Кількість розрядов	3
Схема включення	загальний анод
Висота знака	14,22мм
Максимальна пряма напруга	2,5V
Максимальна зворотна напруга	5V
Максимальний прямий струм	25mA
Максимальний імпульсний прямий струм	140mA
Робоча температура	-40...85°C

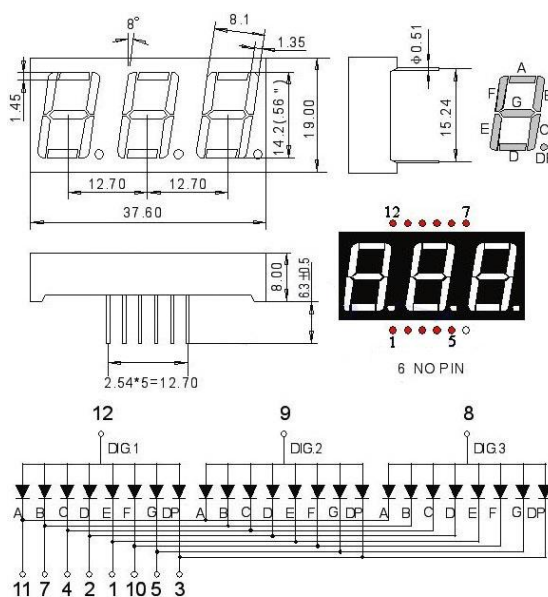


Рисунок 2.13. Трирозрядний 7-сегментний дисплей із загальним анодом BA56-12EWA

Електромагнітне реле на 12В з нормально замкнутими та нормально розімкненими контактами 8А/230В.

Технічні характеристики:

- Виробник: Tengfei
- Габаритна висота, мм: 15
- Габаритна довжина, мм: 19
- Габаритна ширина, мм: 15
- Кількість виводів: 5
- Усі характеристики: 19x15xh15мм; 8А/230VAC; 1 група контактів; 5pin; перемикаюче

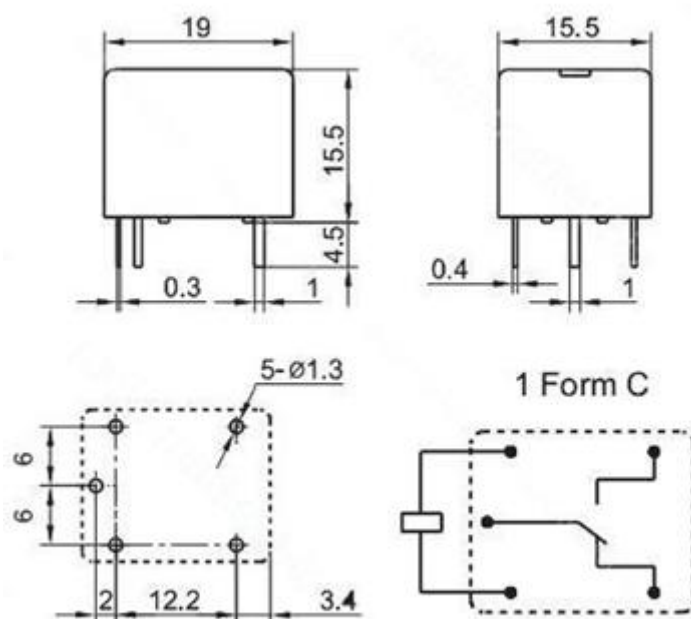


Рисунок 2.14. Електромагнітне реле на 12В з нормально замкнутими та нормально розімкненими контактами 8А/230В.

Кнопка PBS-1203С із фіксацією OFF-ON1-ON2

Таблиця 2.8. Технічні характеристики

Серія/Типорозмір	PBS-12
Тип перемикача	Кнопка
Кількість положень	3
Кількість стабільних положень	3
Кількість полюсів	1
Контактні групи	SPDT
Алгоритм роботи	OFF-ON ₁ -ON ₂

Максимальний струм	1 А
Макс. напруга DC	30 V
Орієнтація штовхача	Вертикальна
Підсвічування	Ні
Спосіб ел. монтажу	Паяння в отвори
Матеріал корпусу	Пластик
Робоча температура	-20°C ... +70°C

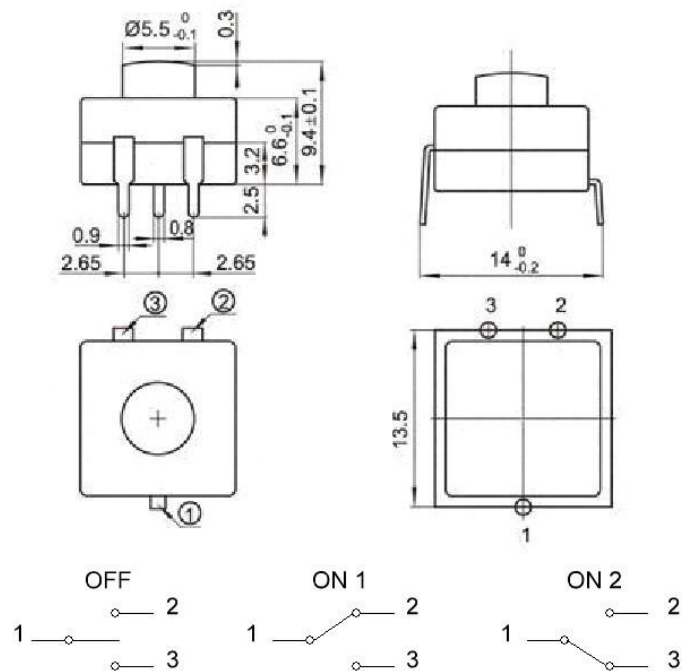


Рисунок 2.15. Кнопка PBS-1203C із фіксацією OFF-ON1-ON2

Резистори С2 – 23

Постійні метало-плівкові (MFR) неізолювані

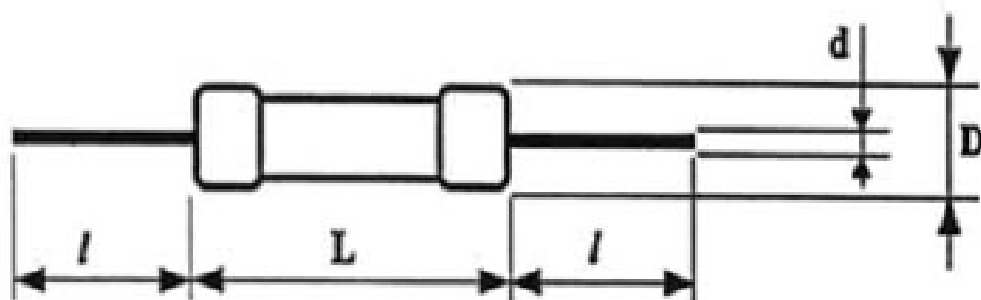


Рисунок 2.16. Резистори С2 - 23

Таблиця 2.9. Розміри резистора

Тип резистора	Розміри, мм				Маса, г, не більше
	L	D	d	l	
C2-23-0,125	6,0	2,2	0,5±0,06	20±3	0,15
C2-23-0,25	7,0	3,0	0,6±0,06	20±3	0,25
C2-23-0,5	10,8	4,2	0,8±0,06	20±3	1,0

Таблиця 2.10. Основні технічні характеристики

Вид резисторів	Номинальна потужність розсіювання, $R_{\text{ном}}$, Вт	Межі номінального опору, $R_{\text{ном}}$, Ом	Гранична робоча напруга постійного струму, В або змінного струму $V_{\text{эф}}$, при атмосферному тиску, Па	
			4400 і вище	Нижче 4400
C2-23-0,125	0,125	Від 1 до $3,01 \times 10^6$	200	150
C2-23-0,25	0,25	Від 1 до $5,11 \times 10^6$	250	200
C2-23-0,5	0,5	Від 1 до $5,1 \times 10^6$	350	300

Таблиця 2.11. Допутимі відхилення опору

Межі номінального опору, $R_{\text{ном}}$, Ом	Допустиме відхилення, %
Від 0,2 до 0,91 Ом	$\pm 5,0$; $\pm 10,0$
Від 1 до 10 Ом	$\pm 2,0$; $\pm 5,0$; $\pm 10,0$
Від 10 Ом до 1 МОм	$\pm 0,5$; $\pm 1,0$; $\pm 2,0$; $\pm 5,0$; $\pm 10,0$
Від 1 МОм до 5,11 МОм	$\pm 0,2$; $\pm 5,0$; $\pm 10,0$

Проміжні значення номінальних опорів відповідають ряду E96 для резисторів з відхиленнями $\pm 0,5$; ± 1 ; $\pm 2,0\%$ і ряду E 24 ГОСТ 28784 з відхиленнями $\pm 5,0$, що допускаються; $\pm 10,0\%$.

Таблиця 2.12. Рівень шумів і групи резисторів

Межі номінального опору, $R_{\text{ном}}$, Ом	Рівень шумів, мкВ/В, трохи більше	Позначення групи
До 10 кОм	1	А
Вище 10 кОм	1	А
	5	Б
	ненормований	Без позначення

Таблиця 2.13. Значення температурного коефіцієнта опору (ТКО)

Позначення групи з ТКО	$P_{\text{ном}}$, Вт	$R_{\text{ном}}$, Ом	Допустиме відхилення, %	ТКО, $\times 10^{-6}$ $1/^{\circ}\text{C}$ в інтервалі температур, не більше	
				20...155 $^{\circ}\text{C}$	60...20 $^{\circ}\text{C}$
Б	0,125; 0,25; 0,5	10-1.10 ⁶	$\pm 0,5$; $\pm 1,0$; $\pm 2,0$	± 50	± 150
В	0,125; 0,25; 0,5	10-1.10 ⁶	$\pm 1,0$; $\pm 2,0$; $\pm 5,0$; $\pm 10,0$	± 100	± 300
Г	0,125; 0,25; 0,5	1-1.10 ⁶	$\pm 2,0$; $\pm 5,0$; $\pm 10,0$	± 2000	± 500
Д	0,125; 0,25; 0,5	1-1.10 ⁶	$\pm 2,0$; $\pm 5,0$; $\pm 10,0$	± 500	± 800
Е		1-1.10 ⁶	$\pm 5,0$; $\pm 10,0$	± 1000	± 1200

Зміна опору резисторів протягом напрацювання в межах часу, що дорівнює терміну збереження, має бути не більше: $\pm 1\%$ для резисторів C2-23-0,125; C2-23-0,25 з номінальним опором понад 10 Ом до 1 МОм з відхиленням (± 0.5 ; ± 1.0)%; $\pm 2,0\%$ або $\pm 0,1$ Ом залежно від того, яке із значень більше для інших резисторів.

2.2. Аналіз умов експлуатації

Друкована плата (ДП) розробляється першого рівня модульності - осередки.

До електронної апаратури, що відноситься до заданого класу (стаціонарна), пред'являються такі вимоги:

- віброміцність;
- удароміцність;
- стійкість до підвищеної температури;
- стійкість до зниженої температури;
- при транспортуванні.

Умови експлуатації електронної апаратури

Дестабілізуючі фактори в ДП викликають складні фізико-механічні процеси, що змінюють фізико-механічні (розширення, розм'якшення, знегажування, деформацію, короблення, прогин, скручування ДП) та електрофізичні властивості матеріалу основи ДП (електропровідність, навантажувальна здатність друкованих проводів) та викликають відмови електронної апаратури (ЕА). Для даного класу ЕА (наземна) та для даного класу жорсткості 1 при кліматичних впливах допустимі такі значення факторів, що впливають:

Таблиця 2.14. Узагальнені значення механічних факторів, що впливають для класу наземної ЕА

Фактор, що впливає	Клас ЕА
	Наземна
Вібрація: частота, Гц прискорення, g	10...70 1...4
Багаторазові удари: -прискорення, g -тривалість, мс	10...15 5...10
Поодинокі удари: -прискорення, g -тривалість, мс	50...1000 0,5...10
Лінійне прискорення, g	2...5
Акустичні шуми: -Рівень, дБ -Частота, Гц	85...125 50...1000

Важливу роль розробки ДП грає як облік механічних впливів, а й кліматичних. Для першої групи жорсткості при кліматичних впливах допустимі значення чинників наведено у таблиці 2.15.

Таблиця 2.15. Допустимі значення кліматичних факторів

Температура, К	Верхнє значення 328
	Нижнє значення 248
Відносна вологість, %	75 при температурі до 308 К
Перепад температур, К	от 248 до 328
Атмосферний тиск, Па (мм.рт.ст)	Нормальне

Вплив дестабілізуючих факторів на ДП під час використання та способи запобігання їх впливу на етапах конструювання та виробництва ДП представлено в наступній таблиці 2.16

Таблиця 2.16. Вплив факторів, що дестабілізують, на ДП.

Фактор, що впливає	Прискорювані деградаційні процеси	Способи запобігання впливу факторів, що впливають на етапі конструювання та виробництва ДП
Висока температура	Розширення, розм'якшення, знегажування, деформація ДП: короблення, прогин, скручування	<ol style="list-style-type: none"> 1. Застосування нагрівальних матеріалів. 2. Вибір мінімальних розмірів ДП. 3. Вибір матеріалів ДП з близьким ТКЛР у поздовжньому та поперечному напрямку та з міддю.
	Зменшення електропровідності, здатності навантаження провідників по струму, погіршення діелектричних властивостей	<ol style="list-style-type: none"> 1. Збільшення ширини та товщини провідників. 2. Застосування матеріалів із низькими діелектричними втратами
	Перегрів кінцевих контактів ДП, збільшення їх перехідного опору	Вибір гальванічного покриття зі стабільними перехідними опорами при нагріванні
	Висихання та розтріскування захисних покриттів	Вибір покриття, стійкого до високої температури

Низька температура	Зменшення електропровідності, здатності навантаження по струму, погіршення діелектричних властивостей внаслідок конденсації вологи, деформація, стиск, крихкість; електрохімічна корозія провідників	1. Збільшення ширини та товщини провідників. 2. Вибір матеріалів ДП, стійких до низьких температур.
--------------------	--	--

Механічні напруги, що викликають деформацію або втрату механічної міцності ДП; втомні зміни ДП (руйнування); Порушення електричних контактів 1. Відбудова ДП від резонансу для виходу нижчого значення власної частоти із спектра частот зовнішніх впливів:

- а) шляхом вибору довжини, ширини та товщини ДП;
- б) зміною сумарної маси встановлених на ДП електрорадіоелементів (ЕРЕ);
- в) вибором матеріалу основи ДП;
- г) вибором способу закріплення сторін ДП у модулях вищого конструктивного рівня.

. Підвищення механічної міцності та жорсткості ДП:

- а) приклеюванням ЕРЕ до настановних поверхонь ДП;
- б) покриття лаком ДП разом із ЕРЕ;
- в) заливання компаундами;
- г) збільшенням площі опорних поверхонь;
- д) використанням матеріалів з високими властивостями, що демпфують;
- е) демпфуючі покриття;

3. РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ПРИСТРОЮ

3.1. Вибір конструкції і класу точності друкованої плати

Ступінь конструкторської складності функціонального вузла впливає на тип конструкції ДП та метод виготовлення. Залежно від складності функціонального пристрою (ФП) застосовують різні типи конструкції ДП: односторонні, двосторонні (ДДП), багатошарові ДП (БДП). Середня конструкторська складність ФП потребує застосування БДП чи ДПП.

У цьому варіанті є параметри ФП, що впливає на конструкцію ДП. Вибір компонування структури осередків ЕА. Тип збирання - двостороння змішана установка на контактні майданчики та в отвори. Вибираємо тип ДП – ДДП орієнтовно.

Приклад даного типу збирання зображений на рисунку 3.1.

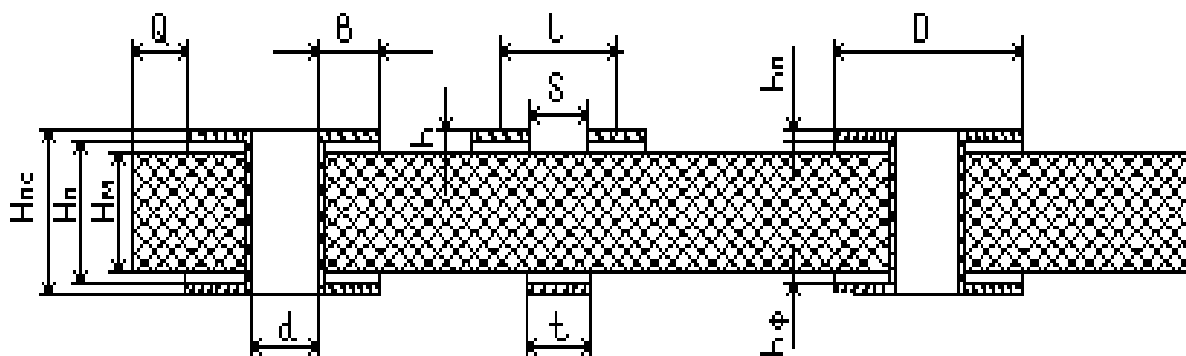


Рисунок 3.1. Тип сборки двосторонньої друкованої плати

При виборі типу конструкції ДП враховують:

- тип елементної бази;

- варіант компонування структури осередку;
- можливість виконання всіх комутаційних з'єднань, що залежить від функціональної та конструкторської складності вузла;
- техніко-економічні показники (вартість, технологічність, рівень уніфікації та стандартизації та ін);
- можливість автоматизації процесів виготовлення, контролю та діагностики, установки ЕРЕ з обліку застосовуваного обладнання.

Тип елементної бази для даної ДП: поверхнево-монтажні компоненти (ПМК). Застосування БДП підвищує надійність ЕА, дозволяє підвищити щільність монтажу, спростити складання ЕА тощо. Для забезпечення високої швидкодії ЕА необхідно збільшити щільність монтажу, вибрати відповідний матеріал основи ДП, зменшення довжини електричних зв'язків.

Таблиця 3.1. Номінальні значення основних параметрів для класів точності ДП.

Умовні позначення елементів друкарського монтажу	Клас точності ДП				
	1	2	3	4	5
H, мм					
t, мм	0,75	0,45	0,25	0,15	0,10
s, мм	0,75	0,45	0,25	0,15	0,10
d, мм	0,30	0,20	0,10	0,05	0,025
$\gamma = d / H$	0,40	0,40	0,33	0,25	0,20
Δt , мм (без покриття)	$\pm 0,15$	$\pm 0,10$	$\pm 0,05$	$\pm 0,03$	0; -0,03

Δt , мм (з покриттям)	+0,25; - 0,20	+0,15 - 0,10	$\pm 0,10$	$\pm 0,05$	$\pm 0,03$
T, мм (ОДП и ДДП)	0,15	0,10	0,05	0,03	0,03
T, мм	0,20	0,12	0,10	0,05	0,03

Де t – ширина провідника; s – відстань між провідниками; b – мінімально допустима ширина контактного майданчика; d – діаметр отвору; H – товщина ПП; Δt – граничне відхилення ширини друкованого провідника; T – позиційний допуск розташування друкованих провідників.

Для стаціонарної ЕА характерна відсутність механічних впливів, а також високої та низької температури, під час роботи, проте, вона може піддаватися вібраціям, ударам, а також впливу високих та низьких температур під час транспортування. До стаціонарної ЕА зазвичай не пред'являються високі обмеження за габаритами та масою.

Грунтуючись на наведених вище критеріях, виберемо третій (3) клас точності. Його основні характеристики наведені у таблиці 3.2.

Виходячи з класу точності (3) та типу конструкції ДП та елементної бази встановлюваних компонентів, як метод виготовлення ДП вибираємо метод металізації наскрізних отворів.

Таблиця 3.2. Область застосування та технологічне обґрунтування класу точності

Клас точності	Область застосування	Обладнання	Основні матеріали	Допоміжні матеріали	Тип виробництва
3	Для ДП з ЕРІ та ПМК, що мають штиркові та планарні виводи, а також з безвивідним і компонентами, за середнього та високого ступеня насиченості поверхні ДП	Фотокоординатограф, фотоплоттер, свердлильно-фрезерний верстат з ПК, лінії хіміко-гальванічної металізації та травлення модульного типу.	На основі склотканини і з гальваностійкою фольгою товщиною не більше 35 мкм.	Сухий плівковий фоторезист (СПФ)	Від дрібносерійного до великосерійного

Конструкція друкарського провідника під час виготовлення ДП методом металізації наскрізних отворів:

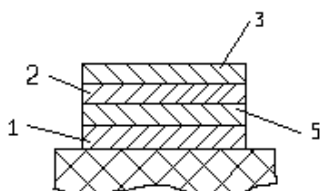


Рисунок 3.2. Конструкція друкарського провідника під час виготовлення МПП методом металізації наскрізних отворів.

- Мідна фольга (товщина $h = 5$ мкм)
- гальванічна мідь (товщина $h = 25$ мкм)
- металорезист (товщина $h = 9$ мкм)
- Хімічна мідь (товщина $h = 2$ мкм).

При виборі матеріалу основи ДП необхідно звернути увагу на передбачувані механічні дії (вібрації, удари, лінійне прискорення тощо); клас точності ДП (відстань між провідниками); реалізовані електричні функції; об'єкт, на який встановлюється ЕА; швидкодія; умови експлуатації, вартість. Для ЕА стаціонарної групи 3-го класу точності, 1-го класу жорсткості найбільш підходящою є двошарова друкована плата з основою з армованого теплостійкого склотекстоліту (СТПА-5-2).

Таблиця 3.3. Основні характеристики матеріалів основи ДП

Критерії оцінки	ГФ-1 ГФ-2	СФ-1 СФ-2	СТНФ -1,2 СТФ- 1,2	ФДМ- 1,2	ФАФ -4Д	СТПА -5 СТАП	Поліамід
Поверхневий опір, Ом	10^8	$5 \cdot 10^{10}$	10^{12}	10^{14}		$5 \cdot 10^{11}$	10^{14}
Питомий об'ємний опір, Ом*м	$5 \cdot 10^7$	$1,4 \cdot 10^{13}$	$2 \cdot 10^{12}$	$9 \cdot 10^{11}$	10^{17}	10^{11}	10^{14}
Діелектрична постійна при 1 МГц	7,0	5,5	5,4	4,7	2,2	5,4	3,5

Тангенс кута діелектричних втрат при 1 МГц	0,07	0,035	0,03... 0,0035	0,024	0,0002	0,025	0,01...0,02
Опір ізоляції, МОм	10 ³	10 ⁴	10 ⁶	10 ⁴			
Електрична міцність, МВ/м	15... 30	15... 35		15... 35	25... 250		30...200
Межа міцності при згинанні, Н/мм ²							
У поздовжньому напрямку	115	280		180			
Стійкість до дії ванни для паяння, °С/с	260/5	260/20	260/30	260/20		260/30	260/60
Вологопоглинання, %, мг, менше	2,9 60	0,3 6,4	0,20... 0,25	1,5		15	2,9
Межа робочих температур, °С	-60 +85	-60 +85	-60 +105	-60 +100	+113		-196+400
Горючість відповідно до UL94			V-0				
Міцність зчеплення фольги з діелектриком на смужці 3 мм, Н	2,7	3,0	4,5	3...3,6		3,6	2,6...3,9

При виборі габаритних розмірів ДП необхідно визначити сумарні настановні площі елементів функціонального вузла; визначити максимально допустиму довжину друкарського провідника; визначити площу ДП з урахуванням рекомендованого коефіцієнта заповнення ДП для цієї групи ЭА; розглянути кілька варіантів співвідношення сторін ДП та вибрати довжину та ширину ДП; визначити товщину ДП; визначити довжину електричних зв'язків, товщину ДДП.

Лінійні розміри друкованої плати, встановлені ГОСТ 10317-79, слід вибрати з таблиці 3.4.

Таблиця 3.4. Лінійні розміри ДП за ГОСТ 10317-79

Ширина, мм	Довжина , мм	Ширина, мм	Довжина , мм	Ширина, мм	Довжина , мм	Ширина, мм	Довжина , мм
20	30	60	90	100	120	140	150
	40		100		130		200
30	40		140	110	150	150	150
40	60		150		170		170
45	75	75	75	120	120		180
	80		80		140		200
50	60		140		150	160	170
	80	80	130		160		200
	100		140		170	170	180
	150	90	90		180		200
60	60		120		200		280
	80		150	130	200	200	360
			170				

При виборі типорозміру ДП необхідно звернути увагу на таке:

- Число встановлюваних на ДП корпусів елементів, число задіяних виводів інтегральних мікросхем (ІМС), настановну площу елементів.

- Швидкодія апаратури (необхідно забезпечити мінімальну затримку сигналу). Це вимагає застосування коротших ліній зв'язку та внесення обмеження на максимальну довжину провідника.

Орієнтовно площу ДП на ранніх стадіях проектування можна визначити за формулою:

$$S_{\Sigma} = k_{S_{\Sigma}} \sum_{i=1}^n S_{yi}, \quad (3.1.)$$

де $k_{S_{\Sigma}}$ - коефіцієнт, що залежить від призначення та умов експлуатації апаратури ($k_{S_{\Sigma}}= 1..3$); S_{yi} - настановна площа елементів, n – число елементів.

Відстань між корпусами двох сусідніх елементів на ДП має бути не менше ніж 1 мм, а відстань по торцю - не менше ніж 1,5 мм.

Виберемо $k_{S_{\Sigma}}=2$ для забезпечення необхідної швидкодії та відстані між корпусами елементів. При розрахунку площі ДП необхідно використовувати настановні розміри всіх ПМК та розміри з'єднувачів.

$$\begin{aligned} S_{\Sigma} &= 2 \cdot 14,17 + 56,75 + 3 \cdot 44,1 + 138,45 + 13 \cdot 13,2 + 4 \cdot 17,94 + 714,4 + 3 \cdot 196 + 285 + 17,76 = \\ &= 28,34 + 56,75 + 132,3 + 138,45 + 171,6 + 71,76 + 714,4 + 588 + 285 + 17,76 = 2\,204,36 \text{ мм}^2 \end{aligned}$$

$$L_x = 85 \text{ мм}$$

$$L_y = 90 \text{ мм}$$

$$\text{Таким чином, } S_{\text{ДП}} = L_x \cdot L_y = 85 \cdot 90 = 7\,650 \text{ мм}^2$$

3.2. Конструктивно-технологічний розрахунок друкарського монтажу

Вибираємо третій клас точності виготовлення друкованої плати. Для виготовлення друкованої плати вибираємо склотекстоліт СТПА-5-2 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 друковна плата (ДДП)
 $\delta_1 = 0,1 \text{ мм}$;
- Відстань від краю просвердленого отвору до краю контактного майданчика
 $b_m = 0,045 \text{ мм}$;

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

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

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

$I_{\text{доп}}$ - допустима щільність струму, А/мм²;

h_{ϕ} – товщина друкарського провідника (товщина фольги), мм.

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

Визначаємо мінімальну ширину $b_{\min U}$, мм, друкованого провідника виходячи з допустимого падіння напруги на ньому, за формулою

$$b_{\min U} = \rho I_{\max} \frac{1}{h_{\phi} U_{\text{доп}}}, \quad (3.3.)$$

де ρ – питомий опір фольги, Ом·мм²/м;

I - максимальна довжина сигнального друкарського провідника на платі, м;

$U_{\text{доп}}$ - допустиме падіння напруги, 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

$$b \geq b_{\min}, \quad (3.4.)$$

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 виведення елементів визначається за формулою

$$d = d_s + |\Delta d_{н.о.}| + r, \quad (3.5.)$$

де d_e - максимальний діаметр вивода елемента, що встановлюється на плату, мм; $\Delta d_{н.о.}$ – нижнє граничне відхилення номінального діаметра монтажного отвору, мм; γ - різниця між мінімальним діаметром отвору та максимальним діаметром виведення 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:

$$d_3 = 0,5 \text{ мм}$$

$$d_3 = 1,5 \text{ мм}$$

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

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

Перевіряємо найменше значення діаметра монтажного отвору на відповідність

$$d \geq d_{\min} = H \times \gamma . \quad (3.6.)$$

де H - товщина друкованої плати, мм; γ – конструктивне обмеження, пов'язане з розсіювальною здатністю електролітів, що використовуються при гальванічній металізації монтажних та перехідних отворів; d_{\min} – мінімальний діаметр перехідного отвору, мм.

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

Умова (3.5.) виконується, отже, діаметри монтажних отворів обрані правильно.

3.4 Визначення діаметрів контактних майданчиків

Контактна площадка отвору в друкованій платі забезпечує пайку виводів навісних елементів та надійний електричний контакт між ланцюгами, що розташовані на різних сторонах плати. Через особливості процесу травлення фольги бічне підтравлювання зменшуватиме дійсні розміри друкованого малюнка і частково руйнуватиме адгезійний шар між діелектриком і фольгою, що може призвести до відшаровування тонких елементів друкованого малюнка. Тому діаметр контактного майданчика має перевищувати мінімальний діаметр D_{\min} , мм, який залежить від методу виготовлення друкованої плати.

Максимальний діаметр просвердленого отвору d_{\max} , мм визначається по формулі:

$$d_{\max} = d + \Delta d + (0.1 \dots 0.15), \quad (3.7.)$$

де Δd – допуск на отвір.

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

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

Мінімальний ефективний діаметр $D_{1\min}$, мм, контактного майданчика визначається за формулою:

$$D_{1\min} = 2/(b_{\text{м}} + d_{\max} / 2 + \delta d + \delta p), \quad (3.8.)$$

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

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

Мінімальний діаметр контактного майданчика для ОДП, виготовленого хімічним методом, визначається за такою формулою:

$$D_{\min} = D_{1\min} + h_{\phi}, \quad (3.9.)$$

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

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

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

$$D_{\max} = D_{\min} + (0,02 \dots 0,06) \quad (3.10.)$$

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

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

Визначаємо мінімальні відстані між елементами провідного рисунка.

Мінімальні відстані між провідником та контактним майданчиком визначається за формулою:

$$S_{1 \min} = L_0 - [(D_{\max} / 2 + \delta_p) + (b_{\max} / 2 + \delta_l)], \quad (3.11.)$$

де δ_l – допуск на розташування провідників

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

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

Мінімальні відстані між двома контактними майданчиками визначається за такою формулою:

$$S_{2 \min} = L_0 - (D_{\max} + 2 \delta_p) \quad (3.12)$$

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

Мінімальна відстань між двома провідниками визначається за такою формулою:

$$S_{3 \min} = L_0 - (b_{\max} + 2\delta_l). \quad (3.13.)$$

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

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

$$S_{4\min} = 0,5D_{1\max} + 0,5D_{2\max} + 2\delta p + (b_{\max} + \delta)N + S(N + 1). \quad (3.14.)$$

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

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

$$S_{5\min} = 0,5D_{\max} + \delta p + (S + b_{\max} + \delta)N + S_{on}. \quad (3.15)$$

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

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

Розрахунок параметрів друкарського монтажу для оцінки стійкості до перешкод.

Проводиться для сигнальних ланцюгів і полягає у визначенні ємнісної та індуктивної складових паразитного зв'язку між елементами друкованого монтажу.

Паразитна ємність C , пФ між двома провідниками визначається за формулою:

$$C = C_{\text{пог}} \cdot L_i, \quad (3.16.)$$

де L_i - Довжина взаємного перекриття провідників, див.

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

$$C_{\text{пог}} = K_n \cdot E, \quad (3.17.)$$

де $K_{\text{п}}$ - коефіцієнт пропорційності $K_{\text{п}} = 0,27$;

E – діелектрична проникність середовища між провідниками визначається за такою формулою:

$$E = (E_{\text{п}} + E_{\text{в}}) / 2, \quad (3.18.)$$

де $E_{\text{п}}$ - діелектрична проникність матеріалу плати (для склотекстоліту СТПА-5-2 ГОСТ 10316 – 78 $E_{\text{п}} = 6$); $E_{\text{в}}$ - діелектрична проникність повітря, $E_{\text{в}} = 1$ (якщо плата покрита лаком, то діелектрична проникність лаку $E_{\text{л}} = 9$).

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

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

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

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

3.5. Розрахунок надійності

Надійність апаратури визначається надійністю і кількістю елементів, що використовуються в ній. Так як надійність є одним з основних параметрів виробу, то проектуючи апаратуру, її слід оцінити поряд з іншими параметрами і на основі цих розрахунків робити висновки про правильність обраної схеми та конструкції виробу [1].

Імовірність безвідмовної роботи $P(t_p)$ та середній час напрацювання на відмову $T_{\text{ср}}$ досить повно характеризують надійність приладу.

$$P(t_p) = e^{-\lambda \cdot t_p}, \quad (3.19.)$$

де λ – інтенсивність відмови.

$$\lambda = \sum \lambda_i, \quad (3.20.)$$

де λ_i – інтенсивність відмови і елемента.

$$T_{\text{cp}} = \frac{1}{\lambda}, \quad (3.21.)$$

Вплив зовнішніх факторів на радіоелементи оцінюється за допомогою коефіцієнта навантаження.

Для транзисторів:

$$K = \frac{P}{P_{\text{max}}}, \quad (3.22.)$$

де P - фактична потужність, що розсіюється на колекторі, P_{max} - максимальна допустима потужність, що розсіюється на колекторі.

Для резисторів:

$$K = \frac{P}{P_{\text{н}}}, \quad (3.23.)$$

де P - фактична потужність, що розсіюється на резисторі, $P_{\text{н}}$ - номінальна потужність.

Для конденсаторів:

$$K = \frac{U}{U_{\text{н}}}, \quad (3.24.)$$

де U – фактична напруга, прикладена до конденсатора, $U_{\text{н}}$ – номінальна напруга конденсатора

Для діодів:

$$K = \frac{I}{I_{\text{max}}}, \quad (3.25.)$$

де I – фактичний випрямлений струм, а I_{\max} – максимально припустимий випрямлений струм.

Розрахунок постійного струму було зроблено за допомогою програми MATLAB 2021 (таблиця 3.5.).

Таблиця 3.5. Розрахунок постійного струму

Найменування, тип елемента	Фактичне значення параметра	Номінальне значення параметра	К	α	$\lambda_0, 10^{-6}$ (1/год)	$\lambda_i = \alpha\lambda_0,$ 10^{-6} (1/год)
Діоди						
VD1 1N4007	$I=3\text{мА}$	$I_{\max}=53\text{мА}$	0,057	0,3	0,2	0,06
VD2 1N4007	$I=3\text{мА}$	$I_{\max}=53\text{мА}$	0,057	0,3	0,2	0,06
Конденсатори						
C1 ВИШАЙ МАЛ215050101Е3	$U=5\text{В}$	$U_{\text{н}}=50\text{В}$	0,01	0,2	0,08	0,016
C2 ССТ-100N/50V-S	$U=5\text{В}$	$U_{\text{н}}=50\text{В}$	0,01	0,2	0,08	0,016
C3 ССТ-100N/50V-S	$U=5\text{В}$	$U_{\text{н}}=50\text{В}$	0,01	0,2	0,08	0,016
C4 ССТ-100N/50V-S	$U=5\text{В}$	$U_{\text{н}}=50\text{В}$	0,01	0,2	0,08	0,016
Мікросхема						
АТtiny261	$I=0,05\text{нА}$	$I_{\text{вх}}=0,15\text{нА}$	0,33	0,5	0,2	0,1
Резистори						
R1 МЛТ	$P=0,013\text{Вт}$	$P_{\text{н}}=0,125\text{Вт}$	0,104	0,3	0,05	0,015
R2 МЛТ	$P=0,021\text{Вт}$	$P_{\text{н}}=0,125\text{Вт}$	0,168	0,5	0,05	0,025
R3 МЛТ	$P=0,05\text{Вт}$	$P_{\text{н}}=0,125\text{Вт}$	0,4	0,5	0,05	0,025
R4 МЛТ	$P=0,07\text{Вт}$	$P_{\text{н}}=0,125\text{Вт}$	0,56	0,7	0,05	0,035

R5 МЛТ	$P=0,07B_T$	$P_H=0,125B_T$	0,56	0,7	0,05	0,035
R6 МЛТ	$P=0,063B_T$	$P_H=0,125B_T$	0,504	0,7	0,05	0,035
R7 МЛТ	$P=0,004B_T$	$P_H=0,125B_T$	0,032	0,2	0,05	0,01
R8 МЛТ	$P=0,044B_T$	$P_H=0,125B_T$	0,352	0,5	0,05	0,025
R9 МЛТ	$P=0,044B_T$	$P_H=0,125B_T$	0,352	0,5	0,05	0,025
R10 МЛТ	$P=0,081B_T$	$P_H=0,125B_T$	0,648	0,7	0,05	0,035
R11 МЛТ	$P=0,081B_T$	$P_H=0,125B_T$	0,648	0,7	0,05	0,035
R12 СПЗ-38Д	$P=0,036B_T$	$P_H=0,125B_T$	0,288	0,5	0,04	0,02
R13 МЛТ	$P=0,102B_T$	$P_H=0,125B_T$	0,816	0,7	0,05	0,035
Транзистори						
VT1 BC548	$P=110B_T$	$P_{max}=500B_T$	0,22	0,22	0,3	0,07
VT2 BC557	$P=110B_T$	$P_{max}=500B_T$	0,22	0,22	0,3	0,07
VT3 BC557	$P=110B_T$	$P_{max}=500B_T$	0,22	0,22	0,3	0,07
VT4 BC557	$P=110B_T$	$P_{max}=500B_T$	0,22	0,22	0,3	0,07
Дисплей						
HG1 BA56-12EWA	$P=0,005B_T$	$P_{max}=0,0625B_T$	0,08	0,08	0,4	0,03
кнопки						
SW1 PBS-1203C	$P=1,6B_T$	$P_{max}=30 B_T$	0,05	0,05	0,4	0,02
SW2 PBS-1203C	$P=1,6B_T$	$P_{max}=30 B_T$	0,05	0,05	0,4	0,02
SW3 PBS-1203C	$P=1,6B_T$	$P_{max}=30 B_T$	0,05	0,05	0,4	0,02
Электромагнит- не реле						

PK1	P=1,6Вт	Pmax=30 Вт	0,05	0,05	0,4	0,02
-----	---------	------------	------	------	-----	------

Інтенсивність відмов:

$$\lambda = \sum \lambda_i = (2 \cdot 0,06 + 4 \cdot 0,16 + 1 \cdot 0,1 + 1 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,25 + 6 \cdot 0,35 + 0,01 + 0,02 + 4 \cdot 0,07 + 0,03 + 4 \cdot 0,02) \cdot 10^{-6} = 4,53 \cdot 10^{-6} \text{ 1/год}$$

Середнє напрацювання на відмову:

$$T_{\text{ср}} = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{4,53 \cdot 10^{-6}} = 2,2 \cdot 10^5 \text{ год}$$

$$P(t_p) = e^{-\lambda t_p} = e^{-4,53 \cdot 10^{-6} \cdot 5000} = 0,98$$

З наведених розрахунків можна сказати, що таймер, що розробляється, буде безвідмовно працювати 5000 годин з ймовірністю 98%.

3.6. Розрахунок віброміцності

Радіоелектронна апаратура, що встановлюється на рухомих об'єктах, у процесі експлуатації піддається вібраціям та ударам. Залежно від характеру об'єкта, частота вібрацій може лежати в діапазоні від одиниць до тисяч герц, а навантаження можуть досягати десятків g [1].

Друкована плата схеми є пластиною. Формула для розрахунку власної резонансної частоти пластини, закріпленої у чотирьох точках:

$$f_0 = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{1 + \left(\frac{b}{a}\right)^2}{b^2} \cdot \left(n^2 \cdot \left(\frac{b}{a}\right)^2 + m^2 \right) \cdot \sqrt{\frac{D}{\rho \cdot d}}, \quad (3.26)$$

$$D = \frac{E_{\text{ю}} \cdot d^3}{12 \cdot (1 - \mu^2)}, \quad (3.27.)$$

де $m, n=1, 2, 3 \dots$ - цілі позитивні числа, a – довжина плати, b – ширина плати, d – товщина плати, D – жорсткість матеріалу плати, E – модуль Юнга, μ - коефіцієнт Пуассона.

Розраховуватимемо першу моду коливань:

$$m=1, n=1, b=0,09 \text{ м}, a=0,085 \text{ м}, d=0,002 \text{ м}, \rho=1800 \text{ кг/м}^3.$$

$$D = \frac{21 \cdot 10^9 \cdot 8 \cdot 10^{-9}}{12 \cdot (1 - 0,11^2)} = 14,2,$$

$$f_0 = \frac{3,14}{2} \cdot \frac{1 + \left(\frac{0,09}{0,085}\right)^2}{0,09^2} \cdot \left(1^2 \left(\frac{0,09}{0,085}\right)^2 + 1^2\right) \cdot \sqrt{\frac{14,2}{1800 \cdot 0,002}} = 1731,885 \text{ Гц}$$

Приймемо частоту сили, що змушує $f=50$ Гц. Коефіцієнт віброізоляції дорівнює:

$$\gamma = \frac{1}{1 - \frac{f^2}{f_0^2}}, \quad (3.28.)$$

$$\gamma = \frac{1}{1 - \frac{50^2}{1731,885^2}} = 1,1$$

Отримані розрахунки показують, що власна частота конструкції вища, ніж частота збудливих вібрацій. Це означає, що виріб має необхідну віброміцність.

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, вимоги щодо вібростійкості; вивчено стадії розробки конструкторської документації, її види та комплектність. Освоєно принципи та методи системного підходу процесу проектування радіоелектронних пристроїв роботи; проведено обґрунтований вибір принципової електричної схем таймеру для зворотнього відліку заданих часових інтервалів; виконано розрахунок елементів електричної принципової схеми; виконано конструкторську документацію з ЄСКД.

Розглянутий у цій роботі таймер для зворотнього відліку заданих часових інтервалів надійніше і потужніше, ніж існуючі аналоги.

За результатами розрахунків параметрів друкованого монтажу з урахуванням технологічних можливостей виробництва був обраний третій клас точності плати. Тип друкованої плати був обраний двосторонній. Розміри плати було обрано 85x90мм. Кріплення друкованої плати були обрано на чотири точки опори.

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

В результаті проведеної роботи був розроблений таймер для зворотнього відліку заданих часових інтервалів з необхідною надійністю та вібростійкістю.

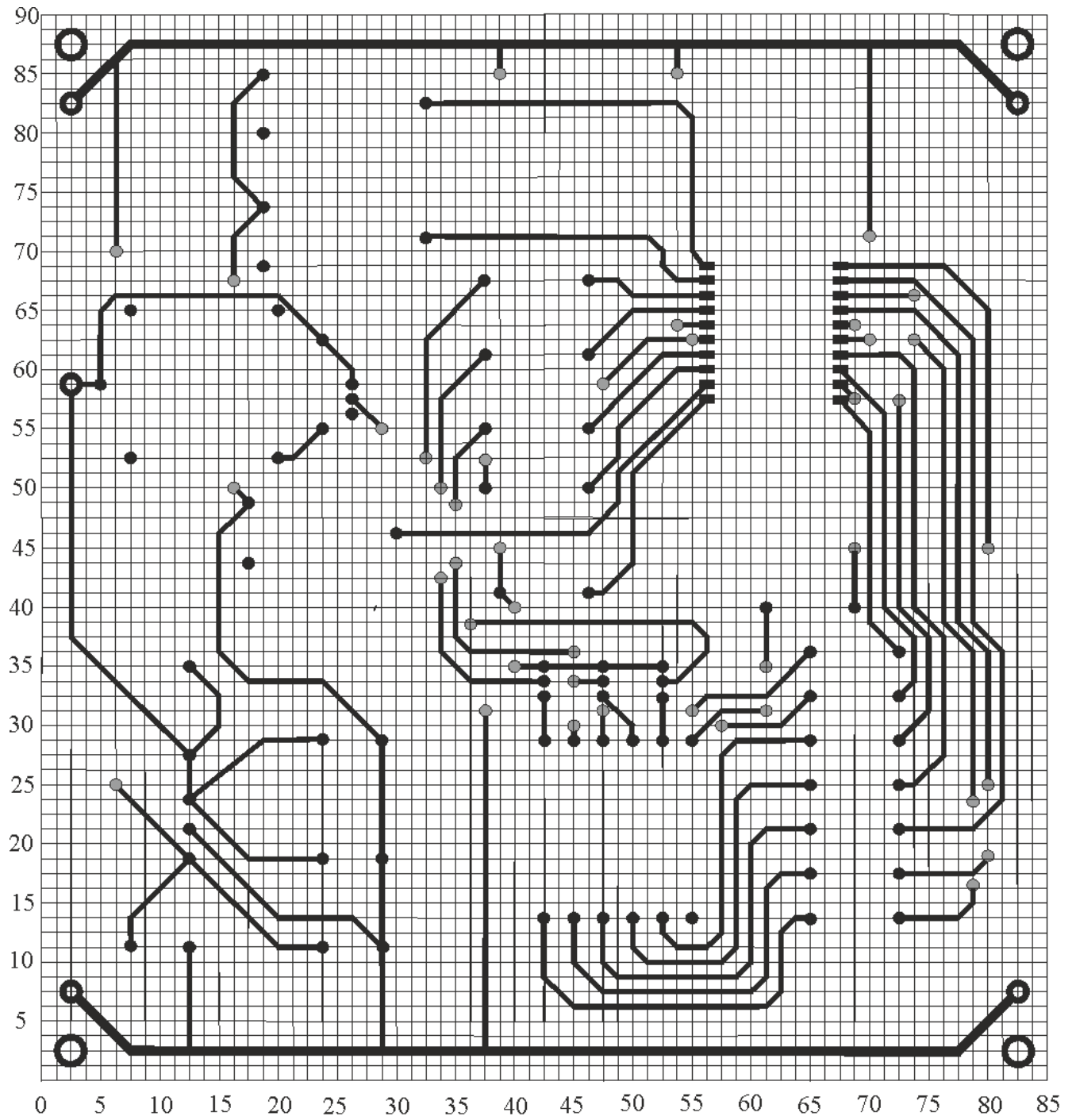
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

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. Репкин, Л.Л. Барвинский. Основы теории надёжности и эксплуатации радиоэлектронной техники. – Москва: «Советское радио», 1964. – 551 с.: ил.
10. Резисторы, конденсаторы, трансформаторы, дроссели, коммутирующие устройства РЭА. Справочник Н.Н. Акимов, Е.П. Ващуков, В.А. Кодоренах, Ю.П. Кодоренах – Мн.: Беларусь, 1994. – 591 с.: ил.
11. Роткоп Л. Л., Спокойный Ю. Н. Обеспечение тепловых режимов при конструировании радиоэлектронной аппаратуры. – М.: Сов. радио, 1976. – 232 с.
12. Скрипников Ю.Ф. Радиаторы для полупроводниковых приборов. М.- Энергия, 1973.-48с.
13. Голенкевич Т. А. Прикладная теория надежности. – М.: Высшая школа, 1985. – 168 с.

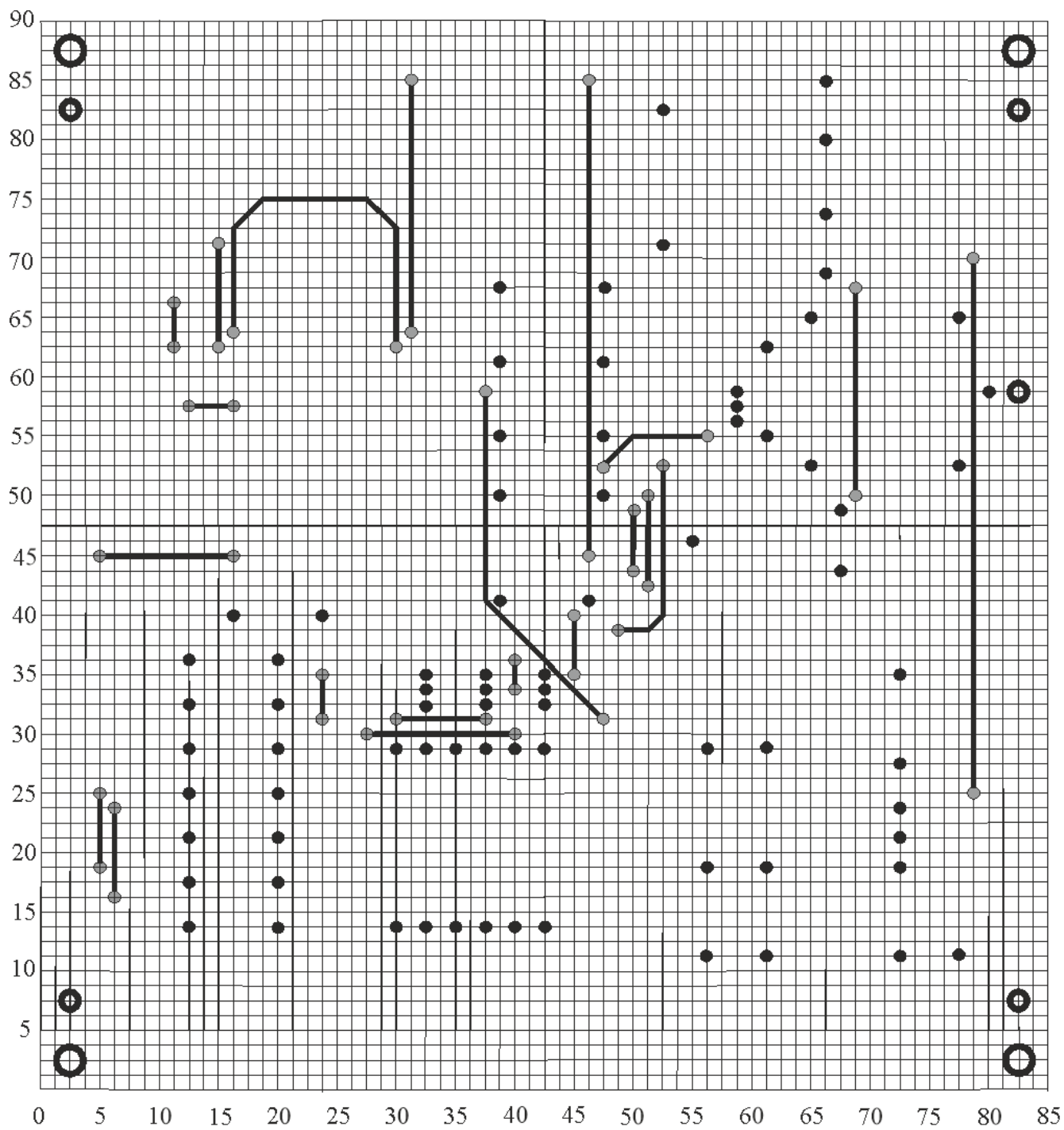
14. Яншин А. А. Теоретические основы конструирования, технологии и надежности ЭВА. – М.: Радио и связь, 1983. – 312 с
15. Конструирование радиоэлектронной и электронной вычислительной аппаратуры с учетом электромагнитной совместимости / А.Д.Князев, Л.Н.Кечиев. – М.: Радио и связь, 1989. – 224 с.
16. Разработка и оформление конструкторской документации радиоэлектронной аппаратуры: Справочник / Э. Т. Романычева и др.; Под ред. Э. Т. Романычевой. – М.: Радио и связь, 1989. – 448 с.

Додаток А.

Креслення лицьової сторони друкованої плати



Креслення дзеркального відображення плати



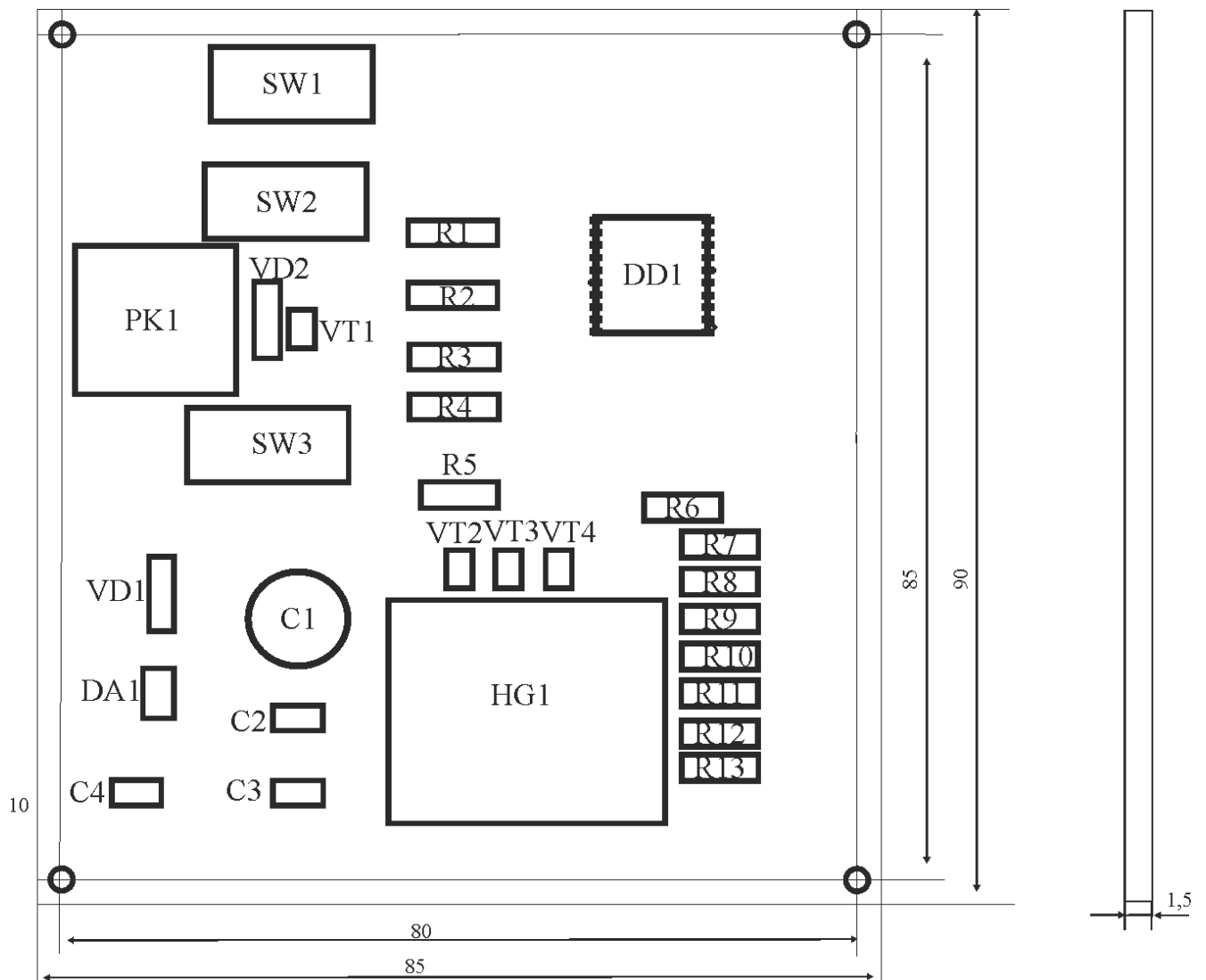
Таблиця отворів

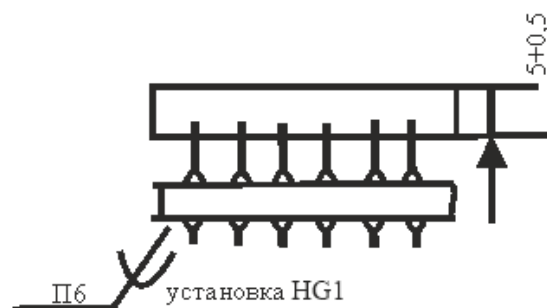
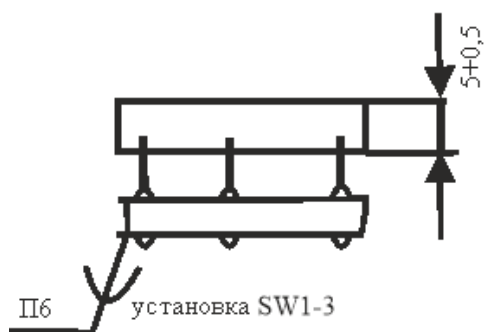
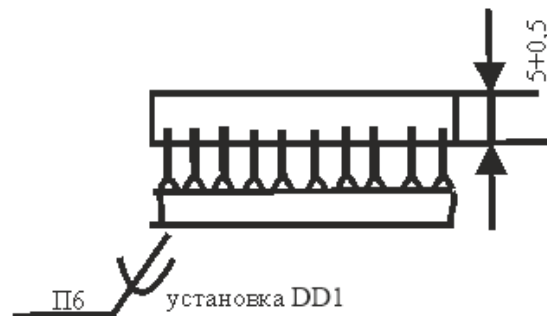
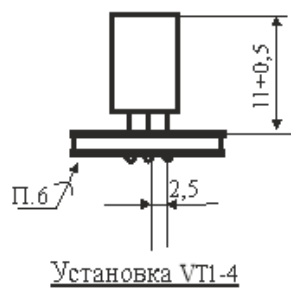
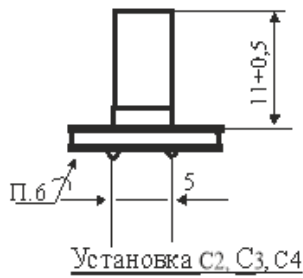
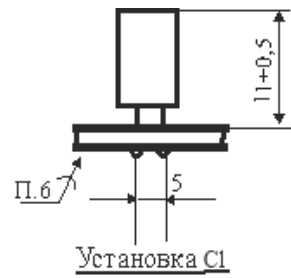
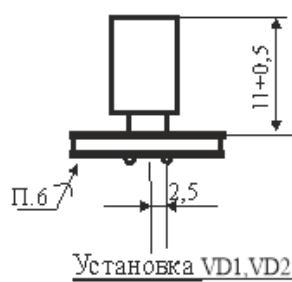
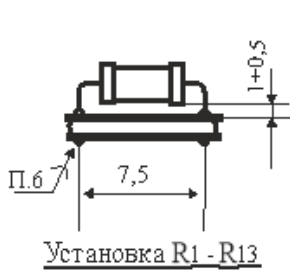
графіч. зображ.	діаметр КМ	діаметр отвору	наявність металу	призначення
•	1,5	1,3	так	монтажне
●	0,9	0,7	так	перехідне
○	2,4	2,0	так	монтажне
◯	5,3	5	ні	кріплення

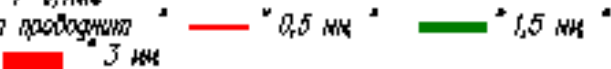

- *
- 1. Розміри довідок
- 2. Плату зробити комбінованим позитивним способом.
- 3. Плата має відповідати ГОСТ 23752-86, група жорсткості 3.
- 4. Клас точності 3 за ГОСТ 23751-86.
- 5. Крок основної координатної сітки 1,25 мм. Лінії координатної сітки показано через 1,25 мм.
- 6. Відстань між двома провідниками,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

Додаток В

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 *  *
 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 координатно-сетчатом 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.