

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ «КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ
ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО» КАФЕДРА КОНСТРУЮВАННЯ
ЕЛЕКТРОННО-ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ АПАРАТУРИ

КУРСОВА РОБОТА

з курсу: «Конструкторське проектування радіоелектронної апаратури» тема:
«Вимірювач ємності кислотних акумуляторів»

Керівник:

Ст. викладач Губар В.Г.

Допущено до захисту

“__” _____ 20__ р.

Виконав:

Тисяк Є. В.

студент III курс ФЕЛ

групи ДК-91

Захищено з оцінкою

Київ 2022

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут ім. І.Сікорського»**

Факультет електроніки

Кафедра Конструювання електронно-обчислювальної апаратури

Дисципліна Конструювання радіоелектронної апаратури

Курс III Група ДК-91 Семестр 6

**ЗАВДАННЯ
на курсовий проект студенту**

Тисяк Євгеній Володимирович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту Цифровий годинник
2. Термін подання студентом проекту _____
3. Вихідні дані до проекту Схема призначена для лічення часу. Містить кнопку для перезапуску годинника, та дві кнопки, що допомагають налаштувати значення годин та хвилин. Для індикації часу схема містить шість роз'ємів для підключення семисегментних індикаторів. Кліматичне виконання УХЛ 3 згідно ГОСТ 15150-69.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки:
 - вступ;
 - опис та аналіз схеми електричної принципової;
 - вибір та обґрунтування використання елементної бази;
 - розміщення конструктивних елементів на друкованій платі;
 - конструкторсько-технологічний розрахунок друкованої плати;
 - електричний розрахунок друкованої плати;
 - розрахунок основних показників надійності;
 - методика проектування друкованого вузлу в середовищі Altium Designer;
 - висновки;
 - література.
5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень):
 - схема електрична принципова з переліком елементів;
 - друкована плата;
 - складальне креслення друкованої плати зі специфікацією.
6. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів виконання курсового проекту	Час виконання етапів проекту
1	Розробка технічного завдання	14.02.2022-21.02.2022
2	Аналіз схеми електричної принципової	22.02.2022-07.03.2022
3	Вибір та обґрунтування використання елементної бази	08.03.2022-27.03.2022
4	Проектування схеми в Altium Designer	28.03.2022-04.04.2022
5	Розміщення конструктивних елементів на друкованій платі	05.04.2022-11.04.2022
6	Конструкторсько-технологічний розрахунок друкованої плати	12.04.2022-18.04.2022
7	Проектування плати в Altium Designer	19.04.2022-25.04.2022
8	Електричний розрахунок друкованої плати	26.04.2022-02.05.2022
9	Розрахунок надійності	03.05.2022-10.05.2022
10	Виконання креслення ЕЗ	11.05.2022-14.05.2022
11	Виконання креслення друкованої плати	16.05.2022-19.05.2022
12	Виконання складального креслення друкованого вузла	20.05.2022-23.05.2022
13	Оформлення пояснювальної записки	23.05.2022-29.05.2022

Студент _____ Тисяк Є. В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник _____ Губар В.Г.
(підпис) (прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. ОПИС ТА АНАЛІЗ СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ.....	8
РОЗДІЛ 2. ВИБІР ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ.....	10
2.1 Вибір компонентів.....	10
2.1.1 Вибір інтегральних схем.....	10
2.1.2 Вибір резисторів.....	13
2.1.3 Вибір конденсаторів.....	14
2.1.4 Вибір кнопок.....	14
2.1.5 Вибір кварцових резонаторів.....	14
2.2 Посадкові місця.....	14
РОЗДІЛ 3. РОЗМІЩЕННЯ КОНСТРУКТОРСЬКИХ ЕЛЕМЕНТІВ НА ДРУКОВАНІЙ ПЛАТІ.....	16
РОЗДІЛ 4. КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ.....	21
4.1 Вибір типу друкованої плати.....	21
4.2 Вибір матеріалу друкованої плати.....	21
4.3 Вибір методу виготовлення ДП	22
4.4 Вибір класу точності.....	22
4.5 Розрахунок елементів друкованого монтажу	23
4.5.1 Визначення мінімальної ширини друкованого провідника по постійному струму для ланцюгів живлення та землі.....	23
4.5.2 Визначення мінімальної ширини провідника з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому.....	24
4.5.3 Визначення номінального діаметру монтажного отвору.....	25

					ДК91.466369.007 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<div>Цифровий годинник</div> <div>Пояснювальна записка</div>			
Розробив	Тисяк Є.В.							
Перевірив	Адамченко І.О.							
Реценз.								
Н. Кантр.	Гудар В.Г.				<div>Літ.</div> <div>Арк.</div> <div>Аркуші</div> <div>4</div> <div>43</div> <div>НТУУ «КПІ»</div>			
Затвердив	Гудар В.Г.							

4.5.4	Визначення діаметра контактної площини.....	25
4.5.5	Визначення мінімальної ширини провідника.....	26
4.5.6	Визначення мінімальної відстані між провідником та контактною площиною.....	26
4.5.7	Визначення мінімальної відстані між двома сусідніми провідниками (між краями провідників).....	27
4.5.8	Визначення мінімальної відстані між двох контактних площин.....	28
РОЗДІЛ 5. ЕЛЕКТРИЧНИЙ РОЗРАХУНОК ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ.....		29
5.1	Визначення падіння напруги на найдовшому друкованому провіднику.....	29
5.2	Визначення потужності втрат двосторонньої друкованої плати.....	29
5.3	Визначення ємності між двома сусідніми провідниками, які розташовуються на одній стороні ДП та мають однакову ширину.....	30
5.4	Визначення взаємної індуктивності двох паралельних провідників однакової довжини.....	30
РОЗДІЛ 6. РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ		32
6.1	Коефіцієнт навантаження для резисторів.....	32
6.2	Коефіцієнт навантаження для конденсаторів.....	33
6.3	Коефіцієнт навантаження для кварцового резонатора.....	33
6.4	Коефіцієнт навантаження для мікросхем.....	33
РОЗДІЛ 7. МЕТОДИКА ПРОЕКТУВАННЯ ДРУКОВАНОГО ВУЗЛУ В СЕРЕДОВИЩІ ALTIUM DESIGNER.....		37
7.1	Створення проекту друкованої плати.....	37
7.2	Створення бібліотеки компонентів.....	37
7.3	Створення схеми електричної принципової.....	37
7.4	Трасування друкованої плати.....	38
ВИСНОВОК.....		39
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....		40

					ДК91.466369.007 ПЗ	Лист
						6
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Метою курсової роботи є отримання навичок поетапного конструювання електронних пристроїв. Я обрав проектування цифрового годинника, а зокрема пристрій, що виконує рахунок часу, для всього годинника потрібно до пристрою додати дешифратори та 7-ми сегментні індикатори. Схему принципову я взяв готову і по ній виконав проектування пристрою.

Під час виконання курсового проекту я виконував повний аналіз та розрахунки схеми, вибір елементів, розглянув варіанти як покращити пристрій. Схема побудована на DIP IC, які я замінив на SMD. Елементи на платі розміщував за допомогою матриці елементів. Провів розрахунки надійності даного пристрою та довготривалості роботи.

					ДК91466369.007 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		7

РОЗДІЛ 1. ОПИС ТА АНАЛІЗ СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ

Електронний годинник створений на мікросхемах серії К155. Схема даного пристрою наведена на Рис.1.

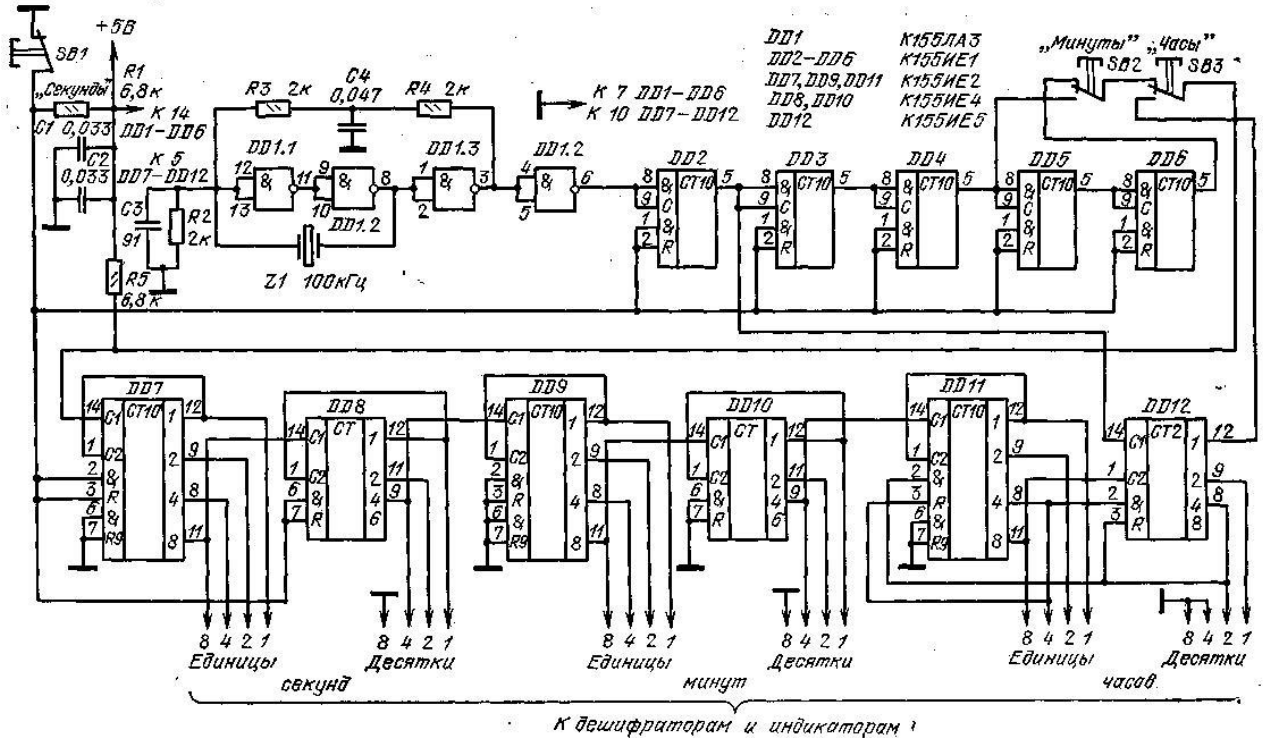


Рисунок 1 Схема електрична принципова

Вихід схеми підключено до 7-ми сегментного індикатора. Годинник в себе включає кварцовий генератор DD1 і кварцовий резонатор Z1, що працює на частоті 100кГц, подільник частоти DD2 – DD6 з коефіцієнтом ділення 10с, лічильник секунд DD7, DD8, хвилин DD9, DD10 та годин DD11, DD12 а також кнопки, резистори й конденсатори. Інтегральні мікросхеми DD7, DD9, DD11 мають коефіцієнт рахунку 10, а мікросхеми DD8 и DD10 мають коефіцієнт рахунку 6, для цього використовується лише перші три тригера.

Для рахунку до 24 в лічильник годин вихід 8 мікросхем DD11 і DD12 підключені до входів R цих же мікросхем. При досягненні 4 в DD11 і 2 в DD12 на обох входах R цих лічильників формується логічна 1, і вони переходять в нульовий стан. Виходи лічильників секунд, хвилин та годин можуть бути підключені до входів дешифраторів, а виходи дешифраторів до відповідних входів семи сегментних індикаторів. В годиннику можуть бути використані різні індикатори в відповідності до дешифраторів.

При натисканні кнопки SB1 напруга логічного рівня нуля подається на інверсні входи скидання в нуль IC DD7-DD12, що встановить значення часу

00.00.00. Після цього прилад почне відлік часу і може використовуватись як секундомір чи можна встановити час і використовувати його як годинник. При натисканні кнопки SB2 годинник починає лічити в 100 разів швидше, що допомагає встановити значення хвилин, а при натисканні кнопки SB3 годинник починає лічити в 10000 разів швидше, що допомагає встановити значення годин.

Майже всі ІС будуть замінені на аналоги серії SN74. Не будуть замінюватись мікросхеми к155ІЕ1 DD2-DD6 оскільки вони не мають повного аналога серед інших мікросхем. Після такої заміни компонентів схема електрична принципова змін не зазнає.

					ДК91466369.007 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		9

РОЗДІЛ 2. ВИБІР ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ

Вибір елементної бази виконується на основі схеми електричної принципової з врахуванням вимог, викладених у ТЗ.

2.1. Вибір компонентів

Схему електричну принципову друкованого вузла наведено у попередньому розділі, у цьому розділі буде обрано елементну базу. Елементна база пристрою складається з таких компонентів:

- Інтегральні схеми (ІС)
- Резистори
- Конденсатори
- Кнопки
- Кварцовий резонатор

2.1.1. Вибір інтегральних схем

Вибір елементної бази буде здійснюватися методом вибору ІС по матриці параметрів.

Для прикладу буде розглянуто вибір необхідної ІС з 4, котрі складаються з 4 логічних елементів І-НІ різних серій, які повністю аналогічні по своїй функціональності.

Таблиця 2.1.1.1 – Основні параметри порівнюваних ІС

Серія ІС	Параметри			
	Максимальна напруга живлення, В	Максимальний вихідний ток мА	Затримка в часі нс	Ціна \$
CD4011	15	0,88	100	0,6
K155ЛА3	5,25	0,22	22	0,17
K561	15	1,3	80	0,27
KP1533	4,5	0,7	11	0,25
Ваговий коєф. b_j	0,2	0,3	0,3	0,2

Вибираємо вагові коефіцієнти у відповідності до важливості параметру.

					ДК91466369.007 ПЗ	Лист
						10
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Складаємо матрицю параметрів $|X|$ згідно таблиці 2.1

Таблиця 2.1.1.2 – Матриця параметрів

15	0,88	100	0,6
5,25	0,22	22	0,17
15	1,3	80	0,27
4,5	0,7	11	0,25
0,2	0,3	0,3	0,2

Аналізуємо параметри (стовпчики) матриці та приведемо їх до такого вигляду, щоб більшому значенню параметра відповідала найкраща якість ІС. Параметри, що не задовольняють цій умові, перераховуються за формулою:

$$y_{ij} = \frac{1}{x_{ij}}$$

де

$i = 1, n$ – кількість вибраних ІС

$j = 1, m$ – кількість параметрів ІС

Параметри, які більшому значенню не відповідає найкраща якість матриці $|X|$, позначені «-». Тоді матриця приведених параметрів $|Y|$ приймає вигляд:

Таблиця 2.1.1.3 – Перетворена матриця параметрів $|Y|$

15,00	1,14	0,01	1,67
5,25	4,55	0,05	5,88
15,00	0,77	0,01	3,70
4,50	1,43	0,09	4,00

Далі матрицю $|Y|$ приведемо до матриці $|A|$ - нормованих параметрів. Нормування параметрів виконуємо за наступною формулою:

$$A_{ij} = \frac{\max y_{ij} - y_{ij}}{\max y_{ij}}$$

де

$\max y_{ij}$ – максимальний елемент у стовпчику;

y_{ij} – поточне значення елемента у стовпчику $|Y|$.

Таблиця 2.1.1.4 – Перетворена матриця параметрів |A|

0,0	0,8	0,9	0,7
0,7	0,0	0,5	0,0
0,0	0,8	0,9	0,4
0,7	0,7	0,0	0,3

Для узагальненого аналізу системи параметрів вводять оціночну функцію – Q_i , яка визначається:

$$Q_i = \sum_{j=1}^n a_j b_j$$

b_j – ваговий коефіцієнт

$$\sum_{j=1}^n b_j$$

Таблиця 2.1.1.5 – Таблиця результатів

Серія IC	Q
CD4011	2,4
K155ЛА3	1,1
K561	2,1
KP1533	1,7

Визначивши параметр Q ми побачили, що найбільше підходить мікросхема K155ЛА3, так як меншому значенню відповідає краща серія. Однак IC серії K155ЛА3, K561, KP1533 не виготовляються в SMD- корпусі, то ми оберемо мікросхему CD4011, вона трішки відрізняється в ціні, але дана мікросхема більш якісна і пропрацює довше. Тому обираємо в серійне виробництво саме цю IC.

Тепер виберемо інші складові для пристрою. Оберемо мікросхеми серії SN, а зокрема SN7490A, SN7492A, SN7493. Відкривши документації на дані IC можна переконатись, що вони повністю коректно працюватимуть в проектуваному приладі Рис. 2.1.1.1.

logic diagrams (positive logic)

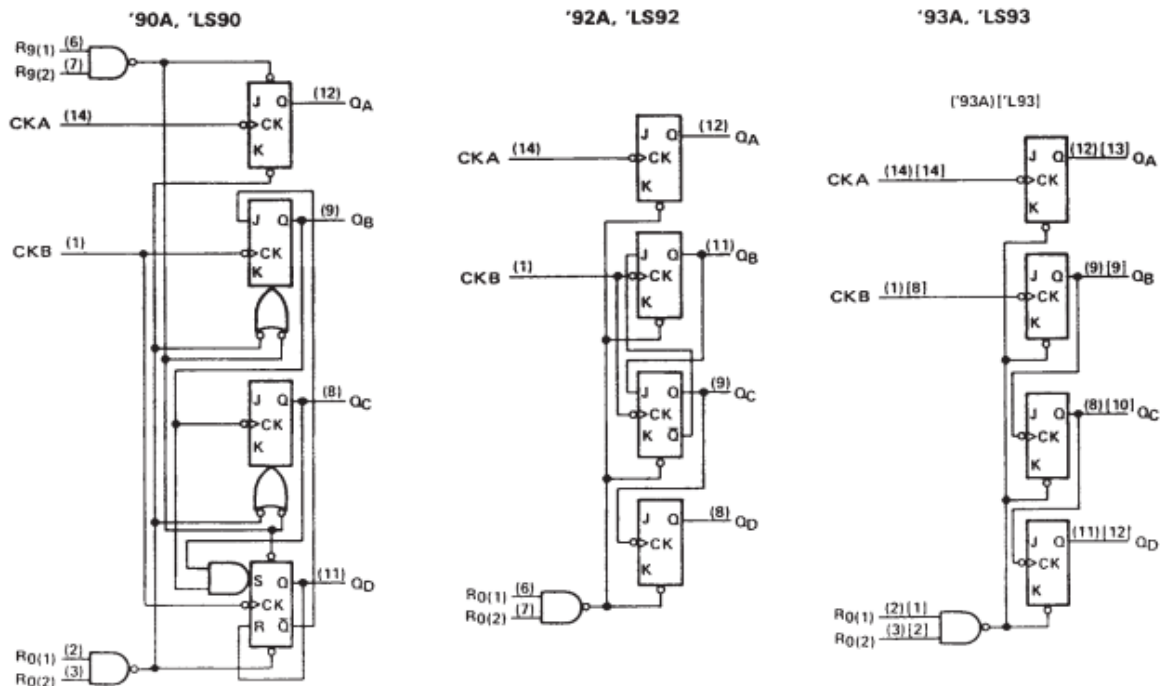


Рисунок 2.1.1.1 Внутрішня будова мікросхем SN7490A, SN7492A, SN7493

Незмінною залишу мікросхему K155IE1, оскільки в неї немає повних аналогів для того щоб замість неї використати іншу ІС, доведеться дещо змінити схему електричну принципову.

2.1.2. Вибір резисторів

Резистори дозволяють контролювати значення струмів і напруг в електричному ланцюзі. Електричні характеристики резистора, в значній мірі, визначаються матеріалом, з якого він виготовлений і його конструкцією. При виборі резистора врахуємо наступні параметри:

- Номінальний опір
- Нормований допуск
- Розсіювану потужність
- Робочу температуру
- Тип резистора
- Максимальну робочу напругу

- Спосіб монтажу

Виходячи з вимог ТЗ і схеми електричної принципової. Оберемо потрібний тип резисторів. Проаналізувавши дані параметри я прийшов до висновку, що буду використовувати резистор SMD 0805 з допуском 5%. Потужність 0,125Вт. Діапазон робочих температур: -55 ° С ... + 125 ° С. Максимально робоча напруга 50В, є більше ніж, але достатньо для нормального функціонування пристрою.

2.1.3. Вибір конденсаторів

При виборі конденсаторів будемо звертати увагу на такі параметри:

- Ємність
- Робоча напруга
- Необхідна точність
- Тип
- Робоча температура
- Спосіб монтажу

Проаналізувавши дані параметри я обрав керамічний SMD конденсатор в типорозмірі 0805, з толерантністю 10%, робочою температурою від -55 ° С до +125 °С, робоча напруга 50 В, що більш чим достатньо, температурний коефіцієнт Х7R. Даний конденсатор широко поширений, характеризується високою стабільністю ємності, широким діапазоном робочих температур, невисокою вартістю.

2.1.4. Вибір кнопок

Я обираю тактову кнопку з SMD кріплення, серії PTS636 модель SK50. Механічне життя кнопки 30000 циклів натискання, чого більш чим достатньо.

2.1.5. Вибір кварцових резонаторів

Резонатор у схемі працює на частоті 100 кГц. Я обрав резонатор JTX520. Він працює на невисоких температурах, але в наші схемі цього більш чим достатньо.

2.2. Посадкові місця

					ДК91.466369.007 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		14

Посадкові місця ІС визначається видом корпусу, який характеризується його габаритними і приєднувальними розмірами, числом виводів і розташуванням їх відносно площини корпусу. Виводи мікросхеми можуть розташовуватися в площині підстави корпусу (планарні) або бути перпендикулярними йому (штирьові).

У пристрої використовуємо DIP та SMD мікросхеми. Вибір даного типу компонентів був зроблений виходячи з великої кількості переваг. Основною перевагою є зменшення розмірів тіла, а отже збільшення щільності розміщення компонентів і зменшення габаритів, маси пристрою. Де не вдалося знайти SMD корпус – було поставлено DIP.

Для подальшого монтажу ІС на друкованій платі, розглянемо посадочні місця для ІС CD4011, SN7490A, SN7492A, SN7493, K155IE1. Інформацію про посадочні місця можна знайти в документації на ці ІС, якщо такої інформації немає, то можна діяти відштовхуючись від розмірів ІС. Посадкові місця для мікросхем CD4011, SN7490A, SN7492A, SN7493 мають однаковий корпус, а тому і посадкові місця.

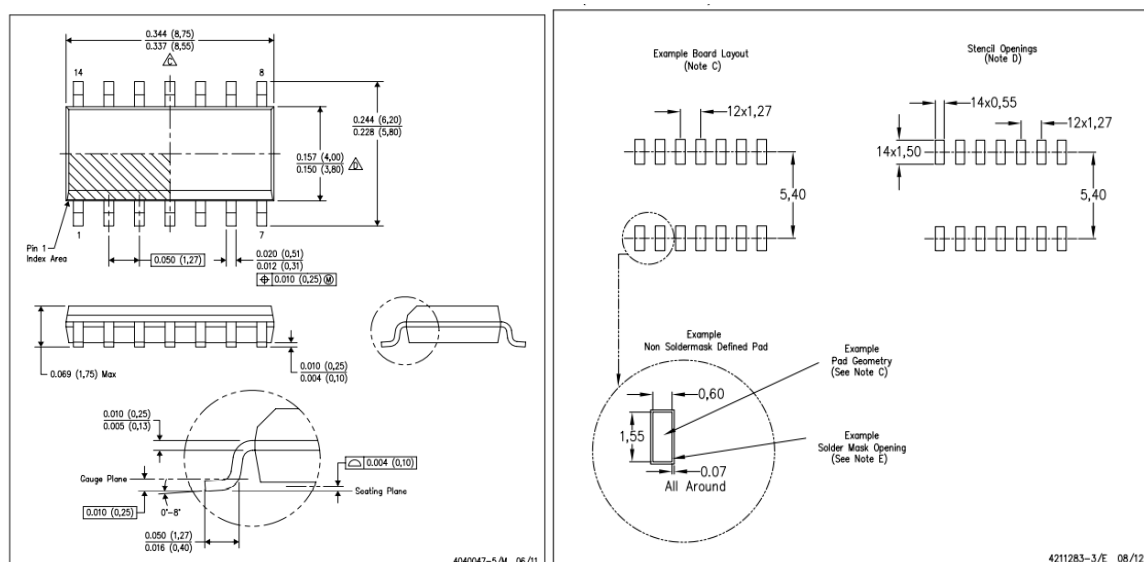


Рисунок 2.2.1 – Посадкові місця і розміри ІС CD4011, SN7490A, SN7492A, SN7493

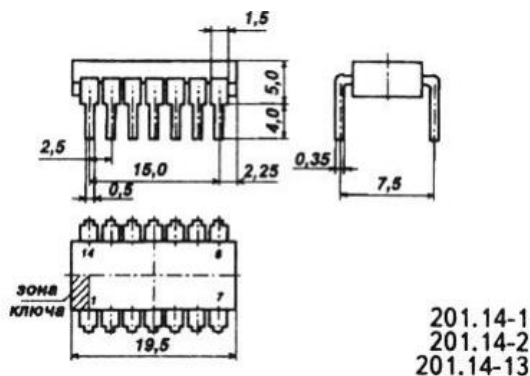


Рисунок 2.2.2 – Розміри ІС K155ЛА3

					ДК91466369.007 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		15

РОЗДІЛ 3. РОЗМІЩЕННЯ КОНСТРУКТОРСЬКИХ ЕЛЕМЕНТІВ НА ДРУКОВАНІЙ ПЛАТІ

При вирішенні задачі розміщення КЕ завжди дана схема електрична принципова, яка описана матрицею зв'язків А, і дискретний монтажний простір, який описано матрицею відстаней D.

Потрібно на кожне вакантне посадочне місце розмістити КЕ таким чином, щоб функція якості розміщення була оптимальна.

В якості критеріїв оптимальності використовуємо наступні:

- мінімум сумарної довжини всіх з'єднань, тобто довжини всіх провідників повинні бути короткими. Ці провідники займають малу область монтажного простору і створюють сприятливі умови для прокладки різних варіантів трас;
- мінімізація числа найбільш довгих з'єднань;
- максимально близьке розміщення КЕ, що мають найбільше число зв'язків між собою;
- максимальне число провідників простої конфігурації і т. д ..

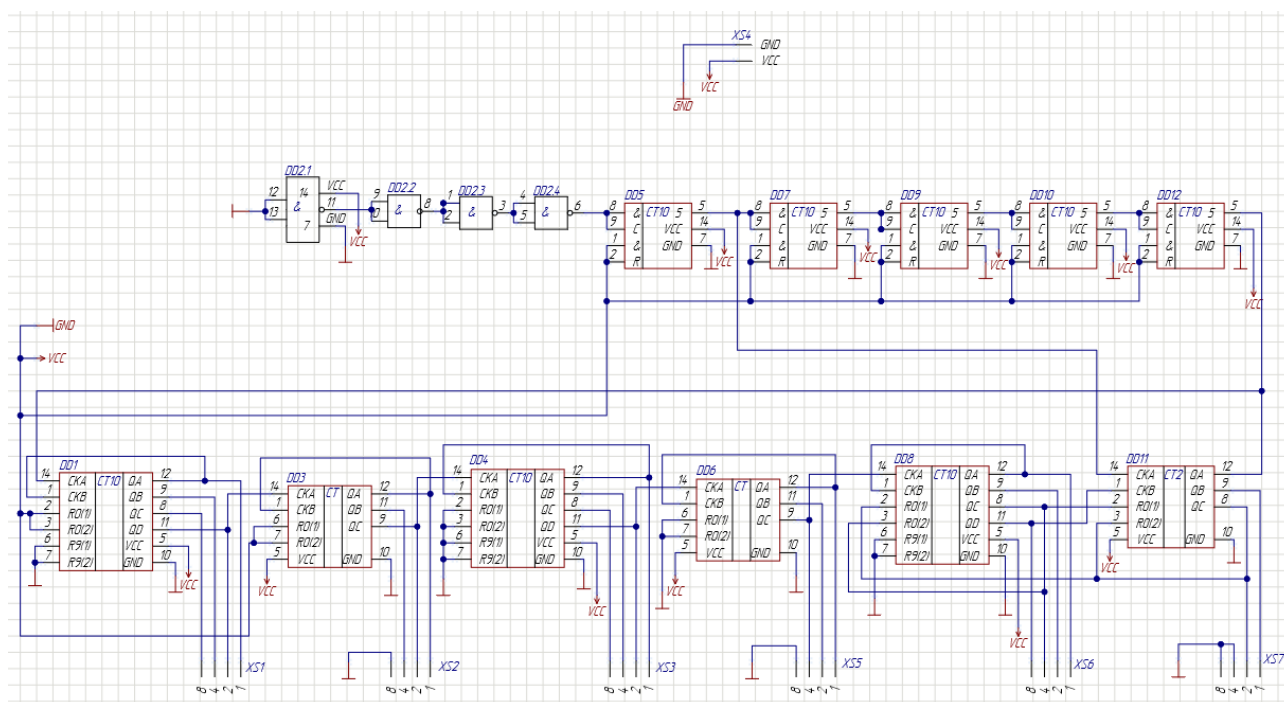


Рисунок 3.1 Схема електрична принципова

Виконаємо дії для спрощення схеми електричної принципової на Рисунку 3.1, оптимальна схема зображена на Рисунку 3.2.

При спрощенні схеми було виключено прості елементи, такі як: кнопки, резистори, конденсатори і кварцовий резонатор. Також забрав з схеми

підключення елементів до заземлення (живлення) та виводів одного елемента між собою, таке рішення обґрунтував в цьому розділі нижче.

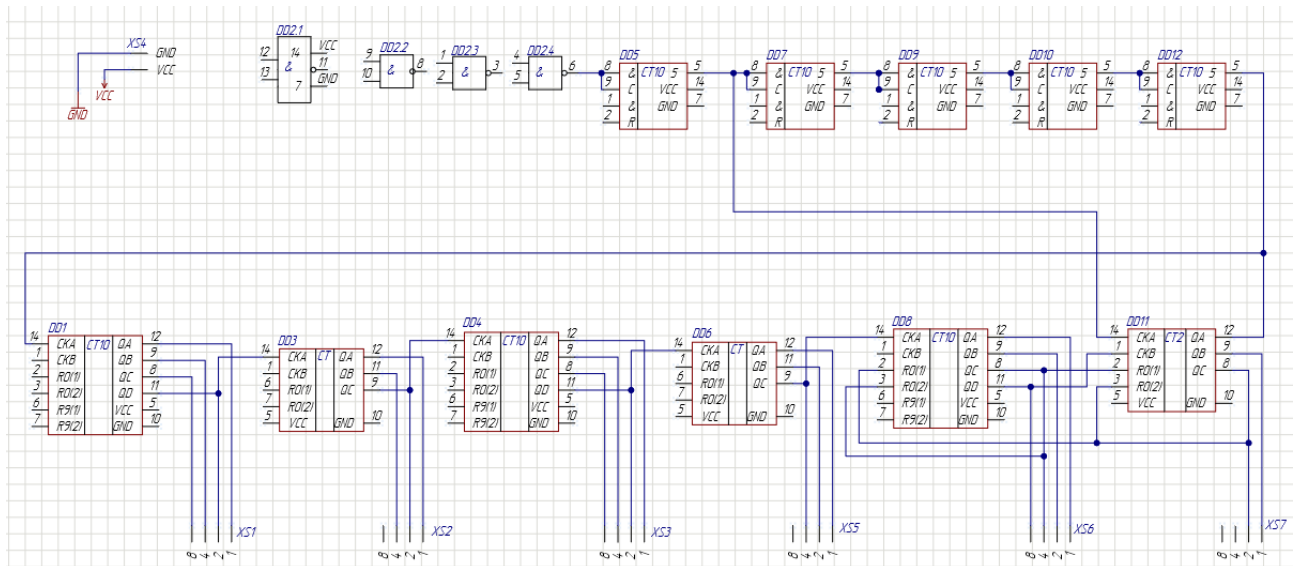


Рисунок 3.2 Спрощена схема електрична принципова

При складанні спрощеної СЕП зображеної на Рис. 3.2 і таблиці зв'язків між елементами зображеної на Табличці 3.1, я не враховував підключення якихось виводів компонентів до заземлення (живлення), тому що для такого підключення достатньо провести доріжку до найближчого провідника з заземленням (живленням). Це значно зменшить довжину провідника яким буде здійснюватися підключення. З тих самих міркувань, я не буду враховувати зв'язок між виводами одного і того самого компоненту. Сам роз'єм живлення XS4 буде знаходитись на задалегідь визначеному посадковому місці P21 і тому я не буду рахувати кількість зв'язків для цього компонента.

Таблица 3.1 Зв'язки між елементами

	DD1	DD2	DD3	DD4	DD5	DD6	DD7	DD8	DD9	DD10	DD11	DD12	XS1	XS2	XS3	XS4	XS5	XS6	XS7
DD1	0		1								1	1	4			0			
DD2		0			1											0			
DD3	1		0	1									1	3		0			
DD4			1	0		1								1	4	0			
DD5		1			0		1				1					0			
DD6				1		0		1							1	0	3		
DD7					1		0		1		1					0			
DD8						1		0			4					0	1	5	1
DD9							1		0	1						0			
DD10									1	0		1				0			
DD11	1				1		1	4			0	1				0		2	3
DD12	1									1	1	0				0			
XS1	4		1										0			0			
XS2			3	1										0		0			
XS3				4		1									0	0			
XS4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
XS5						3										0	0		
XS6								4			2					0		0	
XS7								1			2					0			0
Сумарно	7	1	6	7	3	6	3	10	2	2	12	3	5	4	5	0	4	7	4

Спрощена схема електрична принципова містить множину елементів:

$$X = \{XS1, XS2, XS3, XS4, XS5, XS6, XS7, DD1, DD2, DD3, DD4, DD5, DD6, DD7, DD8, DD9, DD10, DD11, D12, SB1, SB2, SB3\}$$

Та множину посадкових місць:

$$P = \{P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9, P10, P11, P12, P13, P14, P15, P16, P17, P18, P19, P20, P21, P22\}.$$

Схематично зобразимо всі посадкові місця на Рисунку 3.3.

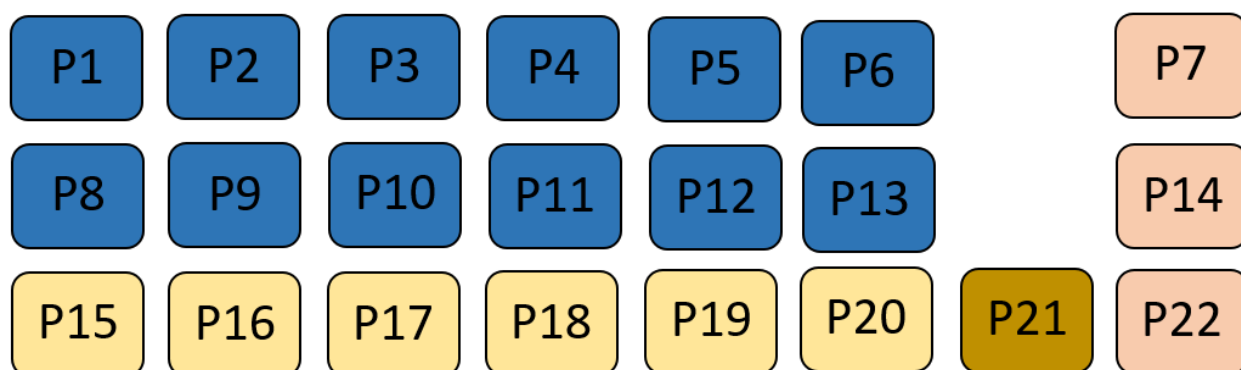


Рисунок 3.3 Посадкові місця

Посадкові місця P7, P14, P22 заздалегідь відведені під кнопки SB1, SB2, SB3, відповідно. Посадкові місця P15, P16, P17, P18, P19, P20 заздалегідь відведені під роз'єми для семи сегментних індикаторів. Посадкове місце P21 відведене під роз'єм для живлення. Таке розташування кнопок та роз'ємів покликане бути зручним для користувача, хоч за це і доводиться терпіти дещо більшу сумарну довжину провідників. IC DD2 потрібно розташувати поряд з кварцовим резонатором, оскільки на його провідниках сингал високої частоти. Решта посадкових місць відводиться під мікросхеми DD1, DD3, DD4, DD5, DD6, DD7, DD8, DD9, DD10, DD11, D12, їх розміщення буде зроблено послідовним алгоритмом.

Послідовний алгоритм являє собою покроковий процес розміщення. На кожному кроці вибирається елемент, який має максимальну зв'язність з уже розміщеними елементами і розміщується в одну оптимальну вільну позицію при незмінному положенні раніше розміщених елементів.

Критерій оптимізації: мінімальна сумарна довжина зв'язків між розміщеними елементами.

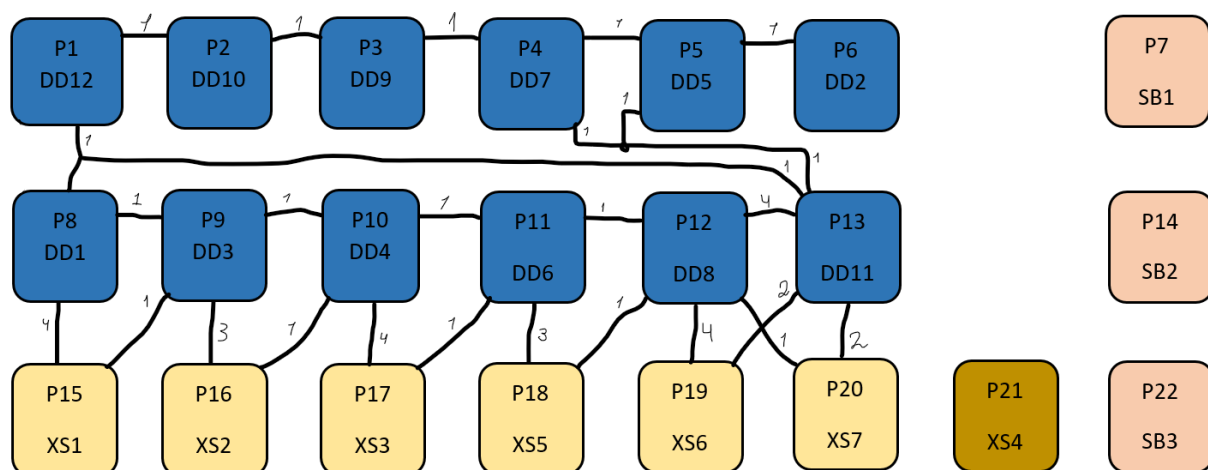


Рисунок 3.4 Посадкові місця з розміщеними на них елементами

Найбільше всього зв'язків в мікросхеми DD11, вона в свою чергу має багато зв'язків з DD8. Тому DD11 і DD8 розташовуємо поряд. Загалом ці дві ІС розташуємо біля роз'ємів XS6 та XS7 оскільки DD11 і DD8 мають багато зв'язків з цими роз'ємами. Отже DD8 розташовуємо в P12, а DD11 розташовуємо в P13.

ІС DD1, DD3, DD4, DD6 розташовуємо біля роз'ємів XS1, XS2, XS3, XS5, відповідно. Таке розташування зумовлене зв'язками цих з ІС з відповідними роз'ємами. Отже DD1, DD3, DD4, DD6 розташовуємо в P8, P9, P10, P11, відповідно.

DD2 слід розмістити в P6, оскільки біля цього посадкового місця є багато вільного простору в якому можна буде легко розташувати кварцовий резонатор JTX520. Отже DD2 розташовуємо в P6.

ІС DD5, DD7, DD9, DD10, DD12 розташовуємо в ті посадкові місця що залишились, так щоб DD12 був близько до DD1, а DD5 і DD7 були близько до DD11. Отже DD5, DD7, DD9, DD10, DD12 розташовуємо в P1, P2, P3, P4, P5, відповідно.

Від результатів розміщення елементів залежать такі параметри друкованого вузла:

- габарити
- маса
- надійність
- завадостійкість

Тому при установці елементів на ДП слід враховувати усі наслідки вибору варіанта їх розміщення.

Вибір кроку установки ІС на ДП визначається температурним режимом, складністю принципової схеми, параметрами корпусу. При цьому зазор між корпусами не повинен бути менше 1,25 мм.

ІС на ДП розташовуються лінійно-багаторядно. Допускається розміщення ІС в шаховому порядку. Таке розташування дозволяє ефективно використовувати корисну площу ПП.

Корпуси штирьових ІС рекомендується встановлювати з одного боку плати. З двох сторін плати дозволяється встановлювати ІС в корпусах з планарними виводами.

Висновок

Виконали розміщення конструктивних елементів в монтажному просторі плати.

Для виконання поставленого завдання була проаналізована та спрощена схема електрична принципова. Частина елементів розташована на краях плати з міркувань практичності. Для того, щоб розташувати решту елементів, був використаний послідовний алгоритм.

Для спрощення схеми:

- виключили елементи з малою кількістю виводів
- виключили ланцюг живлення та «землі» для ІС
- виключили зв'язки між виводами одного і того самого елемента

Спрощення схеми дало змогу:

- зменшити розмірність матриці
- при розміщенні в рядках матриці ми вибираємо елементи з максимальним значенням, тобто маловиводні елементи розміщуємо в останню чергу.
- завдяки аналізу матриці розміщуємо поруч елементи з великою кількістю зв'язків між собою

Проаналізувавши матрицю зв'язку, розподілили елементи на платі. Завдяки зменшенню довжини ліній зв'язку, компактного, рівномірного розміщення елементів зменшуються габарити, маса друкованого вузла, витрати на його виготовлення, а також збільшується надійність та стійкість.

РОЗДІЛ 4. КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ

4.1. Вибір типу друкованої плати

Друкована плата (ДП) призначена для електричного з'єднання і являє собою ізоляційну основу на лицьовій стороні якої розміщені конструктивні елементи, а на зворотному боці розміщені елементи друкованого монтажу: друковані провідники, контактні площадки, металізовані отвори. Їх застосування підвищує надійність апаратури, забезпечує повторюваність електричних параметрів, створює передумови для автоматизації виробництва, зменшує габарити і масу.

За конструкцією друковані плати можна поділити на такі класи: одношарові (односторонні) – ОДП, двошарові (двосторонні) ДДП, багатошарові БДП.

Односторонні друковані плати мають провідники тільки на одній із сторін діелектричної основи. Вони є простими за конструкцією та виготовленням, але мають низькі можливості при трасуванні та монтажі.

Двошарові друковані плати мають провідний рисунок з двох сторін діелектричної основи, вони характеризуються високою щільністю монтажу та надійністю з'єднань. ДДП дають змогу полегшити трасування провідників і оптимізувати розміри плати завдяки щільному розміщенню елементів. Такий тип плати дозволяє монтаж штирьових елементів з однієї сторони, а SMD – з обох сторін ДП.

Багатошарові ДП використовують при проектуванні складних пристроїв, які потребують дуже високу щільність монтажу компонентів. БДП складні в розробці та виготовленні, для роботи з ними необхідно мати високу кваліфікацію та спеціальне обладнання.

Згідно ТЗ та схеми електричної принципової вибираємо ДДП для нашого пристрою. Такий вибір зроблений виходячи з аналізу типів ДП. У зв'язку з кількістю зв'язків між елементами і потребою в зменшенні габаритів ДВ використання ОДП не оптимальне. Також виходячи з тривалості технологічного циклу і підвищеної вартості виробництва не використовуємо БДП. Вибір ДДП дозволяє забезпечити необхідну точність, щільність монтажу, надійність і забезпечити мінімальну вартість.

4.2. Вибір матеріалу друкованої плати

При виборі матеріалу друкованої плати я буду дотримуватися наступних критеріїв: високі ізоляційні властивості, достатня механічна міцність, стійкість до кліматичних впливів, вартість. Ці критерії задовольняють склотекстоліт і текстоліт, тому я буду використовувати склотекстоліт. Оскільки

найпоширенішою товщиною склотекстоліту є 1,5 мм, для свого приладу я також буду використовувати таку товщину. Отже, у якості матеріалу друкованої плати я обрав склотекстоліт FR4-2-35-1.5, який має загальну товщину 1,5 мм і товщину фольги 35 мкм. Даний матеріал повністю відповідає ГОСТ 26246.5-89.

4.3. Вибір методу виготовлення ДП

Основними методами виготовлення ДП є: хімічний субтрактивний метод, комбінований позитивний метод, метод попарного пресування друкованих плат, метод пошарового нарощування, метод металізації наскрізних отворів.

Для виготовлення ДП я обрав комбінований позитивний метод, тому що він має високу точність відтворення друкованих елементів, високу надійність ізоляції та високу степінь адгезії металевих елементів.

4.4. Вибір класу точності друкованої плати

При виборі класу точності необхідно враховувати потужність виробництва (кваліфікацію працівників та ступінь технічного оснащення), на якому буде реалізований пристрій. Залежно від мінімальної ширини провідників, мінімального зазору між елементами провідного малюнка, максимально допустимої похибки та інших параметрів ГОСТ 23571-86 передбачає п'ять класів точності ДП.

При конструкторсько-технологічному розрахунку необхідно використовувати граничні значення елементів друкованого монтажу з урахуванням похибки їх виконання. Необхідні граничні значення елементів друкованого монтажу і допустимі похибки наведені в таблицях 4.4.2 та 4.4.3.

Таблиця 4.4.1 Граничні значення основних параметрів ПМ

Параметер	Позначення	Клас точності			
		2	3	4	5
Ширина друкованого провідника, мм	$b_{прг}$	0,45	0,25	0,15	0,10
Відстань між елементами друкованого монтажу, мм	$lг$	0,45	0,25	0,15	0,10
Гарантований поясок, мм	$b_{по}$	0,20	0,10	0,05	0,03
Відношення номінального діаметру найменшого з металізованих отворів до товщини друкованої плати, мм	$K_{дт}$	0,40	0,33	0,25	0,20

Таблиця 4.4.2 – Допустимі похибки виконання елементів ПМ

Похибка	Обозначення	Максимальне значення, мм
Зміщення провідників відносно ліній КО	$\delta_{\text{сп}}$	0,05
Розташування отворів (всіх) відносно вузлу КО	$\delta_{\text{о}}$	0,07
Розташування КМ відносно вузлу КО	$\delta_{\text{КМ}}$	0.015(0.05)
Фотокопії та фотошаблону	$\delta_{\text{фф}}$	0,06
Розташування КМ відносно вузлу КО на фотошаблоні	$\delta_{\text{фш}}$	0,05

Виготовлення ДП п'ятого класу точності вимагає застосування унікального високоточного обладнання, спеціальних (як правило, дорогих) матеріалів і навіть створення у виробничих приміщеннях «чистої зони». Таким вимогам відповідає далеко не кожне виробництво. ДП четвертого класу випускаються на високоточному обладнанні, але вимоги до матеріалів, обладнання та виробничих приміщень нижче, ніж для п'ятого класу.

ДП третього класу - найбільш поширені, оскільки, з одного боку, забезпечують досить високу щільність трасування і монтажу, а з іншого - для їх виробництва досить рядового, хоча і спеціалізованого, устаткування. Випуск ДП другого класу здійснюється на рядовому обладнанні, а іноді навіть на обладнанні, що не спеціалізоване для виготовлення ДП. Такі ДП, з невисокими конструктивними параметрами, призначені для недорогих пристроїв з малою щільністю монтажу.

Оскільки для реалізації пристрою було обрано багато SMD компонентів, необхідно буде забезпечити високу щільність монтажу, тому я обрав 4 клас точності. Використання 4 класу точності дозволить досить точно та щільно розмістити компоненти на платі, що забезпечить вищу надійність з'єднань.

4.5. Розрахунок елементів друкованого монтажу

4.5.1. Визначення мінімальної ширини друкованого провідника по постійному струму для ланцюгів живлення та землі

Мінімальна ширина друкованого провідника по постійному струму $b_{\min I}$ (мм) для ланцюгів живлення та «землі» визначається виразом 4.5.1.1:

$$b_{\min I} = \frac{I_{\max}}{j_{\text{доп}} \cdot t_{\text{пров}}}, \quad (4.5.1.1)$$

де I_{\max} – максимально можливий струм в ланцюгу, А

$j_{\text{доп}}$ – допустима щільність струму для ДП, яка виготовлена комбінованим позитивним методом, $j_{\text{доп}} = 48 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}$

$t_{\text{пров}}$ – товщина друкованого провідника, яка визначається виразом (4.5.1.2)

Друкований провідник виготовлюється комбінованим позитивним методом. Згідно методу виготовлення:

$$t_{\text{пров}} = h_{\text{ф}} + h_{\text{ГМ}} + h_{\text{ХМ}}, \quad (4.5.1.2)$$

де $h_{\text{ф}}$ – товщина фольги, $h_{\text{ф}} = 0,035$ мм

$h_{\text{ГМ}}$ – товщина кроку гальванічно осадженої міді, $h_{\text{ГМ}} = 0,055$ мм

$h_{\text{ХМ}}$ – товщина шара хімічно осадженої міді, $h_{\text{ХМ}} = 0,0065$ мм

$$t_{\text{пров}} = 0,035 + 0,055 + 0,0065 = 0,0965 \text{ мм}$$

Параметр I_{max} в виразі (4.5.1.2) визначається як сума струмів, які споживають усі активні елементи схеми. Значення струмів, які споживають активні елементи схеми, наведені у таблиці 4.5.1.1.

Таблиця 4.5.1.1 – Струми, які споживають елементи схеми

IC	N, IC	I _{спож} , мА	N*I _{спож} , мА
CD4011	1	10	10
SN7490A	3	29	87
SN7492A	2	26	52
SN7493	1	25	50
K155IE1	5	60	300

У результаті:

$$I_{\text{max}} = 10 + 87 + 52 + 50 + 300 = 499 \text{ мА}$$

Найбільше струму споживають мікросхеми K155IE1 так як це доволі старі IC.

Тоді мінімальна ширина друкованого провідника на постійному струмі для ланцюгів живлення та «землі» визначається наступним чином:

$$b_{\text{min I}} = \frac{I_{\text{max}}}{j_{\text{доп}} \cdot t_{\text{пров}}} = \frac{0,5}{48 \cdot 0,0965} = 0,11 \text{ мм}$$

Отримане значення мінімальної ширини провідника $b_{\text{min I}} = 0,11$ мм входить в значення обраного 4 класу точності ($b_{\text{пр}}^{\Gamma} = 0,15$ мм).

4.5.2. Визначення мінімальної ширини провідника з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому

Мінімальна ширина провідника з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому, визначається (4.5.2.1):

$$b_{\min U} = \frac{p \cdot I_{\max} \cdot L_{\text{пров}}}{U_{\text{доп}} \cdot t_{\text{пров}}}, \quad (4.5.2.1)$$

де ρ – питомий опір провідника, виготовленого комбінованим позитивним методом, $\rho = 0,0175 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$

$L_{\text{пров}}$ – довжина найдовшого друкованого провідника ДП, аналізуючи розділ РОЗМІЩЕННЯ КЕ В МОНТАЖНОМУ ПРОСТОРІ ПЛАТИ можна прикинути довжину біля 60 мм.

$U_{\text{доп}}$ – допустиме падіння напруги на друкованому провіднику,
 $U_{\text{доп}} = 0,05 \times E_{\text{п}} = 0,05 \times 13 = 0,65 \text{ В}$

$L_{\text{пров}} = 0,06 \text{ м}$

$$b_{\min U} = \frac{p \cdot I_{\max} \cdot L_{\text{пров}}}{U_{\text{доп}} \cdot t_{\text{пров}}} = \frac{0,0175 \cdot 0,5 \cdot 0,06}{0,65 \cdot 0,0965} = 0,0084 \text{ мм}$$

Отримане значення мінімальної ширини провідника $b_{\min U} = 0,0084 \text{ мм}$ входить в значення обраного 4 класу точності ($b_{\text{пр}}^{\text{г}} = 0,15 \text{ мм}$).

4.5.3. Визначення номінального діаметру монтажного отвору

$$d \geq d_{\text{вз}} + \Delta d_{\text{мо}} + r, \quad (4.5.3.1)$$

де $d_{\text{вз}}$ – діаметр виводу елементів, для якого визначається діаметр монтажного отвору,

Δd – нижнє граничне відхилення від номінального діаметру МО, $\Delta d_{\text{мо}} = 0,1 \text{ мм}$

r – різниця між мінімальним діаметром МО та максимальним діаметром виводу елемента, $r = 0,1 \dots 0,2 \text{ мм}$

$$d \geq d_{\text{вз}} + \Delta d_{\text{мо}} + r = 0,5 + 0,1 + 0,2 = 0,8 \text{ мм}$$

4.5.4. Визначення діаметра контактної площини

$$D_{\min} = D_{\min 1} + 1,5 \cdot h_{\text{ф}} + 0,03, \quad (4.5.4.1)$$

де $D_{\min 1}$ – мінімальний ефективний діаметр КМ, мм,

$h_{\text{ф}}$ – товщина фольги, $h_{\text{ф}} = 0,035 \text{ мм}$. Коефіцієнт $1,5h_{\text{ф}}$ враховує підтравлювання фольги друкованого провідника у ширину,

0,03 – КМ виготовлюють комбінованим позитивним методом.

$$D_{\min I} = 2 \cdot (b_{\text{по}} + \frac{d_{\max}}{2} + \delta_o + \delta_{\text{км}}), \quad (4.5.4.2)$$

де d_{\max} – максимальний діаметр отвору в ДП, мм,

$b_{\text{по}}$ – ширина пояса КМ, $b_{\text{по}} = 0,05$ мм (табл. 4.4.1)

δ_o – похибка розташування центру отвору відносно вузла КС, $\delta_o = 0,07$ мм (табл. 4.4.2),

$\delta_{\text{км}}$ – похибка розташування центру КМ відносно вузла КС, $\delta_{\text{км}} = 0,05$ (табл. 4.4.2).

Максимальний діаметр отвору ДП:

$$d_{\max} = d + \Delta d + (0,1 \dots 0,15), \quad (4.5.4.3)$$

де d – номінальний діаметр МО, мм,

Δd – допуск на діаметр отвору, $\Delta d = 0,05$ мм

$$d_{\max} = d + \Delta d + (0,1 \dots 0,15) = 0,7 + 0,05 + 0,1 = 0,85 \text{ мм}$$

$$D_{\min I} = 2 \cdot \left(b_{\text{по}} + \frac{d_{\max}}{2} + \delta_o + \delta_{\text{км}} \right) = 2 \cdot \left(0,05 + \frac{0,85}{2} + 0,07 + 0,05 \right) = 1,19 \text{ мм}$$

$$D_{\min} = D_{\min I} + 1,5 \cdot h_{\phi} + 0,03 = 1,19 + 1,5 \cdot 0,035 + 0,03 = 1,27 \text{ мм}$$

Максимальний діаметр КМ:

$$D_{\max} = D_{\min} + 0,02, \quad (4.5.4.4)$$

$$D_{\max} = 1,27 + 0,02 = 1,29 \text{ мм}$$

4.5.5. Визначення мінімальної ширини провідника

$$b_{\min} = b_{\text{пр}}^{\Gamma} + 1,5 \cdot h_{\phi} + 0,03, \quad (4.5.5.1)$$

де $b_{\text{пр}}^{\Gamma}$ – мінімальна ширина провідника. Визначаємо з таблиці класів точності (Табл. 4.4.1). Для 4-го класу точності ДМ $b_{\text{пр}}^{\Gamma} = 0,15$ мм

$$b_{\min} = b_{\text{пр}}^{\Gamma} + 1,5 \cdot h_{\phi} + 0,03 = 0,15 + 1,5 \cdot 0,035 + 0,03 = 0,23 \text{ мм}$$

Максимальна ширина провідника:

$$b_{\max} = b_{\min} + 0,02, \quad (4.5.5.2)$$

$$b_{\max} = 0,23 + 0,02 = 0,25 \text{ мм}$$

4.5.6. Визначення мінімальної відстані між провідником та контактною площиною

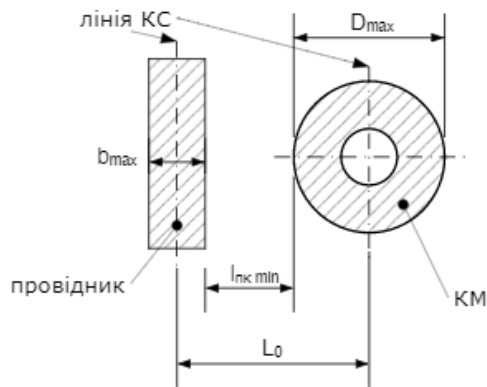


Рис. 4.1 – Відстань між провідником та контактом

$$l_{ПКМ min} = L_0 - \left(\frac{D_{max}}{2} + \delta_{км} + \frac{b_{max}}{2} + \delta_{сп} \right), \quad (4.5.6.1)$$

де L_0 – відстань між центрами отворів та друкованим провідником, які кратні кроку КС, $L_0 = 1,25$ мм (найгірший випадок).

D_{max} – максимальний діаметр КП,

b_{max} – максимальна ширина провідника,

$\delta_{км}$ – похибка розташування центра КП відносно вузла КС, $\delta_{км} = 0,05$ (табл.2),

$\delta_{сп}$ – похибка, яка враховує зміщення провідника, $\delta_{сп} = 0,05$ мм

$$\begin{aligned} l_{ПКМ min} &= L_0 - \left(\frac{D_{max}}{2} + \delta_{км} + \frac{b_{max}}{2} + \delta_{сп} \right) \\ &= 1,25 - \left(\frac{1,29}{2} + 0,05 + \frac{0,25}{2} + 0,05 \right) = 0,38 \text{ мм} \end{aligned}$$

4.5.7. Визначення мінімальної відстані між двома сусідніми провідниками (між краями провідників)

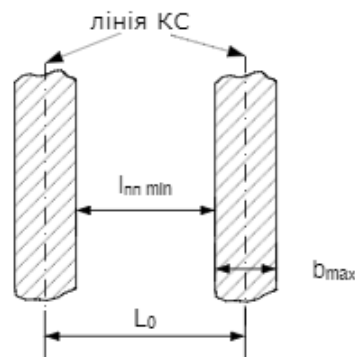


Рис. 4.2 – Відстань між провідниками

$$l_{ПП min} = L_0 - (b_{max} + 2 \cdot \delta_{сп}), \quad (4.5.7.1)$$

$$l_{\text{ПП min}} = L_0 - (b_{\text{max}} + 2 \cdot \delta_{\text{сп}}) = 1,25 - (0,25 + 2 \cdot 0,05) = 0,9 \text{ мм}$$

4.5.8. Визначення мінімальної відстані між двома контактних площин

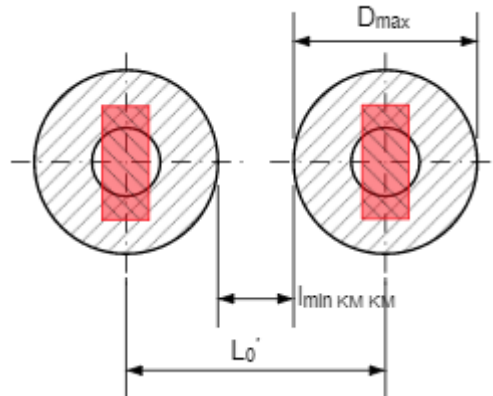


Рис. 4.3 – Відстань між контактами

$$l_{\text{min КМ КМ}} = L_{01} - (D_{\text{max}} + 2 \cdot \delta_{\text{КМ}}), \quad (4.5.8.1)$$

де L_{01} - відстань між центрами сусідніх КП, $L_{01} = 2,5$ мм.

$$l_{\text{min КМ КМ}} = L_{01} - (D_{\text{max}} + 2 \cdot \delta_{\text{КМ}}) = 2,5 - (1,29 + 2 \cdot 0,05) = 1,11 \text{ мм.}$$

Отримане значення задовольняє 4й клас точності.

Висновки

Під час даної роботи я обрав тип двосторонню та матеріал FR4-2-35-1,5 друкованої плати, обрав клас точності 4, якого більш ніж достатньо для даного пристрою. Обрав комбінований позитивний метод виготовлення ДП. Виконав конструкторсько-технологічні розрахунки елементів ДМ, а зокрема: мінімальну ширину друкованого провідника, номінальний діаметр монтажного отвору, діаметр контактної площадки, мінімальна ширина провідника, відстань між провідником та контактною площадкою, між двома сусідніми провідниками та між двома контактами.

РОЗДІЛ 5. ЕЛЕКТРИЧНИЙ РОЗРАХУНОК ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ

5.1. Визначення падіння напруги на найдовшому друкованому провіднику

Падіння напруги на друкованому провіднику визначається:

$$U_{\text{пад}} = \frac{\rho \cdot I_{\text{max}} \cdot l_{\text{пр}}}{b_{\text{пр}} \cdot t_{\text{пр}}}, \quad (5.1.1)$$

де ρ - питомий об'ємний опір для комбінованого позитивного методу виготовлення ДП,

$$\rho = 0,0175 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$$

$l_{\text{пр}}$ – максимальна довжина друкованого провідника, $l_{\text{пр}} = 0,19$ м.

$t_{\text{пр}}$ - товщина провідника, $t_{\text{пр}} = 0,1$ мм =

I_{max} – максимальний струм у провіднику, $I_{\text{max}} = 0,5$ А

$$U_{\text{пад}} = \frac{\rho \cdot I_{\text{max}} \cdot l_{\text{пр}}}{b_{\text{пр}} \cdot t_{\text{пр}}} = \frac{0,0175 \cdot 0,5 \cdot 0,19}{0,25 \cdot 0,1} = 0,07 \text{В}$$

Розраховане падіння напруги не перевищує 5%(0,25В) від напруги живлення($U_{\text{ж}} = 5\text{В}$).

5.2. Визначення потужності втрат двосторонньої друкованої плати

Потужність втрат визначається:

$$P_{\text{пот}} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C \cdot E_n^2 \cdot \text{tg}\sigma, \quad (5.2.1)$$

де $f=1$, тому що розрахунок виконується на постійному струмі

$\text{tg}\sigma$ – тангенс кута діелектричних втрат для матеріала ДП, $\text{tg}\sigma = 0,002$ для матеріалу FR4

C – ємність ДП

$$C = \frac{0,009 \cdot \varepsilon \cdot S_m}{h}, \quad (5.2.2)$$

де ε – діелектрична проникність, $\varepsilon = \text{FR4} + \text{УР231} = 4,5 + 4,5 = 9$

S_m - площа металізації, $S_m = 7500 \text{ мм}^2$

h - товщина ДП, мм

$$C = \frac{0,009 \cdot \varepsilon \cdot S_m}{h} = \frac{0,009 \cdot 9 \cdot 7500}{1,5} = 405 \text{ нФ}$$

$$P_{\text{пот}} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C \cdot E_n^2 \cdot \text{tg} \sigma = 2 \cdot 3,14 \cdot 1 \cdot 405 \cdot 10^{-9} \cdot 144 \cdot 0,002 = 720 \text{ нВт}$$

5.3. Визначення ємності між двома сусідніми провідниками, які розташовуються на одній стороні ДП та мають однакову ширину

$$C = 0,12 \cdot \varepsilon \cdot l_{\text{пр}} \cdot \left[\lg \frac{2 \cdot S}{b_{\text{пр}} + t_{\text{пр}}} \right]^{-1}, \quad (5.3.1)$$

де S – відстань між двома паралельними провідниками, мм

$b_{\text{пр}}$ - ширина друкованого провідника, мм

$t_{\text{пр}}$ - товщина друкованого провідника, мм

$l_{\text{пр}}$ - довжина взаємного перекриття двох паралельних провідників, мм

$$C = 0,12 \cdot \varepsilon \cdot l_{\text{пр}} \cdot \left[\lg \frac{2 \cdot S}{b_{\text{пр}} + t_{\text{пр}}} \right]^{-1} = 0,12 \cdot 4,5 \cdot 194 \cdot \left[\lg \frac{2 \cdot 0,9}{0,25 + 0,1} \right]^{-1} = 182 \text{ пФ}$$

5.4. Визначення взаємної індуктивності двох паралельних провідників однакової довжини

$$M = 0,02 \left(l_{\text{пр}} \lg \frac{\sqrt{l_{\text{пр}}^2 - L_0^2} + l_{\text{пр}}}{L_0} - \sqrt{l_{\text{пр}}^2 - L_0^2} + l_{\text{пр}} \right), \quad (5.4.1)$$

де $l_{\text{пр}}$ – довжина перекриття паралельних провідників, $l_{\text{пр}} = 19 \text{ см}$

L_0 - відстань між осевими лініями двох паралельних провідників, $L_0 = 0,125$

см

					ДК91466369.007 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		30

$$M = 0,02 \left(l_{\text{пр}} \lg \frac{\sqrt{l_{\text{пр}}^2 - L_0^2} + l_{\text{пр}}}{L_0} - \sqrt{l_{\text{пр}}^2 - L_0^2} + l_{\text{пр}} \right) =$$

$$= 0,02 \left(19 \cdot \lg \frac{\sqrt{19^2 - 0,0156} + 4}{0,125} - \sqrt{19^2 - 0,0156} + 4 \right) =$$

0,53 нГн

Висновки

На даній роботі я розрахував падіння напруги на найдовшому провіднику, потужність втрат двосторонньої плати, ємність між двома сусідніми провідниками, індуктивність двох паралельних провідників. Всі отримані значення задовольняють вимоги.

РОЗДІЛ 6. РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ

Найбільш точна кількісна міра надійності кожного конструктивного елемента – його індивідуальне напрацювання до моменту виникнення відмови.

Важлива характеристика надійності - середній час безвідмовної роботи визначається:

$$T_{\text{ср}} = \frac{1}{\lambda}, \quad (6.1)$$

Інтенсивність відмов ЕРЕ є їх вихідною характеристикою надійності, залежить від режиму роботи та ступеню тяжкості таких зовнішніх впливів, як температура, тепловий удар, вологість, вібрації і т.д.

Тоді можна записати:

$$\lambda_e = \lambda_{oe} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot \dots \cdot K_n, \quad (6.2)$$

де λ_{oe} - інтенсивність відмов елемента при нормальних умовах роботи (температура навколишнього середовища $T_{\text{окр.ср}} = 20 \pm 5^\circ\text{C}$, відносна вологість $65 \pm 15\%$); коефіцієнт електричного навантаження $K_n = 1$, K_1, K_2, \dots, K_n - поправочні коефіцієнти, що враховують режими роботи та умови експлуатації.

Для врахування впливу режиму роботи на інтенсивність відмов ЕОА вводять коефіцієнт навантаження, що дорівнює відношенню навантаження в робочому режимі до навантаження в номінальному режимі:

$$K_n = \frac{P_{\text{роб}}}{P_{\text{ном}}}, \quad (6.3)$$

6.1 Коефіцієнт навантаження для резисторів

$$K_{n.p} = \frac{U^2}{R \cdot P_{\text{ном}}} = \frac{U_{\text{роб}}^2}{R \cdot P_{\text{ном}}} = \frac{5^2}{2000 \cdot 0,125} = 0,1 \quad (6.1.1)$$

					ДК91466369.007 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		32

Розраховуємо коефіцієнти навантаження:

Резистори:

$U_{роб}^2 = 5V$ – напруга живлення (максимальна можлива на елементі)

$P_{ном} = 0,125Вт$ – потужність

$R_{min} = 2кОм$ – (найменший з опорів для резисторів потужністю 0,125 Вт),

6.2 Коефіцієнт навантаження для конденсаторів

$$K_{н.с} = \frac{U_{роб}}{U_{ном}}, (6.2.1)$$

$$K_{н.р} = \frac{U_{роб}}{U_{ном}} = \frac{5}{25} = 0,2$$

$U_{роб} = 5V$ – напруга живлення (максимальна можлива на елементі)

$U_{ном} = 25 В$ – номінальна напруга пробою конденсатора.

6.3 Коефіцієнт навантаження для кварцового резонатора

Вибираємо K_n рівний 0,8, оскільки даний елемент є критично важливим для функціонування мікроконтролера, тому необхідний певний запас по надійності

6.4 Коефіцієнт навантаження для мікросхем

Вибираємо K_n рівний 1, оскільки мікросхеми були вибрані такими, щоб забезпечувати повне функціонування схеми, припускаючи що всі мікросхеми працюють у відповідних режимах при струмах та напругах, що забезпечують стабільне функціонування їх протягом довгого часу як гарантує datasheet на кожному з мікросхем.

Дані для розрахунку часу напрацювання до першої відмови занесені до табл.1. Кліматичне виконання приладу УХЛ1.1, що диктує максимальну температуру роботи в +40 °С, спираючись на цю інформацію обираємо ат. Даний друкований вузол відноситься до наземної рухомої електрорадіоапаратури, тому вибираємо $\alpha_e = 15$.

В Таблиці 6.4.1:

α_e – поправочний коефіцієнт на вплив зовнішніх впливів (для переносної апаратури $\alpha_e = 15$),

α_t – поправочний температурний коефіцієнт.

Показники інтенсивності відмов, що наведені в таблиці, дещо завищені, дозволяє виконати розрахунок для «найгіршого випадку».

Результуюча інтенсивність відмов дорівнює сумі інтенсивності відмов компонентів

$$\lambda_p = \sum_{i=1}^n \lambda_{pi}, (6.4.1)$$

Таблиця 6.4.1 – Вихідні дані для визначення λ_p

Компонент	N	$\lambda_{0e} \cdot 10^{-8},$ год ⁻¹	K_n	a_t	a_e	$N \cdot \lambda_{0e} \cdot$ $K_n \cdot a_t \cdot a_e \cdot 10^{-6}$
Резистори	5	0,02	0,2	0,2	15	0,06
Конденсатори	4	0,2	0,4	0,2	15	0,96
Кварцевий резонатор	1	0,03	0,8	1	15	0,36
Мікросхеми	12	0,025	1	1,2	15	5,4
Пайка виводу	150	0,000069	1	1	15	0,156
Друкована плата(мет. отвори)	70	0,000017	1	1	15	0,018
Перехідні отвори	9	0,0375	1	1	15	5,06
Сумарна інтенсивність відмов друкованого вузлу						12,02

$$\lambda_p = \sum_{i=1}^n \lambda_{pi} \approx 12,02 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$$

де λ_{oe} - інтенсивність відмов елементу при нормальних умовах роботи (температура навколишнього середовища $T_{окр.ср} = 20 \pm 5^\circ\text{C}$, відносна вологість $65 \pm 15\%$);

Середній час напрацювання до першої відмови:

$$T_{cp} = \frac{1}{\lambda_p} = \frac{1}{12,02 \cdot 10^{-6}} = 83194,7 \approx 83000 \text{ год}$$

Ймовірність безвідмовної роботи на протязі року:

$$P = e^{-\lambda_p t} = e^{-12,02 \cdot 10^{-6} \cdot 8760} \approx 0,9 \quad (6.4.2)$$

Ймовірність відмов на протязі року:

$$Q(t) = 1 - 0,9 = 0,1 \quad (6.4.3)$$

Графіки ймовірностей відмов і безвідмовної роботи протягом експлуатації наведені на Рис. 6.4.1

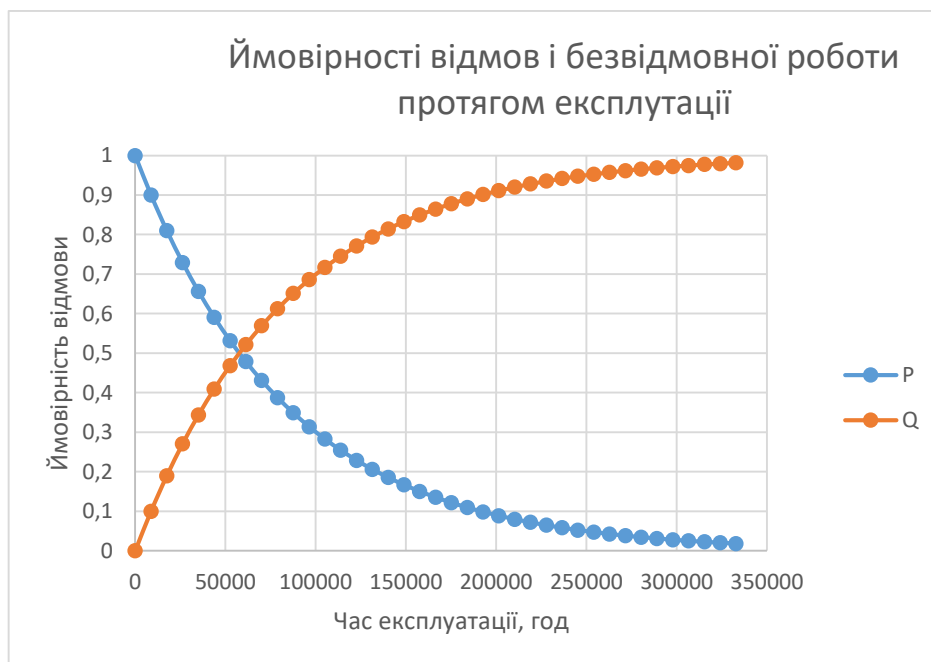


Рис. 6.4.1 – Графіки залежності ймовірності відмови

Висновок

Під час даної роботи я розрахував напрацювання до першої відмови для розроблюваного пристрою. Я отримав результат 83000 год, що задовольняє вимоги ТЗ. Висока надійність біла досягнута завдяки використанню інтегральних схем з малою інтенсивністю відмов. Мною було побудовано графік залежності Ймовірності відмов і безвідмовної роботи протягом експлуатації.

					ДК91466369.007 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		36

РОЗДІЛ 7. МЕТОДИКА ПРОЕКТУВАННЯ ДРУКОВАНОГО ВУЗЛУ В СЕРЕДОВИЩІ ALTIUM DESIGNER

Altium Designer – це програмне забезпечення, що дозволяє реалізувати проекти електронних пристроїв на рівні схеми з можливістю в майбутньому передавати інформацію проектувальнику ПЛІС або друкованих плат.

Програма AD надає великі можливості для розробки електронних пристроїв. Під час написання курсової роботи були розглянуті такі можливості програми: самостійне створення бібліотеки компонентів (додавання УГП і посадкового місця), створення принципової електричної схеми, трасування друкованої плати або автоматичне трасування.

7.1. Створення проекту друкованої плати.

PCB Project – це набір документів, необхідний для виготовлення друкованої плати, данні якої призначені для рішення однієї конструктивно-закінченої задачі. Документи представляють собою файли різних типів, котрі можуть додаватися в проект.

7.2. Створення бібліотеки компонентів.

AD має готові бібліотеки компонентів. Але використання даних бібліотек є неоптимальним через те, що вони не відповідають ГОСТ.

Тому для правильної, оптимальної роботи при проектуванні друкованого вузла необхідно самостійно створювати бібліотеку компонентів.

УГП і посадкові місця компонентів формуються у редакторі бібліотек (Library Editor). В середовищі AD є чотири типи бібліотек: моделей, символів, баз даних, інтегровані бібліотеки.

7.3 Створення схеми електричної принципової.

В кожному редакторі AD є свій набір панелей і інструментів для роботи. Основною панеллю, з якою ведеться робота в редакторі схем є панель Libraries. AD ділить об'єкти, котрі є на полі електричної схеми на графічні та електричні.

					ДК91466369.007 ПЗ	Лист
						37
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Процедура формування схеми насправді проста, і в загальному випадку представляє собою послідовне розміщення і з'єднання на листі електричних і графічних об'єктів за допомогою лінії.

7.4. Трасування друкованої плати.

Створення файлу плати може бути виконано вручну, а також за допомогою майстера PCB Board Wizard, котрий по етапам питає інформацію о ДП, котра потім виражається у виді конструктивних параметрів і правил проектування. Під розробкою конструктивних параметрів розуміється етап розробки ДП від формування файлу плати до розміщення компонентів, котрі складаються з чотирьох кроків: формування контуру ДП, описання стека слоїв, установки кріпильних отворів і визначення заборонених зон для трасування.

В AD задача інтерактивного трасування вирішується інструментом автотрасування, котрий знаходиться в меню AutoRoute. Автоматичне трасування окремих елементів дає не дуже задовільний результат, так як немає можливості настройки її алгоритму, котрий може бути вказаний тільки для трасування всієї плати.

					ДК91466369.007 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		38

ВИСНОВОК

Під час даної роботи я виконав конструювання друкованого вузла та друкованої плати. Дану роботу я виконував на прикладі цифрового годинника.

Для початку я розробив технічне завдання в якому описав всі вимоги, які повинен задовольняти даний пристрій. Мною був обраний метод виготовлення, матеріал та клас точності друкованої плати. Потім за допомогою матриці елементів я одержав оптимальне розміщення компонентів, щоб щільність монтажу ДП була максимальною. Мною була розроблена конструкторська документація на посадкові місця ІС. Пріоритетом в виборі мікросхем були SMD корпуси, але одну мікросхему я залишив в DIP корпусі, так як не знайшов підходящий аналогів. Інші елементи також в SMD корпусі, що дозволяє зробити плату більш компактною.

Розрахунок надійності показав, що пристрій має час напрацювання близько 300000 год, що більше ніж вимагає технічне завдання.

Можна зробити висновок, що даний пристрій відповідає всім сучасним вимогам та вважається працездатним.

					ДК91466369.007 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		39

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. <http://rcl-radio.ru/?p=3057>
2. Посилання на даташит: <https://www.futurlec.com/4000Series/CD4011.shtml>
3. <https://html.alldatasheet.com/html-pdf/230106/TI/SN7490A/594/20/SN7490A.html>
4. <https://html.alldatasheet.com/html-pdf/230106/TI/SN7490A/24/1/SN7490A.html>
5. <https://html.alldatasheet.com/html-pdf/230106/TI/SN7490A/24/1/SN7490A.html>
6. Структура та правила оформлення ДСТУ 3008:2015
7. ГОСТ 15150-69
8. <https://www.microhemca.ru/IE1/>

					ДК914.663.69.007 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		40

ДОДАТОК А

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ НА ПРОЕКТУВАННЯ

1. Найменування й галузь використання

Малогабаритний цифровий годинник, виконаний в вигляді пристрою, що лічить секунди, хвилини та години з можливістю встановлення значення хвилин та годин. Може використовуватись для контролю поточного часу доби в повсякденному житті, розміщуватись стаціонарно в автомобілі чи будинку, бути інтегрованим в який інший прилад.

2. Підстава для розробки

Підставою для проведення курсового проекту є завдання, що видане викладачем згідно учбового плану на 6 семестр.

3. Мета і призначення розробки

Метою розробки є розробка друкованого вузла для даного приладу. Прилад здатний коректно лічити та відображати час доби, тому корисний в повсякденному житті й інших видах діяльності.

4. Джерело розробки

Враховуючи те, що дана тема проекту розробляється не вперше, в якості джерела розробки береться розроблений раніше проект. В якості допоміжного матеріалу взято статтю “ ЭЛЕКТРОННЫЕ ЧАСЫ НА ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМАХ СЕРИИ K155 ” на сайті <http://rcl-radio.ru/?p=3057>. Головною модифікацією буде розміщення на ДП SMD семисегментних індикаторів.

5. Технічні вимоги

5.1.Склад виробу й вимоги до пристрою, що розробляється

Електрична схема реалізована на друкований платі. Прилад містить декілька кнопок то роз'єм живлення.

5.2.Показники призначення

Пристрій повинен забезпечувати

- Коректне лічення часу
- Можливість встановлювати час
- Відображення секунд, хвилин, годин

5.3. Вимоги до надійності

Середній час відпрацювання до відмови повинен були не менше X годин, враховуючи вартість і складність виготовлення даного пристрою.

					ДК91466369.007 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		41

5.4.Вимоги до технологічності

Орієнтований на автоматизоване виготовлення та придатність до ремонту.

5.5.Вимоги до рівня уніфікації та стандартизації

Для виготовлення пристрою передбачається застосування тільки стандартних уніфікованих деталей та виробів.

5.6.Вимоги до безпеки експлуатації

Керуватися загальними вимогами безпеки до апаратури низької напруги ГОСТ 12.2.007-75.

5.7.Вимоги до складових частин виробу, сировини, вихідних і експлуатаційних матеріалів.

Вони повинні бути такими, щоб забезпечувати виконання всіх інших вимог до пристрою, можуть бути імпортними чи вітчизняними. Пристрій повинен містити кнопку для скидання годинника в значення 00 годин 00 хвилин 00 секунд, кнопку яка дозволить налаштувати значення хвилин, кнопку яка дозволить налаштувати значення годин. Пристрій не містить дешифраторів та семисегментних індикаторів для відображення часу, споживач може самостійно підібрати інтерфейс на свій смак.

Умови експлуатації

Кліматичне виконання УХЛ.3.1 по ГОСТ 15150-69.

5.8.Вимоги до транспортування і зберігання

Група умов зберігання Л1 по ГОСТ 15150-69. Зберігати в зачинених, опалювальних та вентильованих приміщеннях, в яких забезпечуються наступні умови: температура повітря +5...+40С, відносна вологість повітря 60% при 200С(середньорічне значення), атмосферний тиск 84...106кПа.Транспортувати автомобільним, залізничним або авіаційним видами транспорту в спеціальній транспортній тарі.

5.9.Додаткові технічні вимоги

Технічні характеристики:

Похибка в ліченні часу через добу після початку	менше 1 хв
Габаритні розміри, висота	менше 5 см
Габаритні розміри, довжина	менше 15 см
Габаритні розміри, ширина	менше 15 см
Маса	від 50 до 300 г
Живлення	від 4 до 6 В
Потужність	менше 3 вт

6. Результати роботи

6.1. Вихідна документація

Результатом може бути вихідна документація по створенню прототипів деяких складових частин повноцінного пристрою.

6.2. Звітність

Дана робота (звітна документація) після виконання надається на кафедру КЕОА для подальшого захисту й зберігання як навчальної документації.

7. Робота повинна містити в собі документи

- Пояснювальну записку (формату А4, до 70 аркушів)
- Схему електричну принципову та перелік елементів (формату А1, А4 відповідно)
- Складальне креслення та специфікацію (формату А1, А4 відповідно)
- Креслення друкованої плати (формату А1)
- Додатки (формату А1-А4)

8. Порядок розгляду й приймання роботи

Порядок розгляду й приймання роботи на загальних умовах, прийнятих на кафедрі КЕОА. Рецензування й прийняття роботи комісією на загальних умовах

9. Економічні показники

В умовах даного проекту не розглядаються.

10. Етапи розробки

Етапи					Дати	
1	Розробка технічного завдання				14.02.2022- 21.02.2022	
2	Аналіз схеми електричної принципової				22.02.2022- 07.03.2022	
3	Вибір та обґрунтування використання елементної бази				08.03.2022- 27.03.2022	
4	Проектування схеми в Altium Designer				28.03.2022-	
					04.04.2022	Лист
					ДК91466369.007 ПЗ	
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

5	Розміщення конструктивних елементів на друкованій платі	05.04.2022-11.04.2022
6	Конструкторсько-технологічний розрахунок друкованої плати	12.04.2022-18.04.2022
7	Проектування плати в Altium Designer	19.04.2022-25.04.2022
8	Електричний розрахунок друкованої плати	26.04.2022-02.05.2022
9	Розрахунок надійності	03.05.2022-10.05.2022
10	Виконання креслення ЕЗ	11.05.2022-14.05.2022
11	Виконання креслення друкованої плати	16.05.2022-19.05.2022
12	Виконання складального креслення друкованого вузла	20.05.2022-23.05.2022
13	Оформлення пояснювальної записки	23.05.2022-29.05.2022