**Конструкторсько-технологічний розрахунок елементів друкованого монтажу**

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

Спочатку потрібно вибрати матеріал, з якої буде виготовлено ДП. 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 1 та 2.

*Таблиця 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 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 |

Виходячи з того, що пристрій за ТЗ потрібно зробити досить компактним, тобто мінімізувати масогабаритні характеристики, 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.

Вимога з ТЗ зробити прилад компактним також була врахована при виборі типу ДП, тому 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.

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.

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.

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

Мінімальна ширина друкованого провідника по постіному струму (мм) для ланцюгів живлення та “землі” визначається виразом (1.1):

, (1.1)

де: - максимально можливий струм в ланцюгу

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

- товщина друкованого провідника, що визначається виразом (1.2), мм Друкований провідник виготовлено комбінованим позитивним методом. Згідно методу виготовлення:

, (1.2)

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 3.

*Таблиця 3*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 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”.

**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,

**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. 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. 1)

- похибка розташування центру отвору відносно вузла КС, (вказано в табл. 2)

- похибка розташування центру КМ відносно вузлу КС, (вказано в табл. 2)

**Максимальний діаметер просвердленого отвору ДП:**

де: d - номінальний діаметер МО, мм

- допуск на діаметер отвору,

**Для R8, HG1-HG2:**

Нас цікавить **максимальний діаметр КМ:**

**Для XP1:**

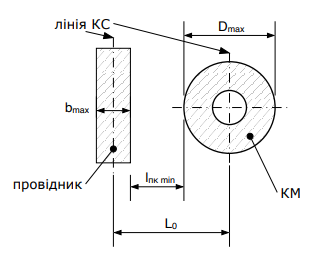
Нас цікавить **максимальний діаметр КМ:**

**5. Визначимо мінімальну ширину провідника:**

де: - мінімальна ширина провідника. Визначаємо з таблиці класів точності (табл. 1). Для четвертого класу точності ДМ

Нас цікавить **максимальна ширина провідника:**

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



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

(*це є найгіршим випадком*)

- максимальний діаметер КМ

- максимальна ширина провідника

- похибка розташування центру КМ відносно вузлу КС, (табл. 2)

- похибка, що враховує зміщення провідника, мм

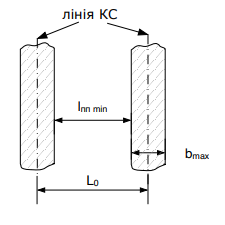
**Для R8, HG1-HG2:**

**Для XP1:**

**Для DA1, DD1-DD5:**

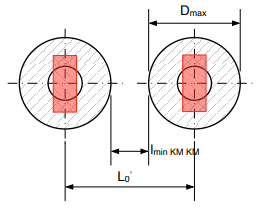
Так як планується проведення деяких провідників між КМ мікросхем, використаємо додаткову КС, тобто .

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



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

**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.