Зміст

Змн.

Арк.

№ докум.

Підпис

Дата

Арк.

1

*ДК62.411134.001 ПЗ*

Розробив

Салім М.С.

Перевірив

Адаменко І.О.

Реценз.

Н. Контр.

Затвердив

Губар В.Г.

Цифровий індикатор напруги

Пояснювальна записка

Літ.

Аркушів

64

КПІ ім. І.Сікорського,  
ФЕЛ, КЕОА, гр. ДК-62

Вступ 3

Розділ 1. Опис та аналіз схеми електричної принципової 4

Розділ 2. Вибір та обґрунтування використання елементної бази 6

2.1. Вибір елементної бази 6

2.2. Посадкові місця елементів 11

Розділ 3. Розміщення конструктивних елементів в монтажному просторі друкованої плати 15

Розділ 4. Конструкторсько-технологічний розрахунок друкованої плати 21

4.1. Вибір та обґрунтування типу друкованої плати 22

4.2. Вибір та обґрунтування матеріалу друкованої плати 22

4.3. Вибір методу виготовлення друкованої плати 23

4.4. Вибір та обґрунтування класу точності друкованої плати 23

4.5. Розрахунок елементів друкованого монтажу 24

4.5.1. Визначення мінімальної ширини друкованого   
провідника по постійному струму для ланцюгів живлення та землі 24

4.5.2. Визначення мінімальної ширини провідника з   
урахуванням допустимого падіння напруги на ньому 25

4.5.3. Визначення номінального діаметру монтажного отвору 26

4.5.4. Визначення діаметра контактного майданчику 27

4.5.5. Визначення мінімальної ширини провідника 28

4.5.6. Мінімальна відстань між провідником і контактним майданчиком 29

4.5.7. Мінімальна відстань між двома сусідніми провідниками 30

4.5.8. Мінімальна відстань між двома контактними

майданчиками 31

Розділ 5. Електричний розрахунок друкованої плати 33

5.1. Падіння напруги на найдовшому друкованому провіднику 33

5.2. Визначення потужності втрат двосторонньої друкованої плати 34

5.3. Визначення ємності між двома сусідніми провідниками 35

5.4. Взаємна індуктивність двох паралельних друкованих провідників однакової довжини 35

Розділ 6. Розрахунок основних показників надійності друкованого вузла 37

Розділ 7. Проектування друкованих плат у середовищі Altium Designer 60

Висновки 62

Список використаних джерел 64

Додатки

**Вступ**

На сучасному етапі науково-технічного прогресу величезну роль відіграє розвиток електроніки. Електронна промисловість визначає науково-технічний і економічний потенціал нашої країни. В дану галузь промисловості входить безліч об'єднань, заводів, конструкторських бюро, дослідних центрів, ремонтних майстерень. Більше 80% робітників і службовців галузі мають вищу або середньо-спеціальну технічну освіту.

Електроніка пройшла кілька етапів розвитку, за час яких змінилося кілька поколінь елементної бази: електровакуумних приладів, дискретна електроніка, інтегральна електроніка мікросхем, функціональна інтегральна електроніка.

**Розділ 1. Опис та аналіз схеми електричної принципової**

Схема електрична принципова двохрозрядного цифрового індикатора напруги наведена в додатках (ДК62.411134.001 Е3).

Принцицип роботи проектованого пристрою основано на вимірюванні часу заряду конденсатора до напруги, рівній вимірюваній, і в подальшому його перетворенні в цифрову форму. Діапазон вимірювань вхідної напруги 0..7 В. Пропорційність вимірюваних часу і напруги забезпечується стабілізацією струму заряду.

Роботою аналого-цифрового перетворювача керує генератор прямокутних імпульсів на елементах DD1.3 та DD1.4. Коли на виході генератора зявляється логічний 0, транзистор VT3 закривається, а на входах лічильників DD2, DD3 присутній логічний 0, дозволяючи підрахунок імпульсів з генератора побудованого на DD1.1, DD1.2. Конденсатор C1 заряджається від генератора струму на транзисторі VT2. Коли зростаюча напруга на конденсаторі зрівняється з вхідним, на виході компаратора DA1 зявиться високий логічний рівень. Транзистор VT1 інвертує його, тому робота генератора на елементах DD1.1, DD1.2 блокується. Одночасно з цим на входах DD4, DD5 присутня логічна 1, дозволяючи запис інформації з лічильників DD2, DD3. Зафіксоване число відображається на світлодіодних семисегментних індикаторах. HG1, HG2.

Як тільки на виході генератора на елементах DD1.3, DD1.4 зявиться логічна 1, відкриється транзистор VT3 і конденсатор C1 розрядиться. Компаратор DA1 змінить свій стан і заблокує запис в дешифратори DD4, DD5. Через невеликий проміжок часу, визначений ланцюжком R8C4, логічна 1 подається на входи лічильників DD2 та DD3, записуючи в них логічний 0. Після цього цикл вимірювання повторюється.

Якщо на вході пристрою напруга рівна 0, то на виході компаратора DA1 присутній високий логічний рівень, який дозволяє запис в DD4, DD5 і блокує генератор на DD1.1, DD1.2. При цьому в лічильники DD2, DD3 записуються нулі, які відображаються на світлодіодних індикаторах.

**Розділ 2. Вибір та обґрунтування використання елементної бази**

**2.1. Вибір елементної бази**

Елемента база приладу складається з електро-радіо-компонентів, що входять до переліку схеми електричної принципової як комплектуючі приладу (звертаємося до переліку елементів - ДК62.411134.001 ПЕ3).

Вибір елементної бази було проведено з врахуванням умов та вимог, які викладені в ТЗ(додаток ).

Перелік компонентів може включати наступні типи електронних компонентів:

* конденсатори неполярні
* конденсатори полярні
* мікросхеми
* резистори постійні
* резистори підлаштовні
* транзистори біполярні
* транзистори польові
* семисегменті індикатори
* роз’єми
* інше

Всі компоненти повинні бути вибрані, а також переконливо обґрунтовано їх використання. Методика вибору компонентів однакова. Основну увагу буде приділено до вибору основних компонентів - аналогових мікросхем.

Методу вибору ІС по зрівнювальним параметрах та методу вибору по узагальненим критеріям приписують недолік – немає одного

критерію, за допомогою якого можна було б виділити з множини елементів що розглядаються, такий конструктивний елемент, який володів би оптимальною сукупністю параметрів.

Такого недоліку немає метод вибору ІС по матриці параметрів. Цей метод включає два перших методи.

Для вибору необхідної ІС вибрані три 4-розрядні двійково/десяткові реверсивні лічильники різних серій (CD4029B фірми Texas Instruments, CD4029BC фірми National Semiconductor, CD4029BMS Intersil), які повністю аналогічні по свої функціональності.

Параметри вибраних мікросхем наведені в таблиці 2.1.

*Таблиця 2.1 - Основні параметри ІС, що порівнюються*

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Серія ІС | Параметри | | | | |
|  |  |  |  |  |
| CD4029B | 10 | 8 | 130 | 50 | 5 |
| CD4029BC | 40 | 7,4 | 135 | 50 | 5 |
| CD4029BMS | 10 | 7 | 130 | 50 | 5 |
| Ваговий  коефіцієнт | 0,3 | 0,35 | 0,15 | 0,1 | 0,1 |

Відповідні вагові коефіцієнти були обрані відповідно до важливості порівнюваного параметру(більшому числу коефіцієнта відповідає важливіший параметр). Найбільш важливим параметром являється типова частота роботи мікросхеми, тому що проектований пристрій має забезпечувати досить хорошу швидкодію. Наступним параметром було обрано максимальний струм споживання мікросхемою, тому що одним з

можливих джерел живлення пристрою може виступати акумуляторна батарея. Далі іншим параметрам присвоюємо вагові коефіцієнти в порядку важливості. Сума всіх вагових коефіцієнтів має бути рівною 1.

Складемо матрицю параметрів згідно таблиці 2.1.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| = | 10 | 8 | 130 | 50 | 5 |
| 40 | 7,4 | 135 | 50 | 5 |
| 10 | 7 | 130 | 50 | 5 |

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

де: 𝑖 = – кількість вибраних ІС

𝑗 = – кількість параметрів ІС

Тоді матриця приведених параметрів має вигляд:

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| = | 0,1 | 8 | 0,0077 | 0,02 | 0,2 |
| 0,025 | 7,4 | 0,0074 | 0,02 | 0,2 |
| 0,1 | 7 | 0,077 | 0,02 | 0,2 |

Далі матрицю приведених параметрів приведемо до матриці - нормованих параметрів.

Нормування параметрів виконуємо за наступною формулою:

*,*

де: – максимальний елемент в стовпчику |Y|

– поточне значення елементу в стовпчику |Y|

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| = | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0,75 | 0,075 | 0,039 | 0 | 0 |
| 0 | 0,125 | 0 | 0 | 0 |

Для узагальненого аналізу системи параметрів вводять оціночну функцію:

де – ваговий коефіцієнт

Значення оціночної функції для вибраних ІС наведені в таблиці 2.2.

*Таблиця 2.2*

|  |  |
| --- | --- |
| Серія ІС |  |
| CD4029B | 0 |
| CD4029BC | 0,29 |
| CD4029BMS | 0,125 |

Визначивши для кожної з порівнюваних серій ІС, виберемо ту серію, яка найбільш задовольняє вимогам, що пред’являються до ЕОА. Меншому значенню відповідає краща серія ІС.

З аналізу значення робимо висновок, що найкращою серед розглянутих ІС по розглянутим параметрам є серія CD4029B від Texas Instruments.

Проаналізувавши та порівнявши параметри інших серій мікросхем від різних виробників, дійшли висновку, що відмінності параметрів, які найбільше впливають на вибір тієї чи іншої мікросхеми, являються мінімальними. Тому загалом вибір можна зупинити на будь-якій із серій, але виявивши факт того, що мікросхеми від виробника Texas Instruments являються найбільш розповсюдженими на нашому ринку, зупинимося на виборі мікросхем від цього виробника: LM311D, CD4511B, CD4011B.

Конденсатори виберемо типорозміру 0805 відповідно до номіналів та параметру від виробника Yageo.

Резистори виберемо типорозміру 0805 відповідно до номіналів та параметру від виробника Yageo. Вибір пасивних компонентів від цього виробника обґрунтуємо тим, що продукція цієї компанії являється розповсюдженою на нашому ринку, надійною та її якість відповідає адекватній ціновій політиці.

Електролітичний чіп-конденсатор підберемо відповідно номіналу та параметру . Зупинимось на виробнику Panasonic, так як він є одним з фаворитів в виробництві електронних компонентів даного типу.

Підлаштовний резистор виберемо моделі 3296W-1-473LF від виробника Bourns. Перевагу цьому виробнику надано тому що він є провідним в даному сегменті виробництва електронних компонентів такого типу. Продукція цього виробника є легкодоступною на нашому ринку, а якість відповідає адекватній ціновій політиці.

Вибір світлодіодного семисегментного індикатору з загальним катодом зупинимо на моделі LEDS3632AUR1C від виробника Wayjun Technology. Ця модель являється найбільш підходящою по розміру та по параметру споживаного струму.

В схемі використовується вітчизняний NPN транзистор КТ315. Його можна замінити майже будь-яким малопотужним аналогом NPN типу, наприклад розповсюдженим транзистором моделі BC546. Зупинимось на виборі транзистору моделі BC846(транзистор BC546 в корпусі SOT-23) від виробника NXP, так як на нашому ринку він є легкодоступним.

Найбільш схожим аналогом вітчизняного польового n-канального транзистору КП103І являється транзистор моделі MMBF5484. Зупинимось на цій моделі від виробника ON Semiconductor, так як вона є найбільш легкодоступною.

**2.2 Посадкові місця елементів**

Так як в розроблюваному пристрої використовується не тільки SMD, а й штирьовий монтаж деяких елементів на плату, то посадкові місця елементів визначаються видом корпусу відповідного елементу.

Види та розміри(в міліметрах) всіх посадкових місць, які були використані, наведені в таблиці 2.3.

*Таблиця 2.3 – Посадкові місця*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Модель | Виробник | Кількість | Посадкове місце |
| Мікросхеми | | | |
| LM311D | Texas Instruments | 1 |  |
| CD4011B | Texas Instruments | 1 |  |
| CD4029B | Texas Instruments | 2 |  |
| CD4511B | Texas Instruments | 2 |  |
| Конденсатори | | | |
|  | Yageo | 4 |  |
|  | Panasonic | 1 |  |
| Резистори | | | |
|  | Yageo | 8 |  |
| Підлаштовні резистори | | | |
| 3296W | Bourns | 1 |  |
| Транзистори | | | |
| BC846 | Nexperia | 2 |  |
| MMBF5484 | ON Semiconductor | 1 |  |
| Семисегментні індикатори | | | |
| LEDS3632AUR1C | Wayjun Technology | 1 |  |

**Висновок:** в даному розділі було обрано та обґрунтовано використання елементної бази. В пристрої використано майже всі елементи в SMD-виконанні та всього декілька елементів з штирьовим монтажем, що повністю відповідає поставленим умовам та вимогам, прописаним в ТЗ.

Також були розглянуті відповідні посадкові місця, обраної елементної бази.

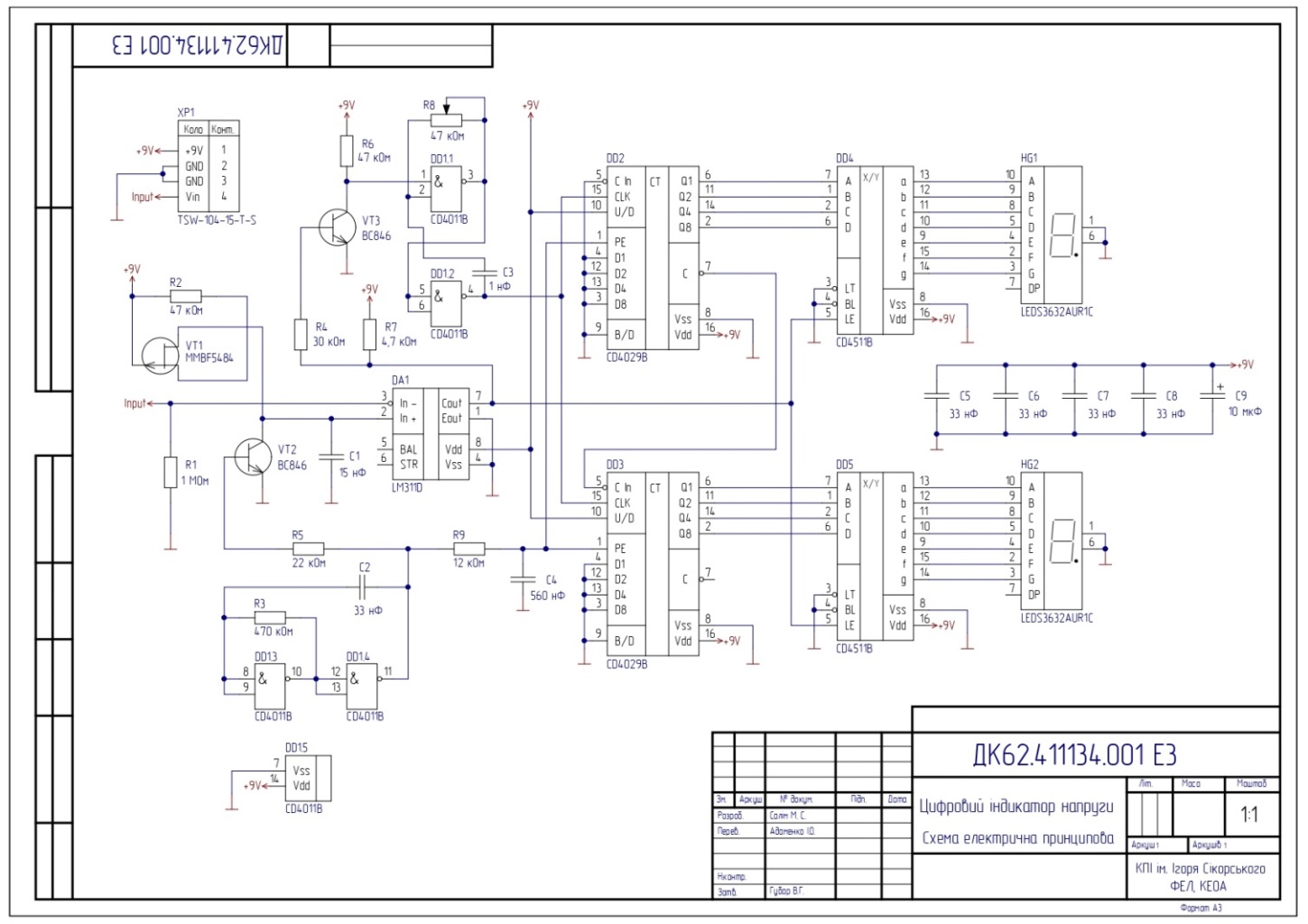
**Розділ 3. Розміщення конструктивних елементів в монтажному просторі друкованої плати**

Однією з головних проблем проектування друкованого вузлу є задача розміщення конструктивних елементів. Нам дана схема електрична принципова, яка описана матрицею зв’язків, а також дано дискретний монтажний простір, який описано матрицею відстаней.

При вирішенні поставленої перед нами задачі потрібно на кожне вакантне посадкове місце розмістити КЕ таким чином, щоб функція якості розміщення була оптимальною. Щоб досягти даної мети потрібно дотримуватитись деяких правил розташування:

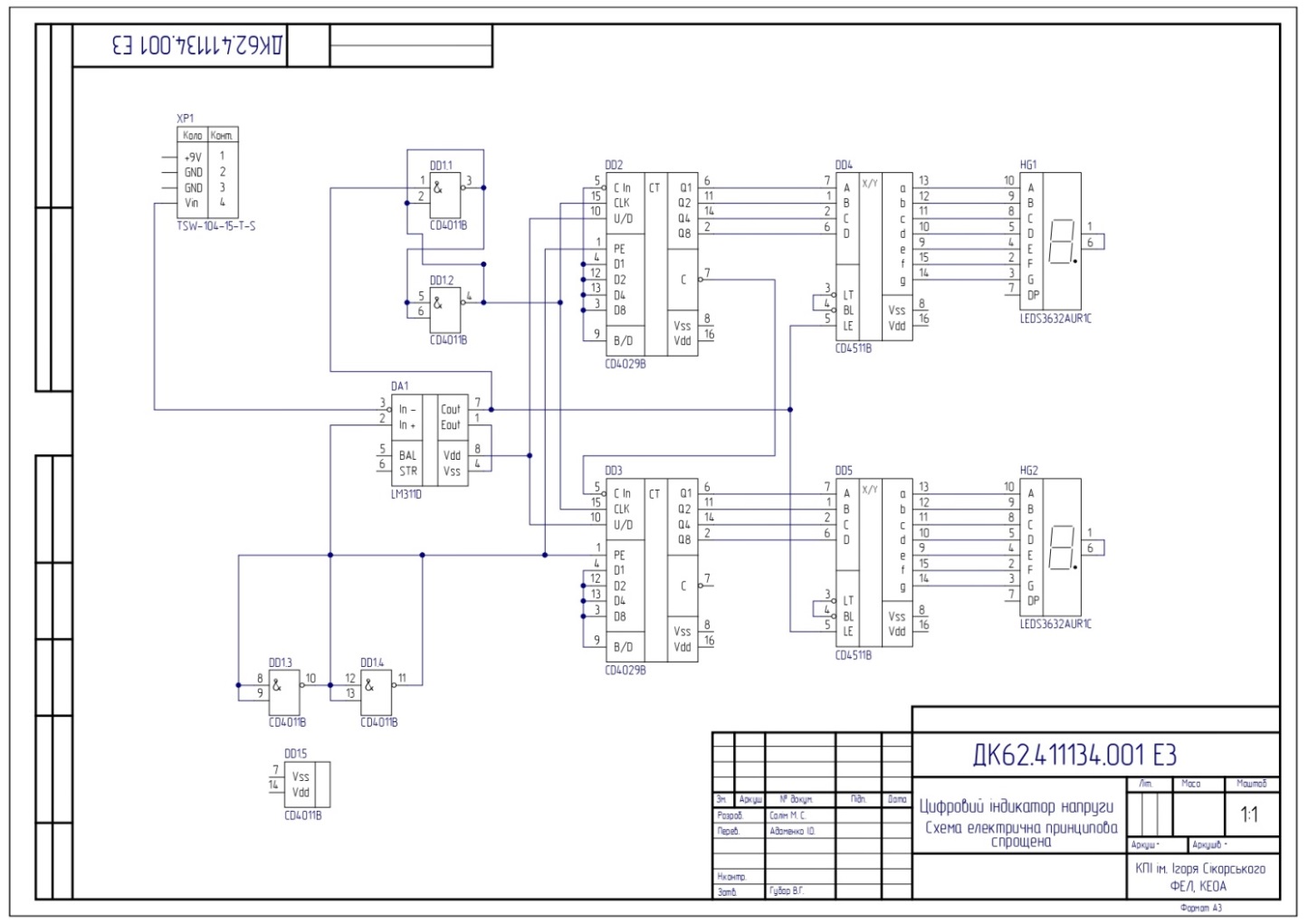
* мінімізувати сумарну довжину всіх зєднань, тобто зробити всі провідники максимально короткими, наскільки це можливо, це дасть можливість для прокладки різних варіантів трас
* зменшити кількість довгих з’єднань
* максимально близько розмістити КЕ, що мають найбільше число зв’язків між собою
* виконувати провідники максимально простими

Вихідна схема пристрою наведена на рисунку 3.1.

*Рис 3.1 - Принципова схема пристрою*

Над вихідною схемою проведемо деякі маніпуляції, що направленні на її спрощення, а саме виключимо маловивідні елементи, такі як R, C, VT і т.д. Шини живлення та “землі” також не будемо враховувати. Ці дії призведуть до зменшемення матриці зв’язків.

Спрощена схема пристрою наведена на рисунку 3.2.



*Рис 3.2 - Спрощена принципова схема*

Нам дана схема, що містить множину елементів:

*X* = {*xp*1, *DD1, DD2, DD3, DD4, DD5, DA1, HG1, HG2*}

та множину посадкових місць:

*P* = {*p*1, *p*2, *p*3, *p*4, *p*5, *p*6, *p*7, *p*8, *p*9}



P1 P2 P3



P4 P5 P6



P7 P8 P9

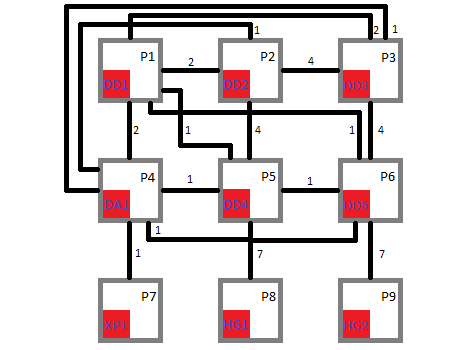
При цьому елемент *xp1* - роз’єм - заздалегідь розміщений в посадкове місце *p7*. Розміщення інших елементів буде виконано за послідовним алгоритмом.

Послідовний алгоритм представляє собою покроковий процес розташування. На кожному наступному кроці вибирається елемент, що має максимальну зв’язність з вже розташованими елементами та розташовується в одну оптимальну вільну позицію при незмінному положенні раніш розміщенних елементів.

При використанні даного алгоритму розміщення КЕ, можна значно зменшити довжину провідників, які з’єднують КЕ між собою.

Опишемо спрощену схему (рис. 3.2) матрицею зв’язків:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **X1** | **DD1** | **DD2** | **DD3** | **DD4** | **DD5** | **DA1** | **HG1** | **HG2** | ***ρ* (*x*)** |
| **X1** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| **DD1** | 0 | 0 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 0 | 0 | 8 |
| **DD2** | 0 | 2 | 0 | 4 | 4 | 0 | 1 | 0 | 0 | 11 |
| **DD3** | 0 | 2 | 4 | 0 | 0 | 4 | 1 | 0 | 0 | 11 |
| **DD4** | 0 | 1 | 4 | 0 | 0 | 1 | 1 | 7 | 0 | 14 |
| **DD5** | 0 | 1 | 0 | 4 | 1 | 0 | 1 | 0 | 7 | 14 |
| **DA1** | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 7 |
| **HG1** | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 |
| **HG2** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 0 | 0 | 0 | 7 |



При установці елементів на ДП слід враховувати всі наслідки вибору варіанту їх розташування, тому що від результатів розташування елементів залежать такі параметри друкованого вузлу:

- габарити

- вага

- надійність

- завадостійкість

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

Для ефективного використання площі ДП, ІС потрібно розташовувати лінійно-багаторядно. Також допускається їх розташування в шахматному порядку.

**Висновок:** при вирішенні задачі розміщення КЕ на монтажному просторі плати, спрощення матриці зв’язків та використання послідовного алгоритму розміщення КЕ дає можливість максимально просто, оптимально розмістити КЕ, що в подальшому буде добре впливати на основні характеристики ДП, такі як: габарити, вага, надійність і т.д.

**Розділ 4. Конструкторсько-технологічний розрахунок друкованої плати**

При проектуванні ДВ обов’язковою задачею є виконання конструкторсько-технологічний розрахунок елементів друкованого монтажу.

Спочатку потрібно вибрати тип ДП, матеріал, з якої буде виготовлено ДП та метод виготовлення. Також потрібно обрати клас точності, а вже після виконання цих двох пунктів можна виконувати сам розрахунок.

При конструкторсько-технологічному розрахунку необхідно використовувати граничні значення елементів друкованого монтажу (ДМ) з урахуванням похибки їх виконання. Необхідні граничні значення елементів друкованого монтажу та допустимі похибки наведені в таблицях 4.1 та 4.2.

*Таблиця 4.1 - Граничні значення основних параметрів ДМ*

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Параметр | Позначення | Клас точності | | | |
| 2 | 3 | 4 | 5 |
| Ширина друкованого провідника, мм |  | 0,45 | 0,25 | 0,15 | 0,10 |
| Відстань між елементами друкованого монтажу, мм |  | 0,45 | 0,25 | 0,15 | 0,10 |
| Гарантований поясок, мм |  | 0,20 | 0,10 | 0,05 | 0,03 |
| Відношення номінального діаметру найменшого з металізованих отворів до товщини друкованої плати, мм |  | 0,40 | 0,33 | 0,25 | 0,20 |

*Таблиця 4.2 - Допустимі похибки виконання елементів ДМ*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Похибка | Позначення | Максимальне значення, мм |
| Зміщення провідників відносно ліній КС |  | 0,05 |
| Розташування отворів (всіх) відносно вузлу КС |  | 0,07 |
| Розташування КМ відносно вузлу КС |  | 0,015(0,05) |
| Фотокопії та фотошаблону |  | 0,06 |
| Розташування КМ відносно вузлу КС на фотошаблоні |  | 0,05 |

**4.1. Вибір та обґрунтування типу друкованої плати**

Виходячи з того, що пристрій за ТЗ потрібно зробити досить компактним, тобто мінімізувати масогабаритні характеристики, було вирішено обрати двохсторонню друковану плату(ДДП). ДДП забезпечують високу щільність установки компонентів і трасування. Плати допускають як монтаж компонентів на поверхні, у тому числі з двох сторін, так і монтаж компонентів з штирьовими виводами в металізовані отвори. ДДП є найпоширенішим різновидом ДП в виробництві модулів РЕА, використовуються у вимірювальній техніці, системах управління та автоматичного регулювання і т.д.

**4.2. Вибір та обґрунтування матеріалу друкованої плати**

За матеріал плати було обрано склотекстоліт типу FR4-2-35-1.5. Це найбільш поширений і якісний матеріал, який застосовується для виготовлення друкованих плат високої якості. Склотекстоліт типу FR4 - це діелектрик на основі декількох шарів скловолокна просочених епоксидною смолою і має ступінь горючості рівний нулю. Має хороші діелектричні властивості, стабільність характеристик і розмірів, високу стійкість до впливу несприятливих кліматичних умов.

**4.3. Вибір методу виготовлення друкованої плати**

При виборі методу виготовлення друкованої плати розглянемо наступні варіанти: негативний та позитивний комбіновані методи. При негативному методі травлення виконують на ранніх етапах технологічного процесу. В результаті діелектрична основа на пробільних ділянках піддається тривалій дії розчинів і електролітів, що погіршує зчеплення діелектрика з фольгою. Позитивний комбінований метод більш перспективний, ніж негативний унаслідок наступних переваг: виключення можливостей зриву контактних площинок при свердленні отворів, не потрібне спеціальне оснащення для проведення металізації отворів, поліпшуються електричні характеристики ДП через зменшення шкідливої дії хімічних реактивів на діелектричну основу і на міцність зчеплення фольги з цією основою. Комбінований позитивний метод забезпечує високу надійність. При комбінованому методі виготовлення можлива установка елементів із зазором. Установка елементів із зазором в більшості випадків більш переважна, оскільки виключається можливість скупчення вологи і пилу в місцях зіткнення елементів з платою, а при використанні ДДП відпадає необхідність в спеціальних ізоляційних прокладках під елементи. Отже оберемо комбінований позитивний метод при виготовленні ДП.

**4.4. Вибір та обґрунтування класу точності друкованої плати**

Вимога з ТЗ зробити прилад компактним також була врахована при виборі класу точності, а також проаналізувавши подані вище параметри було прийнято рішення використовувати 4 клас точності. Друковані плати 4-го класу випускаються на високоточному обладнанні, але вимоги до матеріалів, обладнання та приміщень нижче, ніж для 5-го класу. Виготовлення друкованих плат 5-ro класу вимагає застосування унікального високоточного обладнання, спеціальних (як правило, дорогих) матеріалів, створення у виробничих приміщеннях «чистої зони» і т.д. Таким вимогам відповідає далеко не кожне виробництво.

**4.5. Розрахунок елементів друкованого монтажу**

**4.5.1. Визначення мінімальної ширини друкованого провідника по постійному струмі для ланцюгів живлення та “землі”:**

Мінімальна ширина друкованого провідника по постійному струму (мм) для ланцюгів живлення та “землі” визначається виразом (1):

, (1)

де: - максимально можливий струм в ланцюгу

- допустима щільність струму для ДП, що виготовлені комбінованим позитивним методом,

- товщина друкованого провідника, що визначається виразом (2), мм

Друкований провідник виготовлено комбінованим позитивним методом. Згідно методу виготовлення:

, (2)

де: - товщина фольги, залежить від матеріалу,

- товщина шару гальванічно осадженої міді,

- товщина шару хімічно осадженої міді,

Параметр у виразі (1.1) визначається як сума струмів, що споживають всі активні елементи схеми. Значення струмів, що споживаються елементами схеми представлені в таблиці 4.5.1.

*Таблиця 4.5.1*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ІС | Кількість ІС | , мА |
| LM311D | 1 | 5,1 |
| CD4011B | 1 | 0,001 |
| CD4029B | 2 | 2\*0,02 = 0.04 |
| CD4511B | 2 | 2\*0,02 = 0.04 |
| LEDS3632AUR1C | 2 | 2\*10 = 20 |

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

Отримане значення мінімальної ширини провідника 4 класу точності 0,15 мм. Таким чином, оптимальна ширина провідника на постійному струмі для ланцюгів живлення та “землі” дорівнює 0,15 мм. Але для зменшення шляху проходження струму до всіх елементів було вирішено використовувати полігони для ланцюгів живлення та “землі”.

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

Мінімальна ширина провідника з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому визначається наступним виразом:

де: - питомий опір провідника, виготовленого комбінованим позитивним методом,

- довжина самого довгого друкованого провідника на ДП,

- допустиме падіння напруги на друкованому провіднику,

**4.5.3. Визначимо номінальний діаметр монтажного отвору:**

де: – діаметр виводу елемента, для якого визначається діаметр монтажного отвору

– нижнє граничне відхилення від номінального діаметру МО

r - різниця між мінімальним діаметром МО та максимальним діаметром виводу елементу, r = 0,1…0,2 мм. В цьому випадку виходить якісне заповнення МО при пайці та оптимальна вага самої пайки

(для R8)

(для HG1-HG2)

Так як отвори з розрахованим діаметром майже неможливо зробити, виберемо найбільш близьке значення, яке без проблем можна буде зробити – 0,8 мм.

(для XP1)

Так як отвори з розрахованим діаметром майже неможливо зробити, виберемо найбільш близьке значення, яке без проблем можна буде зробити – 1,2 мм.

**4.5.4. Визначимо діаметр контактного майданчику:**

де: - мінімальний ефективний діаметр КМ, мм

- товщина фольги,. Коефіцієнт враховує підтравлювання фольги друкованого провідника в ширину

0,03 –значить що КМ виготовляють комбінованим позитивним методом

),

де: - максимальний діаметер просвердленого отвору в ДП, мм

- ширина пояска КМ, (вказано в табл. 4.1)

- похибка розташування центру отвору відносно вузла КС, (вказано в табл. 4.2)

- похибка розташування центру КМ відносно вузлу КС, (вказано в табл. 4.2)

**Максимальний діаметр просвердленого отвору ДП:**

де: d - номінальний діаметер МО, мм

- допуск на діаметер отвору,

**Для R8, HG1-HG2:**

Нас цікавить **максимальний діаметр КМ:**

**Для XP1:**

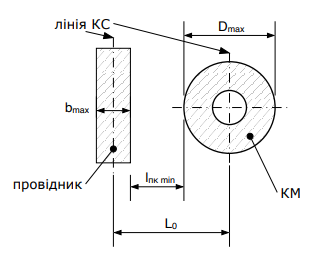
Нас цікавить **максимальний діаметр КМ:**

**4.5.5. Визначимо мінімальну ширину провідника:**

де: - мінімальна ширина провідника. Визначаємо з таблиці класів точності (табл. 4.1). Для четвертого класу точності ДМ

Нас цікавить **максимальна ширина провідника:**

**4.5.6. Визначимо мінімальну відстань між провідником та контактним майданчиком:**



де: - відстань між центрами отвору та друкованого провідника, що є кратним кроку КС:

- максимальний діаметер КМ

- максимальна ширина провідника

- похибка розташування центру КМ відносно вузлу КС, (табл. 4.2)

- похибка, що враховує зміщення провідника, мм

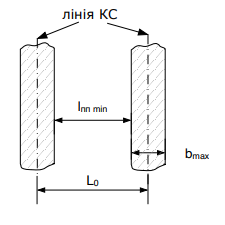
**Для R8, HG1-HG2:**

**Для XP1:**

**Для DA1, DD1-DD5:**

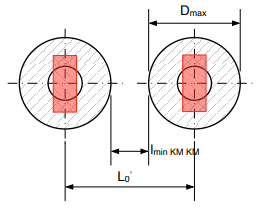
Так як планується проведення деяких провідників між КМ мікросхем, використаємо додаткову КС, тобто .

**4.5.7. Визначимо мінімальну відстань між двома сусідніми провідниками (між краями провідників):**



Так як планується проведення деяких провідників між КМ мікросхем, використаємо додаткову КС, тобто .

**4.5.8. Визначимо мінімальну відстань між двома контактними майданчиками:**



де: – відстань між центрами сусідніх КМ

**Для R8, HG1-HG2:**

**Для XP1:**

**Для DA1, DD1-DD5:**

**Так як** **,** **можна з впевненістю сказати, що провідники можна проводити між КМ мікросхем!** ( – ширина провідника; – мінімальна відстань між провідником та КМ мікросхем; – мінімальна відстань між двома КМ мікросхем).

**Висновок:** точність виготовлення друкованих плат залежить від комплексу технологічних характеристик і з практичної точки зору визначає основні параметри елементів друкованої плати. В першу чергу це відноситься до мінімальної ширини провідників, мінімального зазору між елементами провідного монтажу і до ряду інших параметрів.

**Розділ 5. Електричний розрахунок друкованої плати**

Важливою задачею проектування ДВ є розрахунок паразитних параметрів друкованої плати, які можуть виникати при їх роботі на високих частотах.

Зі зменшенням геометричних розмірів конструктивних елементів та зі збільшенням щільності їх розташування між сигнальними провідниками виникає ємнісний та індуктивний зв’язок. При перемиканні елементів по сигнальним ланцюгам протікають високочастотні імпульсні струми з крутими фронтами, які внаслідок наявності паразитних зв’язків наводять на сусідніх сигнальних провідниках перешкоди. Останні при певних умовах викликають помилкове спрацювання дискретних елементів. Необхідно, щоб значення перешкод не перевищували допустимої межі.

Вплив ємності та індуктивності сигнального зв’язку виражається в затримці вмикання схем. Час затримки визначається струмом, опором навантаження та опором сигнального провідника.

**5.1. Визначимо падіння напруги на найдовшому друкованому провіднику:**

Падіння напруги на друкованому провіднику визначається:

де: - питомий об’ємний опір для комбінованого позитивного методу виготовлення ДП,

- максимальна довжина друкованого провідника, м

- товщина провідника, мм

- струм в провіднику, А

Розраховане падіння напруги не перевищує 5% від напруги живлення ().

**5.2. Визначимо потужність втрат двосторонньої друкованої плати:**

Потужність втрат визначається за формулою:

де: , тому що розрахунок ведеться на постійному струмі

- тагенс кута діелектричних втрат для матеріалу друкованої плати - для матеріалу FR4

- ємність друкованої плати

де: - діелектрична проникність, для FR4

- площа металізації, мм2

- товщина друкованої плати, мм

**5.3. Визначимо ємність між двома сусідніми провідниками, що розташовані на одній стороні друкованої плати та мають однакову ширину:**

Наявність ізоляційної основи з великим значенням діелектричної проникності є причиною виникнення великих паразитних ємностей зв'язку і власної ємності провідника.

Величина паразитної ємності (пФ) між двома провідниками визначається за формулою:

де: - відстань між двома паралельними провідниками, мм

- ширина друкованого провідника, мм

- товщина друкованого провідника, мм

- довжина взаємного перекриття двох паралельних провідників, мм

**5.4. Взаємна індуктивність двох паралельних друкованих провідників однакової довжини:**

де: - довжина перекриття паралельних провідників, см

- відстань між вісьовими лініями двох паралельних провідників, см

Отримані значення паразитної ємності (С = 10,35 пФ) та взаємної індуктивності (М = 11,3 пГн) дозволяють стверджувати, що на працездатність схеми вони не впливають.

**Висновок:** у малогабаритних конструкціях необхідно особливо ретельно забезпечувати всі заходи боротьби з паразитними зв’язками. Тому від правильного і продуманого компонування в значній мірі залежать експлуатаційні характеристики пристрою: надійність, зручність, простота експлуатації, ремонтоспроможність.

**Розділ 6. Розрахунок основних показників надійності друкованого вузла**

Надійність – це фізична властивість об’єкта (виробу) яка залежить від кількості і якості його складових елементів, від умов, в яких він експлуатується та від ряду інших причин.

В загальному об’єкти можуть знаходитись у двох станах: в працездатному та непрацездатному. Працездатним називається такий стан об’єкта, при якому він здатний виконувати задані функції з параметрами, які встановлені вимогами технічної документації.

Подія, яка характеризується порушенням працездатності об’єкта, називається відмовою.

Всі вироби поділяються на відновлювальні і невідновлювальні.

Відновлювальні – такі вироби, працездатність яких у випадку виникнення відмови підлягають відновленню. У невідновлюваних виробів відмови не усуваються. До числа останніх відносяться майже всі радіокомпоненти (резистори, конденсатори, транзистори, мікросхеми і т.д.), а також окремі категорії радіоелектронної апаратури.

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

На практиці ж достатньо повна характеристика надійності - щільність розподілення часу безвідмовної роботи даного типу КЕ та інтенсивність відмов . Функції та визначаються експериментально. При цьому період нормальної експлуатації для ІС характеризується високою надійністю. Тоді величини та зв’язані відношенням:

Знаючи та , можна визначити інші кількісні характеристики надійності протягом часу від 0 до t:

Важлива характеристика надійності - середній час безвідмовної роботи, визначається:

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

Тоді можна записати:

де - інтенсивність відмов елементу при нормальних умовах роботи температура навколишнього середовища - , відносна вологість - 65±15%, коефіцієнт електричного навантаження - 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.

Коефіцієнт навантаження для **резисторів**:

Розрахуємо відповідне значення коефіцієнту для резистору :

Для всіх інших резисторів розрахунок проводиться аналогічно, дані занесено до таблиці 6.1.

*Таблиця 6.1.*

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Позначення | Кількість |  |  |  |  |
|  | 1 | 4,7 кОм | 0,125 Вт | 9 В | 0,1378 |
|  | 1 | 12 кОм | 0,054 |
|  | 1 | 22 кОм | 0,0295 |
|  | 1 | 30 кОм | 0,0216 |
|  | 2 | 47 кОм | 0,0138 |
|  | 1 | 470 кОм | 0,0014 |
|  | 1 | 1 МОм | 0,0006 |
|  | 1 | 47 кОм | 0,5 Вт | 0,0034 |

Виділене значення приймемо за максимально можливий коефіцієнт навантаження для кожного резистору для розрахунку найгіршого випадку.

Коефіцієнт навантаження для **конденсаторів**:

Так як номінальна напруга пробою у кожного конденсатора однакова і рівна 16 В, а за робочу напругу приймемо максимально можливе значення для розрахунку найгіршого випадку(тобто маємо:

Коефіцієнт навантаження для **транзиторів** за струмом :

Так як розсіювана потужність транзисторів буде досить незначною, проведемо розрахунок коефіцієнту за струмом, маємо:

*Таблиця 2.*

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Позначення | Кількість |  |  |  |
|  | 1 | 10 мА | 20 мкА | 0,002 |
|  | 2 | 100 мА | 20 мкА | 0,0002 |

Виділене значення приймемо за максимально можливий коефіцієнт навантаження для кожного транзистору для розрахунку найгіршого випадку.

Коефіцієнт навантаження для всіх інших елементів виберемо рівним 1 для розрахунку найгіршого випадку.

Визначимо результуючу інтенсивність відмов друкованого вузлу цифрового індикатору напруги. Друкований вузол відноситься до наземної переносної апаратури, експлуатується при , інші умови експлуатації номінальні.

Найбільш поширеним кількісним показником надійності є інтенсивність відмов - тобто умовна ймовірність виникнення відмов в системі в деякий момент часу напрацювання при умові, що до цього моменту відмов у системі не було.

Вихідні дані для розрахунку (результуюча інтенсивність відмов) – схема принципова, перелік елементів, часова діаграма та інтенсивність відмов “компонентів надійності” від температурних впливів. По картам робочих режимів визначаємо коефіцієнти навантаження, температурні коефіцієнти ІС та інших ЕРЕ, підраховуємо кількість всіх елементів. Вихідні дані для визначення зведені до таблиці.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Компонент** |  |  |  |  |  |  |
| **Резистори** | 9 | 0,044 | 0,1378 | 0,2 | 15 | 0,164 |
| **Конденсатори** | 9 | 0,022 | 0,5625 | 0,4 | 0,668 |
| **Транзистори** | 3 | 0,044 | 0,002 | 0,9 | 0,035 |
| **Мікросхеми** | 6 | 0,025 | 1 | 1,2 | 2,7 |
| **Семи-сегментні індикатори** | 2 | 0,88 | 1 | 1 | 26,4 |
| **Друкована плата** | 2 | 0,001 | 1 | 1 | 0,03 |
| **Мет. отвори** | 45 | 0,000017 | 1 | 1 | 0,011 |
| **Контакт роз’єму** | 4 | 0,015 | 1 | 1 | 0,9 |
| **Пайка виводу** | 154 | 0,000069 | 1 | 1 | 0,159 |
|  | сумарна інтенсивність відмов друкованого  вузлу | | | | | 31,067 |

В таблиці: - поправочний коефіцієнт щодо зовнішніх впливів (для наземної стаціонарної апаратури ), поправочний температурний коефіцієнт, відповідні дані взято з довідкових матеріалівв.

Показники інтенсивності відмов елементів, що наведені в таблиці, дещо завищені, що дозволяє виконати розрахунок для “найгіршого” випадку.

Результуюча інтенсивність відмов дорівнює сумі інтенсивностей відмов компонентів:

Середній час напрацювання до першої відмови:

Ймовірність безвідмовної роботи протягом року:

Ймовірність відмов протягом року:

Графік залежності безвідмовної роботи ДВ та ймовірність відмов ДВ від часу представлені на наступному графіку:

**Висновок:** в даному розділі було розраховано основні показники надійності друкованого вузла. Були отримані такі значення:

- cередній час напрацювання до першої відмови

- ймовірність безвідмовної роботи протягом року

- ймовірність відмов протягом року

При виконанні розрахунку використовували наближені дані, розрахунок проводився для “найгіршого випадку”. Отримані результати повністю відповідають заданим вимогам в ТЗ.

**Розділ 7. Методика проектування друкованого вузлу в середовищі Altium Designer.**

Altium Designer - професійна САПР, що надає найширші можливості по створенню електронних пристроїв. На відміну від більш ранніх систем класу EDA, система Altium Designer є комплексною і забезпечує розробку електронного пристрою без використання інших програм і систем. Весь цикл проектування, званий наскрізним, включає розробку електричної схеми, комп'ютерне моделювання її роботи, розробку друкованої плати, розробку комплекту конструкторської документації для виробництва.

В ході проектування друкованого вузлу були використані такі можливості AD:

- самостійне створення бібліотеки з УГП та посадковими місцями

- створення схеми електричної принципової

- розводка друкованої плати

**7.1. Створення проекту друкованої плати:**

PCB Project – це набір документів, необхідний для виготовлення друкованої плати, дані якої призначені для рішення однієї конструктивно-закінченої задачі. Документи представляють собою файли різни типів, котрі можуть додаватися в проект. Редагування документів виконується відповідним редактором, причому назва редактора співпадає з типом документу.

**7.2. Створення бібліотеки компонентів:**

AD має в своєму розпорядженні готові бібліотеки компонентів. Але використання даних бібліотек є неоптимальним у зв’язку з досить великим недоліком - УГП компонентів не відповідає ГОСТ. Тому було створено бібліотеку УГП та посадкових місць для використаної елементої бази відповідно стандартам за допомогою інструменту Library Editor.

**7.3. Створення схеми електричної принципової:**

Процедура формування схеми доволі проста і являє собою послідовне розміщення і з’єднання на листі електричних і графічних об’єктів за допомогою вбудованого редактору схем в Altium Designer.

7.5. **Створення розводки друкованої плати:**

Створення файлу друкованої плати може відбуватись як вручну, так і за допомогою вбудованого інструменту PCB Board Wizard. За допомогою цього інструменту можна задати параметри і правила проектування ДП та за дпомогою функції AutoRoute трасувати плату в автоматичному режимі. В багатьох випадках автотрасування дає незадовільний результат, тому потрібно підредагувати трасування вручну, щоб досягти найкращого результату.

**Висновок**

В результаті виконання даного курсового проекту було проведено повний цикл розробки друкованого вузлу цифрового індикатору напруги. А саме було вибрано та обґрунтовано використання елементної бази, вибрано тип, матеріал та метод виготовлення друкованої плати. Також були проведені відповідні розрахунки, які підтверджують правильність вибору відповідного класу точності ДП.

Була створена відповідна технічна документація, а саме:

* технічне завдання
* схема електрична принципова (ДК62.411134.001 Е3)
* креслення друкованої плати(ДК62.758724.001)
* складальне креслення плати(ДК62.750706.001 СК)
* перелік елементів(ДК62.411134.001 ПЕ3)
* специфікація на плату(ДК62.750706.001 СП)

Пристрій розроблений з використанням сучасної компонентної бази, вибір якої був обґрунтований відповідними розрахунками.

Було вирішено використовувати двохсторонню друковану плату, а в якості матеріалу ДП було обрано склотекстоліт типу FR4-2-35-1,5, який має підходящі параметри. Метод виготовлення ДП – комбінований позитивний.

Вибір 4 класу точності ДП підтверджено розрахунками, а саме були проведені конструкторські розрахунки елементів друкованого монтажу.

Електричний розрахунок повністю підтвердив факт того, що паразитні ємності та індуктивності і т.д. ніяким чином не впливатимуть на роботу пристрою.

Аналізуючи результати розрахунку основних показників надійності, можна сказати що вони повністю відповідають поставленим вимогам, зазначеними в ТЗ.

**Список використаних джерел**

1. <http://www.irls.narod.ru/izm/inddig.htm>
2. Савельев Л. Я-. Овчинников В. Л. Конструирование ЭВМ и систем: Учебник дли техн. вузов по спец. «Электрон. выч. маш.» — М.: Высш. шк., 1984. – 248 с.
3. Губар В.Г. Курс лекцій по ФТОК.
4. ГОСТ 12.2.007-75
5. ГОСТ 15150-69
6. ГОСТ 23571-86
7. ГОСТ Р 50621-93
8. ГОСТ 17467-88

*Додаток А*

**Технічне завдання на проектування**

1. **Найменування та галузь використання**

Цифровий індикатор напруги. Пристрій належить до області вимірювальних пристроїв. Може використовуватись як у домашніх умовах так і у виробництві будь-якого спрямування, задля забезпечення можливості вимірювання напруги в електричних ланцюгах.

1. **Підстава для розробки**

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

1. **Мета і призначення розробки**

Розробка недорогого, портативного цифрового індикатора напруги.

Пристрій призначається для визначення у польових або побутових умовах рівня напруги в електричних ланцюгах або на клемах елементів живлення, таких як батареї та акумулятори.

1. **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 “ ЦИФРОВОЙ ИНДИКАТОР НАПРЯЖЕНИЯ” на сайті http://www.irls.narod.ru.

1. **Технічні вимоги**
   1. **Склад виробу й вимоги до пристрою, що розробляється.**

Пристрій являє собою моноблочну конструкцію, яка містить в своєму складі два світлодіодні семисегментні індикатори, які відображають значення виміряної напруги та вхід, за допомогою якого відбувається підключення до електричних ланцюгів.

* 1. **Показники призначення.**

Пристрій повинен забезпечувати:

* цифрову обробку результатів вимірювання
* діапазон вимірювання вхідної напруги 0..7 В

Вимоги до надійності