**КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ РОЗРАХУНКИ**

**1. Вибір типу та матеріалу ДП**

Друковані плати за конструкцією поділяються на такі класи: односторонні (одношарові), двосторонні (двошарові), багатошарові.

Розробляєма друкована плата повинна мати велику щільність розміщення компонентів, високу надійність та механічну міцність кріплення елементів. Таким критеріям відповідає двосторонні друковані плати. Вони володіють високою щільністю монтажу, підвищеною надійністю з'єднань. Дозволяють полегшити трасування провідників і оптимізувати розміри плати завдяки щільному розміщенню елементів. Односторонні плати, в свою чергу, мають низькі монтажні та трасувальні можливості, тому їх застосування не є правильним. Багатошарові плати тяжкі в виробництві та потребують додаткової апаратури, тому вибір такого типу не є оптимальним.

Виходячи з аналізу різних типів ДП, вибираємо двосторонні плати.Вибір ДПП дозволяє забезпечити необхідну точність, щільність монтажу, надійність і забезпечити мінімальну вартість.

Правильний вибір матеріалів, технологічних процесів і елементної бази при розробці сучасних друкованих вузлів багато в чому визначає рівень працездатності і надійність електронного пристрою в цілому при раціональних економічних витратах у виробництві.

При виробництві ДП застосовуються вітчизняні та імпортні матеріали різних виробників. Матеріали, що застосовуються в якості основи для ДП повинні мати: високі електроізоляційні властивості, достатню механічну міцність, бути стійкими до кліматичних впливів, опірність до займання.

Для цих параметрів виділені полімерні композиційні матеріали FR-1 ... FR-5. Найбільш поширеним матеріалом для виробництва ДДП і БДП є FR-4. Стандартний FR-4 представляє собою композитивний матеріал на основі скловолокна (склотекстоліти) з підвищеною нагрівостійкістю.

Для реалізації друкованого вузла обираємо FR4-2-35-1,5. Даний матеріал має товщину 1,5 мм, та з двох сторін має мідну електролітичну фольгу товщиною 35 мкм. Цей матеріал відповідає, розглянутим вище, критеріям також застосування FR-4 дозволяє отримати отвори високої якості, а це важливо для монтажу елементів в отвори.

**2. Вибір класу точності ДП**

ГОСТ 23571-86 передбачає п'ять класів точності ДП. Точність виготовлення ДП залежить від комплексу технологічних параметрів і з практичної точки зору визначає основні параметри елементів ДП. В першу чергу це відноситься до мінімальної ширини провідників, мінімального зазору між елементами провідного малюнка і до ряду інших параметрів.

Виходячи з того, що у роботі використовуються компоненти у планарних корпусах та потрібна велика щільність монтажу, обираємо 4й клас точності. Такий вибір, дасть змогу виконати коректне трасування провідників.

При конструкторському-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 1 і 2.

Таблиця 1. Граничні значення основних параметрів ПМ

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Параметр | Позначення | Клас точності | | | |
| 2 | 3 | 4 | 5 |
| Ширина друкованого провідника, мм |  | 0,45 | 0,25 | 0,15 | 0,1 |
| Відстань між елементами друкованого провідника | lг | 0,45 | 0,25 | 0,15 | 0,1 |
| Гарантований поясок, мм | bпо | 0,2 | 0,1 | 0,05 | 0,03 |
| Відношення номінального діаметру найменшого з металізованих отворів до товщини ДП, мм | Кдт | 0,4 | 0,33 | 0,25 | 0,2 |

Таблиця 2. Допустимі похибки виконання елементів ПМ

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Похибка | Позначення | Максимальне значення, мм |
| Зміщення провідників відносно ліній КС | δсп | 0,05 |
| Розташування отворів (всіх) відносно вузлу КС | δо | 0,07 |
| Розташування КП відносно вузла КС | δКМ | 0,015(0,05) |
| Фотокопії та фотошаблону | δфф | 0,06 |
| Розташування КП відносно вузла КС на фотошаблоні | δфш | 0,05 |

**3. Обґрунтувати метод виготовлення ДП**

При виборі необхідного методу виготовлення розглянули наступні методи: -хімічний субтрактивний метод,

-комбінований позитивний метод,

-метод попарного пресування друкованих плат,

-метод пошарового нарощування,

-метод металізації наскрізних отворів.

Проаналізував технічне завдання та обраний тип, матеріал ДП, обираємо комбінований позитивний метод. Розробляєма двостороння плата має велику кількість металізованих перехідних отворів (також монтажних отворів). Для їх виробництва потрібно робити металізацію отворів, а це забезпечує саме комбінований позитивний метод.

**4. Виконати конструкторсько-технологічний розрахунок елементів ДМ**

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

Мінімальна ширина друкованого провідника по постійному струму bmin I (мм) для ланцюгів живлення та «земли» визначається виразом 4.1.1:

(4.1.1)

де *Imax*– максимально можливий струм в ланцюгу, А

*j*доп – допустима щільність струма для ДП, яка виготовлена комбінованим позитивним методом,

*t*пров– товщина друкованого провідника, яка визначається виразом (4.1.2)

Друкований провідник виготовлюється комбінованим позитивним методом. Згідно методу виготовлення:

, (4.1.2)

де *hф* – товщина фольги, *hф=*0,035 мм

*hгм* – товщина шара гальванично осадженої мді, hгм = 0,055 мм

*hхм*– товщина шара химично осадженої меді, hхм = 0,0065 мм

*tпров*=0,035+0,055+0,0065=0,0965 мм

Параметр *Imax* в виразі (4.1.1) визначається струмом який споживають найактивніші елементи. У ESP-12 максимальний струм лежить у межах 300-400мА (це залежить від режиму роботи) беремо максимальне значення. SSD1306 споживає 20мА. Ці значення взяті для найгірших випадків, аби врахувати усі можливі режими роботи ДВ.

*Imax =*420 мА

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

Отримане значення мінімальної ширини провідника bminI = 0,09 мм містить у собі значення обраного 4 класу точності = 0,15 мм). Таким чином, оптимальна ширина провідника на постійному струмі для ланцюгів живлення та «земли» дорівнює розрахованому значенню.

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

Мінімальна ширина провідника з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому, визначається (4.2.1):

(4.2.1)

де ρ–удельний опір провідника, виготовленого комбінованим позитивним методом, ρ=0,0175

Lпров – довжина найдовшого друкованого провідника ДП (ланцюг «+3,3V»), Lпров=236мм

Uдоп – допустиме падіння напруги на друкованому провіднику, Uдоп=0,05×Eп,

Uдоп =0,05×3,3=0,165 В

Lпров=0,236 м

**4.3. Визначення номінального діаметру монтажного отвору**

, (4.3.1)

де dвэ – діаметр виводу елементів, для якого визначається діаметр монтажного отвору,

∆d – нижнє граничне відхилення від номінального діаметру МО, ∆dмо=0,1 мм

r– різниця між мінімальним діаметром МО та максимальним діаметром виводу елемента, r=0,1…0,2 мм

**4.4. Визначення діаметра контактної площини**

, (4.4.1)

де Dmin1 – мінімальний ефективний діаметр КМ, мм,

hф – товщина фольги, hф = 0,035 мм. Коефіцієнт 1,5hф враховує підтравлювання фольги друкованого провідника у ширину,

0,03 – КМ виготовлюють комбінованим позитивним методом.

, (4.4.2)

де dmax– максимальний діаметр отвору в ДП, мм,

bпо - ширина пояска КМ, bпо =0,05 мм (табл.1)

δо- похибка розташування центру отвору відносно вузла КС, δо=0,07 мм (табл.2),

δкм- похибка розташування центру КМ відносно вузла КС, δкм=0,05 (табл.2).

Максимальний діаметр отвору ДП:

dmax=d+∆d+(0,1…0,15), (4.4.3)

де d– номінальний діаметр МО, мм,

∆d- допуск на діаметр отвору, ∆d=0,05 мм

dmax=d+∆d+(0,1…0,15)=1,1+0,05+0,1=1,15 мм

Максимальний діаметр КМ:

D max = Dmin+0,02, (4.4.4)

D max = 1,57+0,02=1,59 мм

**4.5. Визначення мінімальної ширини провідника**

bmin=, (4.5.1)

де –минимальна ширина провідника. Визначаємо з таблиці класів точності (табл.1). Для 4-го класу точності ДМ

bmin=

Максимальна ширина провідника:

bmax=bmin+0,02, (4.5.2)

bmax=0,23+0,02=0,25 мм

**4.6. Визначення мінімальної відстані між провідником та контактною площиною**



(4.6.1)

де L0– відстань між центрами отворів та друкованим провідником, які кратні кроку КС, L0=1,25 мм

Dmax - максимальний діаметр КП,

bmax - максимальна ширина провідника,

δкм - похибка розташування центра КП відносно вузла КС, δкм=0,05 (табл.2),

δсп - похибка, яка враховує зміщення провідника, δсп=0,05 мм

**4.7. Визначення мінімальної відстані між двома сусідніми провідниками (між краями провідників):**



(4.7.1)

**4.8. Визначення мінімальної відстані між двох контактних площин**



, (4.8.1)

де L0- відстань між центрами сусідних КП, L0=2,5 мм.

Отримані значення задовільняють 4й клас точності, тому використання його при проектуванні друкованого вузла є коректним.

**Електричний розрахунок друкованої плати**

**1. Визначення падіння напруги на найдовшому друкованому провіднику**

Падіння напруги на друкованому провіднику визначається:

, (1)

де ρ - питомий об'ємний опір для комбінованого позитивного методу виготовлення ДП, ρ =0,0175

lпр – максимальна довжина друкованого провідника (ланцюг «землі»), lпр = 0,236м

tпр - товщина провідника, tпр = 0,0965 мм

Imax – максимальний струм у провіднику, Imax = 420мА

= 0,51В

**2. Визначення потужності втрат двосторонньої друкованої плати**

Потужність втрат визначається:

, (2)

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

*tg*σ – тангенс кута діелектричних втрат для матеріала ДП, *tg*σ =0,002 для матеріала FR4

С – ємність ДП

, (3)

де ε – диелектрична проникність, ε=4,5 для FR4

Sm - площадь металізації (суму усіх довжин провідників помножаємо на товщину провідника), мм2

h - товщина ДП, мм

==9,45нФ

Рпот=

**3. Визначення ємності між двома сусідними провідниками, які розташовані на одній стороні ДП та мають однакову ширину**

, (4)

де S – відстань між двома паралельними провідниками, мм

bпр - ширина друкованого провідника, мм

tпр - товщина друкованого провідника, мм

lпр - довжина взаємного перекриття двох паралельних провідників, мм

**4. Визначення взаємної індуктивності двох паралельних провідників однакової довжини**

, (5)

де lпр – довжина перекриття паралельних провідників, см

Lо-відстань між осьовими лініями двох паралельних провідників, см

нГн

Отримали значення падіння напруги на найдовшому провіднику (в даному разі на ланцюгу «+3,3V») при максимальному струмі, воно знаходиться у допустимих межах. Потужність втрат дорівнює 2,97нВт є допустимим значенням. Паразитні ємності та індуктивності, 13,5 пФ та 0,79 нГн відповідно, також не впливають на працеспроможність друкованого вузлу. Виконання розглянутих розрахунків, дає змогу підтвердити коректну роботу друкованого вузла при запропонованому трасуванні провідників.