

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЄКТУВАННЯ ТА ВИРОБНИЦТВА ВИСОКОЧАСТОТНИХ ДРУКОВАНИХ ПЛАТ

FEATURES OF DESIGN AND PRODUCTION OF HIGH-FREQUENCY PRINTED CIRCUIT BOARDS

У статті наведена коротка інформація про призначення, особливості проектування та виробництва високочастотних друкованих плат.

Abstract – The article provides brief information on the purpose, capabilities of designing and manufacturing high-frequency printed circuit boards.

В. Макаренко

V. Makarenko

Насамперед необхідно визначитися з терміном високочастотна друкована плата і чим вона відрізняється від високошвидкісної. Під високошвидкісним пристроєм розумітимемо пристрій із сигналами, що мають дуже малі тривалості фронтів і спадів. А високочастотні пристрої працюють із сигналами, що мають мале значення періоду сигналу. Ці відмінності і визначають різницю між високочастотною та високошвидкісною друкованою платою.

Звичайно, не існує точного визначення різниці між високошвидкісною друкованою платою та високочастотною друкованою платою. Навіть основні матеріали, які використовуються виготовлення таких плат, однакові [1]. Тому не слід зважати на визначення назви плати. Основним критерієм є забезпечення цілісності сигналу на платі. Здебільшого діапазон частот сигналів цих друкованих плат становить від 500 МГц до 6 ГГц (рис. 1). Найбільш поширені програми, в яких використовуються такі друковані плати, включають мобільні телефони, мікрохвильові печі та інші пристрої, що працюють у діапазоні частот. Високочастотні друковані плати зазвичай використовують високочастотні ламінати, які важко виготовити. І це пов'язано з кількома факторами.

Щоб мінімізувати затримки при передачі високочастотного сигналу плати, основний матеріал пластини друкованої плати повинен мати низьку діелектричну проникність (D_k) і низький коефіцієнт діелектричних втрат (D_f). Чим менше значення D_k , що впливає швидкість поширення сигналу по друкованій платі, і D_f , що визначає рівень втрат в діелектрику, тим краще для ефективної передачі високочастотних сигналів.

Діелектрична проникність (D_k) підкладки високочастотних друкованих плат має бути малою величи-

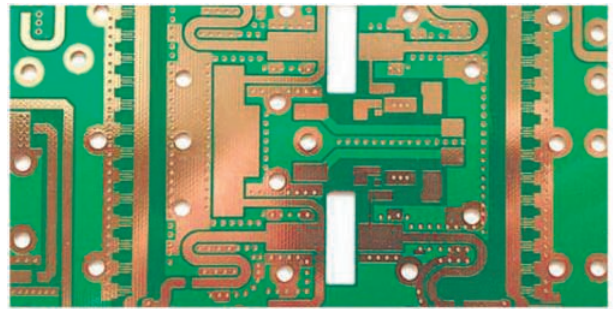


Рис. 1. Друкована плата НВЧ-пристрою

ною та стабільною у часі. Чим менше зворотне відношення швидкості передачі сигналу до квадратного кореня діелектричної константи матеріалу, тим більша затримка передачі сигналів.

Існують деякі спеціальні додатки, що вимагають високої діелектричної проникності (D_k), високочастотне значення друкованої плати D_k рівному 16...25 або вище. Щоб уникнути відшарування мідної фольги при зміні температури, необхідно, щоб теплове розширення матеріалів друкованої плати було таким самим, як у мідної фольги. Високочастотні друковані плати використовуються у військових додатках, у радарях (рис. 2), у діагностичних, контрольних та лікувальних пристроях у медицині, у сучасних пристроях зв'язку.

Через особливості областей застосування такі високочастотні друковані плати, як правило, відповідають найсуворішим стандартам. При проектуванні друкованих плат для медичних пристроїв необхідно враховувати їхню надійність і довговічність при дотриманні медичних стандартів.

До поширених медичних пристроїв, у яких використовуються високочастотні друковані плати, належать такі:

- персональні або медичні монітори рівня глюко-

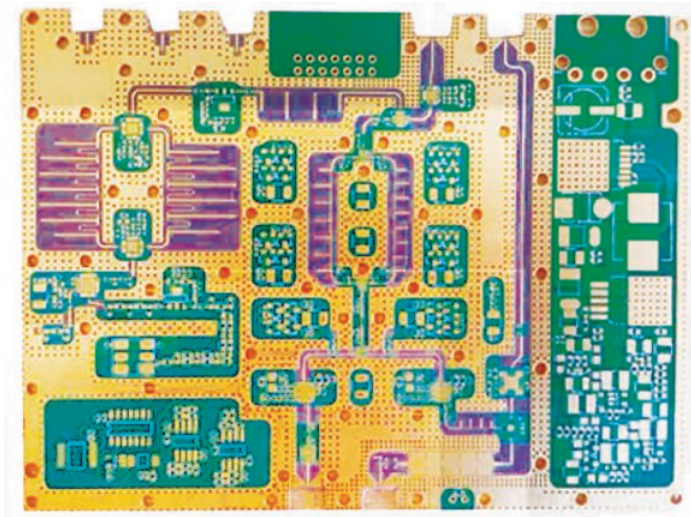


Рис. 2. Застосування високочастотних друкованих плат у радарях

зи в крові, артеріального тиску та пульсометри

- пристрої для контролю інфузії рідини
- ультразвукові сканери
- комп'ютерні та магнітно-резонансні томографи
- рентгенівські томографи.

Промислове застосування – ще одна поширена область, де використовуються високочастотні друковані плати. Такі плати можуть працювати при зміні робочих температур у широких межах в агресивному хімічному середовищі (рис. 3). Перевага високочастотних друкованих плат у таких додатках полягає в тому, що вони можуть витримувати високі температури та вплив хімічних речовин.

Високочастотні друковані плати широко викори-

стовуються в системах зв'язку та радіолокації:

- підсилювачах високої частоти
- перетворювачах спектрів – змішувачах та демодуляторах
- синтезаторах частоти
- атенюаторах (рис. 4)
- блоках цифрової обробки високочастотних сигналів.

Розробка високочастотної друкованої плати може тривати багато часу і тому необхідно врахувати кілька чинників, як розпочинати процес проектування плати. До таких факторів належать бюджет, графік виконання робіт та міжнародні стандарти, яких необхідно дотримуватись. Але якими є кри-

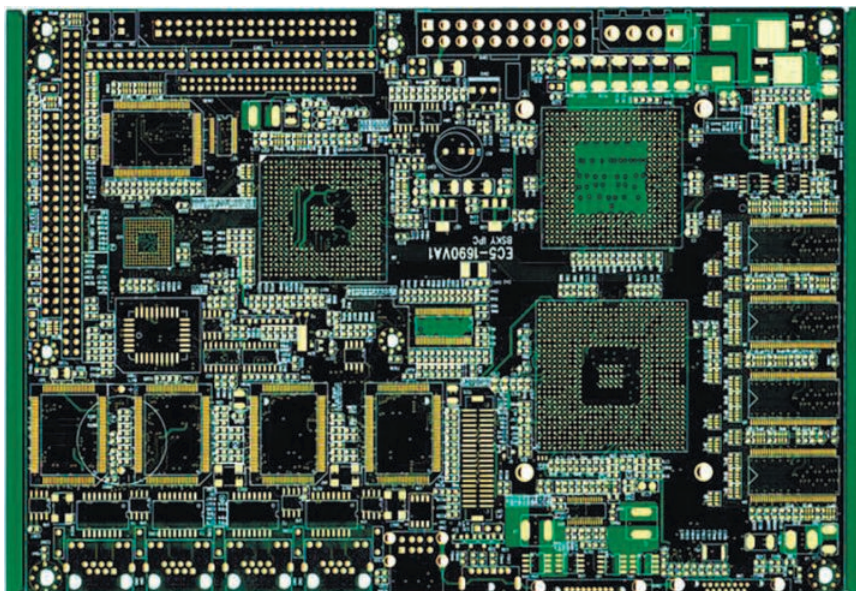


Рис. 3. Друкована плата промислової панелі керування

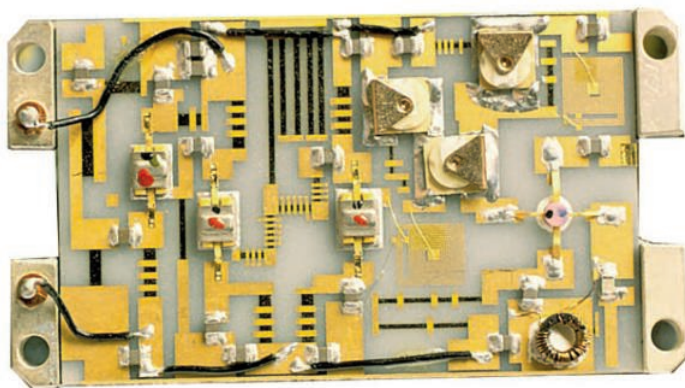


Рис. 4. Високочастотний аттенюатор

терії високочастотної друкованої плати. До них можна віднести такі:

- максимальна частота сигналів на платі (понад 50 МГц)
- якщо на платі є траса, яка вносить затримку понад третину часу наростання чи спаду імпульсних сигналів
- якщо у роботі вузлів друкованої плати є значні відмінності щодо швидкодії.

Рекомендації щодо проектування високочастотних друкованих плат

Нижче перелічені деякі моменти які потрібно враховувати при розробці друкованих плат:

1. Необхідно обов'язково використовувати багатошарову друковану плату. Якщо конструкція друкованої плати має лише два шари, на верхньому шарі потрібно розмістити силовий каскад, лінії радіочастотних сигналів та радіочастотні компоненти. Нижній шар має бути заземлюючим шаром. На етапі компонування друкованої плати розумний вибір розміру друкованої плати з певною кількістю шарів дозволяє повною мірою використовувати проміжний шар для створення екранів, краще реалізувати заземлення, ефективно зменшити паразитну індуктивність і скоротити довжину ліній передачі сигналів, в той же час значно зменшити перехресні перешкоди. Всі ці методи сприятливо впливають на надійність роботи високочастотної схеми.

2. Перед початком розробки плати передусім необхідно розділити аналогову, радіочастотну та цифрову частини системи та спробувати спроектувати друковану плату, розміщуючи кожен з них на окремій ділянці (рис. 5). Аналогічно необхідно відокремити ВЧ каскади, такі як ГЧН, підсилювач і т.д., і не перетинати провідники цих вузлів [2].

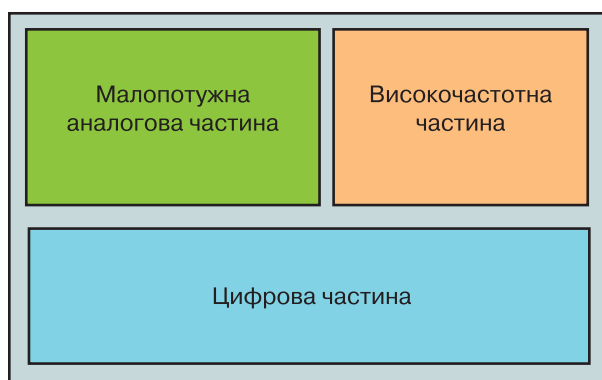


Рис. 5. Поділ друкованої плати окремі зони

3. Лінії зв'язку високочастотних кіл необхідно робити максимально короткими. Чим коротший провід, тим краще. Інтенсивність випромінювання сигналу пропорційна довжині сигнальної лінії. Чим довше провід високочастотного сигналу, тим більше його вплив на компоненти, розташовані поряд з ним. Отже, для високочастотних сигнальних ліній, що передають тактові сигнали, сигнали інших генераторів, дані динамічної пам'яті DDR, інтерфейсів LVDS, USB, HDMI тощо, чим коротший провід, тим краще. Довжина ліній, якими передаються радіочастотні і мікрохвильові сигнали, є дуже важливим питанням. Вони повинні становити не більше 1/20 довжини хвилі, щоб звести втрати до мінімуму. Наприклад, для сигналів із частотою 433 МГц довжина хвилі $\lambda = c/f$, де c – швидкість світла, f – частота сигналу. Після підстановки отримаємо

$$\lambda = c/f = 3 \cdot 10^8 / 4.33 \cdot 10^8 = 0.6928 \text{ м.}$$

Максимальна довжина лінії на платі

$$l_{\max} \leq \lambda/20 = 3.46 \text{ см.}$$

Якщо лінія має бути обов'язково довшою, то в кінці лінії необхідно застосувати узгодження імпедансу з компонентами L та C.

4. У багатошарових платах короткі лінії високочастотних сигналів слід розташовувати на верхньому шарі. Щоб зменшити шум, слід розташовувати лінії зв'язку між двома шарами землі. Під шаром, який включає лінії радіочастотного сигналу, обов'язково повинен бути екрануючий шар (шар землі).

5. Слід звертати увагу на безпеку виникнення перехресних завад, викликаних паралельною маршрутизацією сигнальних ліній, які не з'єднані між собою. Оскільки високочастотний сигнал передається у вигляді електромагнітної хвилі по лінії передачі, сигнальна доріжка діятиме як антена, і енергія електромагнітного поля передаватиметься по всій лінії передачі.

Небажаний шумовий сигнал, що генерується взаємним зв'язком електромагнітних полів між сигналами, називається перехресними завадами.

Мінімізація зв'язаності трас за допомогою правила 3W

Зв'язок між доріжками може становити серйозну проблему для цілісності сигналу під час поширення на платі. Щоб мінімізувати вплив цього ефекту, можна скористатися правилом 3W (рис. 6).

Правила 3W рекомендують щоб відстань між доріжками повинна бути втричі більшою за ширину однієї доріжки, виміряної від одного центру до іншого. З використанням цього правила збільшена відстань між доріжками дозволяє зменшити ефект паразитного зв'язку.

Щоб підвищити ефективність мінімізації зв'язку між доріжками, можна збільшити відстань між доріжками із трьох до десяти значень ширини однієї доріжки. Слід розташовувати лінії зв'язку різних

джерел сигналів у різних шарах. Сигнальні доріжки на різних рівнях мають бути ортогональними одна одній. Це означає, що на сигнальному шарі слід розташовувати горизонтальні або вертикальні траси (рис. 7).

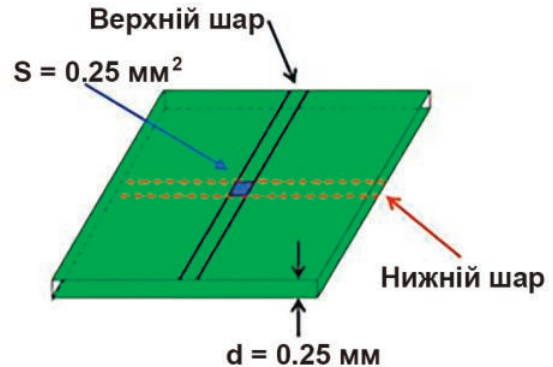


Рис. 5. Поділ друкованої плати на окремі зони

7. Чим менше вигнутий провід, тим краще. Провід високочастотного кола найкраще виконати на всій ділянці прямою лінією, яку можна повернути на 45 градусів ламаною лінією або дугою. Ця вимога використовується тільки для підвищення міцності фіксації мідної фольги в низькочастотному ланцюгу, але у високочастотному колі виконання цієї вимоги може зменшити зовнішнє випромінювання та інтерференцію високочастотних сигналів.

На рис. 8 показані рекомендовані кутові рисунки.

T-подібні вузли повинні бути такими, як показано на рис. 9.

8. Чим менше чергування виводів між шарами, тим краще. Це означає, що менше перехідних отворів використовується в процесі з'єднання компонентів, тим краще. Експериментально встановлено, що один прохідний отвір може мати розподілену ем-

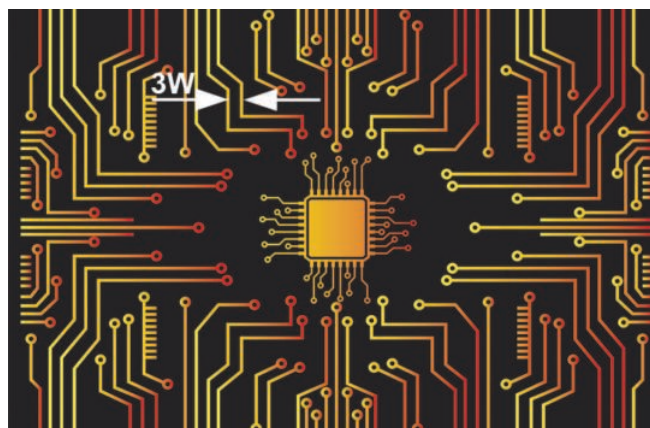


Рис. 6. Ілюстрація до правила 3W



Рис. 8. Рекомендовані форми кутових рисунків

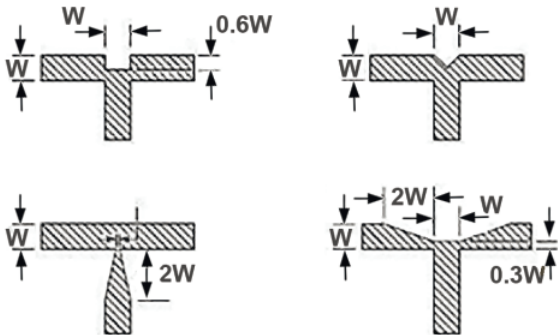


Рис. 9. Рекомендуємі форми T-подібних вузлів

ність близько 0,5 пФ. Зменшення кількості перехідних отворів може значно підвищити швидкість та знизити ймовірність помилки передачі даних.

9. Контактні майданчики високочастотних друкованих плат повинні мати площу не більше 5% від площі контактів компонентів (в інших друкованих платах площа контактних майданчиків може становити до 30% площі контактів компонентів). Мінімізація площі контактних майданчиків має свої переваги:

- зменшення паразитної ємності
- збільшення механічної міцності.

Крім того, за рахунок зменшення площі, що займає майданчики, звільняється більше місця для диференціальних пар і посадкових місць з великою кількістю контактів на друкованій платі.

10. При проектуванні високочастотних друкованих плат шину живлення слід виконувати у вигляді шару, що в більшості випадків набагато краще, ніж звичайна шина, так як струм завжди може протікати по дорозі з найменшим опором. Крім того, шина (шар) живлення повинна забезпечувати мінімальний опір для всіх сигналів, що генеруються і приймаються на друкованій платі, щоб звести до мінімуму рівень завад.

11. Необхідно підключати контакти заземлення радіочастотних мікросхем до землі якомога коротшими лініями, використовуючи перехідні отвори.

Можна використовувати кілька перехідних отворів, щоб зменшити небажану дію шару заземлення.

12. Необхідно підключати високочастотні конденсатори розв'язки не тільки до виводів живлення інтегральних схем, але і до проводу живлення кожного блоку інтегральних схем. Збільшення ємності конденсаторів високочастотної розв'язки на виведенні джерела живлення може ефективно послабляти високочастотні завади у цій точці.

Слід врахувати, що конденсатор меншої ємності слід розташовувати ближче до мікросхеми. Приклад фрагмента друкованої плати показано на рис. 10.

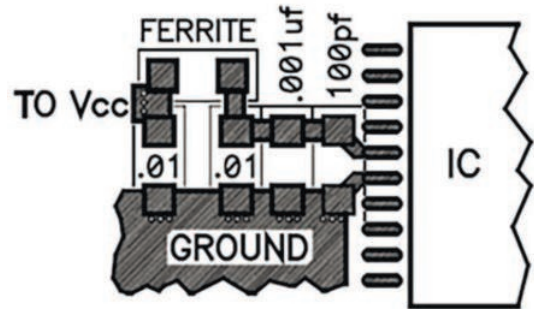


Рис. 10. Приклад підключення розв'язуючих конденсаторів до кола живлення інтегральної мікросхеми

13. Провід заземлення високочастотного цифрового сигналу необхідно ізолювати від заземлення проводу аналогового сигналу. Коли аналоговий та цифровий провідники заземлення підключені до загального дроту заземлення, вони повинні бути з'єднані за допомогою високочастотних дроселів або ізольовані, і має бути обрано з'єднання цих проводів в одній точці.

За заземленням високочастотного цифрового сигналу часто протікають значні імпульсні струми з великим числом складових у спектрі. Якщо провід заземлення цифрового сигналу з'єднаний з заземленням аналогового сигналу безпосередньо, гармоніки високочастотного сигналу будуть створювати завади аналоговому сигналу через проводи заземлення. Тому, як правило, провід заземлення цифрового високочастотного сигналу і провід заземлення аналогового сигналу повинні бути ізольовані. Можна використовувати одноточкове з'єднання або високочастотне з'єднання з дроселем.

14. Компоненти слід розташовувати таким чином, щоб лінії електричного зв'язку були якомога коротшими, особливо для підключення між компонентами з високою частотою. Для вузлів високої потужності компоненти мають бути скомпоновані на ді-

лянци окремо від вузлів із малою потужністю. Якщо система складається з кількох друкованих плат, то високошвидкісні пристрої слід розміщувати на одній друкованій платі, наскільки це можливо. Це дозволяє уникнути проблеми помилок затримки сигналів, що призводять до неоднакової затримки передачі тактового сигналу між основною друкованою платою і різними платами, що підключаються.

15. Кожному сигналу на високочастотній друкованій платі потрібен маршрут, який починається від джерела та закінчується у приймачі через замкнутий шлях із мінімальною кількістю перешкод. Це важливий аспект у проектуванні та виготовленні друкованих плат. Може знадобитися кілька переходів між шарами. Однак це може призвести до втрати цілісності сигналу. Якщо використовуються перехідні отвори для формування шляху зворотного струму до джерела сигналу, необхідно зменшити відстань, що має пройти сигнал. Для цього потрібно розмістити отвір для організації зворотного шляху якомога ближче до отвору вхідного сигналу.

16. Слід уникати формування петлі, утвореної провідниками на платі, всіх видів високочастотних сигнальних доріжок. Якщо утворення петлі неминуче, необхідно мінімізувати її площу.

17. Необхідно забезпечити хороше узгодження імпедансу ліній передачі сигналу. При неузгодженні імпедансу на приймальному та передавальному кінці лінії виникають відбиття сигналу, що призведе до його спотворень та зміни його рівня. Для цифрових сигналів це призведе до зміни моменту перетину порога спрацьовування логічних схем, отже, може призвести до помилок передачі сигналів.

18. Зв'язок, що виникає між шарами живлення та заземлення, також може становити небезпеку для високочастотних пристроїв. Цілісність живлення забезпечується на рівні компонентів і на рівні друкованих плат, причому проблеми цілісності живлення можуть створювати проблеми цілісності сигналу (тремтіння, недостатньо низький імпеданс ланцюга живлення/заземлення, електромагнітні перешкоди).

Більшість спрощених посібників щодо забезпечення цілісності живлення фокусують увагу лише на рівні друкованої плати, проте плата та схема повинні забезпечувати стабільне живлення міжз'єднань спільними зусиллями [4]. Концепція цілісності живлення застосовна як до змінного, і до постійного струму. Необхідно правильно підібрати типорозмір мідних шин, щоб забезпечити низьке падіння напруги постійного струму.

У табл. 1 наведено залежності ширини доріжок від струму для друкованих плат [5]. Якщо при проектуванні друкованої плати не враховано аспект цілісності живлення, напруга на шині може виглядати так, як показано на рис. 11. Наприклад, при багаторазовій комутації логічних ланцюгів на платі, імпульси струму, що протікають колом живлення друкованої плати, збуджують перехідні процеси на шині живлення.

Таблиця 1. Залежність ширини доріжок друкованої плати від струму

Струм, А	Ширина доріжки, мм
1	10
2	30
3	50
4	80
5	110
6	150
7	180
8	220
9	260
10	300

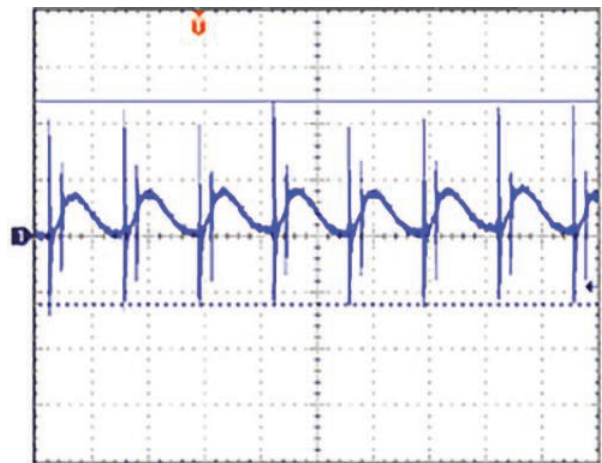


Рис. 11. Перехідні процеси на шині живлення при багаторазовій комутації логічних кіл

Наведена таблиця залежності ширини доріжок живлення від струму по доріжці відповідає умові, за яких зростання температури складе не більше 10 °C при вазі міді 305 г/м².

Іншим варіантом визначення ширини доріжок шини є використання калькулятора на основі стандартів IPC-2152 або IPC-2221. Також корисно вміти

читати еквівалентні графіки залежності ширини доріжок від струму в стандартах IPC, оскільки відповідна таблиця для друкованих плат не завжди вичерпна.

При значному зростанні температури на платі з великим струмом можлива зміна електричних властивостей підкладки. Під впливом тепла електричні та механічні властивості підкладки змінюються, а якщо воно тривале, плата втрачає колір та легко ламається.

Саме тому слід вибирати такі розміри доріжок, щоб зростання температур не перевищувало 10 °С. Це також робиться для того, щоб плата витримувала не просто конкретну робочу температуру, а широкий діапазон температур навколишнього середовища [5].

У таблиці не враховано два важливі моменти:

1) Товщину доріжок при іншій вазі міді. Товщина доріжок повинна розраховуватись залежно від ваги міді плати. Плати, що працюють при значних струмах, часто вимагають більшої маси міді, ніж 305 г/м².

2) Можливість використання альтернативних матеріалів плати. Дані у табл. 1 зібрані для підкладки з матеріалу FR-4, що охоплює широкий спектр плат, які надсилаються на виробництво. Однак для більш складних випадків може знадобитися друкована плата з алюмінієвою підкладкою, керамічною підкладкою або вдосконаленим ламінатом для високошвидкісних пристроїв з альтернативною смоляною системою.

Якщо підкладка має підвищену теплопровідність, то температура доріжок буде нижчою, оскільки від них відводиться більше тепла. У наближенні першого порядку зростання температури залежатиме від відношення теплопровідності бажаного матеріалу підкладки до теплопровідності FR-4.

Підкладки з різними значеннями СТЕ можуть мати дефекти, викликані розширенням з різною швидкістю або нестабільністю діелектричної проникності підкладок. У той час як компоненти, такі як кремнієві чіпи пам'яті можуть мати низький СТЕ, ламінати зі скловолокна мають високий СТЕ. Різниця в швидкостях розширення може призвести до розтріскування паяних з'єднань або пошкодження компонентів.

19. Після завершення трасування у всіх шарах необхідно заповнити порожні місця мідною заливкою, з'єднаною із землею, розмістивши перехідні отвори, з'єднані з шаром землі, на відстані $\lambda/20$ см один від одного.

Вибір матеріалу друкованої плати

Необхідно розуміти теплові, електричні, хімічні та механічні властивості матеріалу підкладки. Вибір матеріалу підкладки впливає на стабільність роботи плати. Наприклад, знання СТЕ (температурний коефіцієнт розширення) матеріалів підкладки стає першочерговим завданням, оскільки можуть виникнути проблеми, якщо два матеріали підкладки (або навіть підкладка та компоненти) на одній і тій же друкованій платі мають невідповідність СТЕ.

Властивості матеріалів друкованих плат

Термостійкість

Термічна стабільність має вирішальне значення для друкованих плат, особливо в потужних та високошвидкісних додатках. Матеріали з високою термостійкістю запобігають деформації та зберігають працездатність при підвищених температурах, забезпечуючи довговічність та надійність друкованої плати.

Міцність електричної ізоляції

Хороша електрична ізоляція необхідна для запобігання коротким замиканням та підтримці цілісності сигналу на платі. Ця властивість особливо важлива при щільному компонуванні друкованих плат.

Механічна міцність

Матеріали друкованих плат повинні мати достатню механічну міцність, щоб підтримувати компоненти та витримувати навантаження під час складання та використання. Це дуже важливо для того, щоб плата не тріснула і не зламалася під навантаженням.

Параметри діелектрика

Діелектрична проникність та тангенс кута втрат матеріалів друкованих плат впливають на передачу сигналу, особливо у високочастотних додатках. Матеріали з низькими значеннями діелектричної проникності D_k забезпечують малий час запізнення сигналів, а малі значення тангенсу кута втрат D_f , що визначає рівень втрат у діелектрику, забезпечують мале згасання сигналу при розповсюдженні сигналів по платі.

Поглинання вологи

Поглинання вологи може призвести до погіршення електричних властивостей та надійності. Матеріали з низьким вологопоглинанням краще використовувати в умовах підвищеної вологості.

Хімічна стійкість

Стійкість до хімічних речовин, включаючи розчинники, що використовуються у процесах виробництва та очищення, важлива для підтримки цілісності друкованої плати протягом усього її життєвого

циклу.

Теплове розширення

Коефіцієнт теплового розширення (СТЕ) повинен точно відповідати коефіцієнту теплового розширення компонентів, встановлених на платі, щоб уникнути напруги та потенційного пошкодження через зміни температури.

Питання вартості та виробництва

Вибір матеріалу також впливає на вартість та простоту виробництва друкованих плат. Для забезпечення економічного та ефективного виробництва необхідно враховувати такі фактори, як оброблюваність, доступність та сумісність із виробничими процесами.

Типи матеріалів друкованих плат

FR-4 – найпоширеніший матеріал, який використовується в друкованих платах. Він став переважним матеріалом для друкованих плат через оптимальне поєднання доступної ціни, надійності та простоти виготовлення. Він складається з тканого скловолокна, просоченого епоксидною смолою та армованого вогнестійким матеріалом.

Друковані плати FR4 забезпечують ефективну електричну ізоляцію, вологостійкість та структурну міцність, зберігаючи при цьому функціональну стабільність при високих та низьких температурах та забезпечуючи економічну ефективність.

Його температура склування (TG) становить від 115 до 200 °C залежно від методів виробництва та використовуваних смол. Стандартний FR-4 з термостійкістю 130...150 °C, а TG FR-4 має температуру склування близько 180 °C.

FR-4 використовується бром, так званий галогеновий хімічний елемент, стійкий до займання. Ця універсальність робить FR-4 підходящим вибором для друкованих плат у різних виробках, включаючи побутову електроніку, телекомунікаційні пристрої та промислове обладнання.

Однак FR-4 не є ідеальним для гнучких високочастотних друкованих плат. Для таких плат слід використовувати поліамід.

CEM-3, як і FR-4, виготовлений із тканого скловолокна, просоченого епоксидною смолою. Це надає йому багато тих же властивостей, що і FR-4: відмінна електроізоляція, механічна міцність і термічна стабільність. Але CEM-3 відрізняється тим, що він трохи дешевше за FR-4. У пристроях з невисокою продуктивністю можна використовувати CEM-3 замість більш дорогого FR-4. Баланс характеристик та

помірна ціна роблять CEM-3 надійним базовим матеріалом для багатьох видів електроніки.

Поліамід – універсальний полімерний матеріал, що ідеально підходить для друкованих плат, що працюють у складних умовах експлуатації. Висока температурна стабільність поліаміду, механічна гнучкість та хімічна стійкість дозволяють йому зберігати цілісність та функціональність навіть при високих температурах та агресивному хімічному середовищі. Тому поліамід найбільш підходящий матеріал для критично важливої електроніки в багатьох галузях промисловості, включаючи аерокосмічну, автомобільну та військову.

Політетрафторетилен (ПТФЕ), широко відомий під торговою маркою Тефлон, використовується для виготовлення високочастотних друкованих плат. Він характеризується низькою діелектричною проникністю та низькими втратами, що робить його ідеальним для радіочастотних та мікрохвильових застосувань.

Він також має високу термічну стабільність завдяки високій температурі склування. Друковані плати з тефлоном зберігають свою структуру та працездатність навіть за впливу високих температур. На додачу до всього, цей матеріал друкованої плати має високу хімічну стійкість. Однак він дорожчий і складніший у роботі порівняно з FR-4.

Друковані плати з металевою основою (MCPCB) та металевим покриттям, зазвичай виготовлені з алюмінієвими або мідними основами, використовуються через гарне розсіювання тепла. Вони найкраще підходять для застосування в системах з високою потужністю, таких як світлодіодне освітлення та автомобільні системи, де керування температурним режимом має вирішальне значення.

У гнучких друкованих платах використовуються такі матеріали, як поліамідна або поліефірна плівка, які дозволяють платі згинатися та розгинатися (рис. 12). Вони використовуються в додатках, де простір є обмеженням або де друкована плата повинна відповідати певній формі, наприклад, в електроніці, що носить.

Матеріали Rogers Corporation

Компанія Rogers Corporation є одним з провідних постачальників матеріалів для друкованих плат. Популярні матеріали серій RO3000 та RO4000 підходять для виготовлення високочастотних друкованих плат, що працюють за високої температури навколишнього середовища. Ламінати Rogers Xtreme-Speed RO1200 є матеріалами з низькою діелектричною постійною і низькими втратами, розроблені з

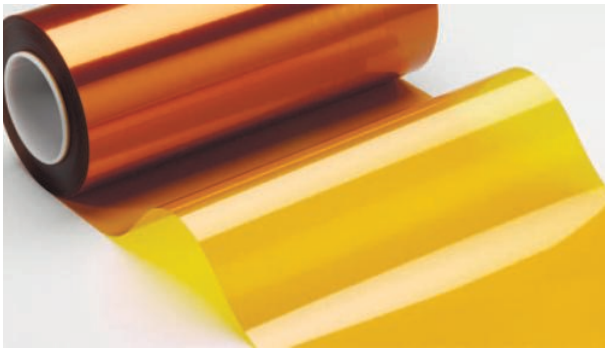


Рис. 12. Поліамідна плівка для гнучких друкованих плат

урахуванням унікальних електричних, термічних і механічних вимог високошвидкісних конструкцій [7].

Основні характеристики ламінату:

- максимальний коефіцієнт розсіювання 0.0017 (ламінат) та 0.0012 (склеєний шар) при частоті 10 ГГц

- низький СТЕ, температура розкладання (Td) 500 °C TGA

- армований скловолокном, для підвищення жорсткості

- неармований сполучний шар забезпечує найкращі у своєму класі електричні характеристики.

Переваги ламінатів серії RO1200:

- визначна цілісність сигналу (SI – Signal Integrity)

- високі термічні/механічні характеристики

- сумісність із безсвинцевими процесами

- малі спотворення сигналів

- найкраще підходить для структур з великою кількістю шарів.

Матеріали Rogers забезпечують спеціальні властивості, необхідні для таких додатків, як радіолокаційні системи, бурове обладнання та аерокосмічна авіоніка, де продуктивність має вирішальне значення.

Діапазон робочих частот до 20 ГГц. Діапазон робочих температур від -55 до 288 °C. Компанія Rogers виготовляє найкращі матеріали для друкованих плат систем критично важливого призначення. У табл. 2 наведено порівняльні характеристики різних матеріалів підкладки для друкованих плат.

Вибір відповідного матеріалу друкованої плати

Вибір відповідного матеріалу друкованої плати є важливим рішенням у процесі проектування та виробництва. Це може вплинути на продуктивність, довговічність, вартість та навіть успіх кінцевого продукту. Ось кілька основних моментів, на які слід звернути увагу.

Необхідно оцінити діапазон частот та середовище, в якому працюватиме друкована плата. Для високочастотних додатків можуть знадобитися такі матеріали, як ПТФЕ або поліамід, через їх низькі діелектричні втрати, а для додатків з високою потужністю слід використовувати друковані плати з металевою основою для кращого розсіювання тепла.

Аналіз температурних вимог

Необхідно оцінити вимоги до робочих температур плати. Для застосування, пов'язаного з високими температурами, рекомендуються матеріали з високими температурами склування та термічною

Таблиця 2. Порівняльні характеристики матеріалів виготовлення друкованих плат

Матеріал	FR-4	CEM-3	Тефлон	Роджерс	Метал	Поліамід
Діелектрична постійна	~4,4	~4,5...4.9	~2,1	~2,5...10.2	Змінна	~3,4...3.5
Температурна стабільність	Гарна	Помірна	Висока	Висока	Змінна	Гарна
Коефіцієнт розсіювання	Низький	Помірний	Дуже низький	Низький	Низький	Низький
Вартість	Низька	Низька	Висока	Висока	Від помірної до високої	Помірна
Механічна гнучкість	Обмежена	Обмежена	Гарна	Обмежена	Обмежена	Висока
Обробка	Стандарт	Стандарт	Спеціалізована	Спеціалізована	Обмежена	Стандарт

стабільністю, такі як FR-4 з високим вмістом TG або поліамід.

Врахування механічних навантажень

Якщо друкowana плата буде піддаватися вібрації або вигину, необхідно вибирати матеріали, що забезпечують необхідну механічну міцність і гнучкість, наприклад, гнучкі або жорстко-гнучкі матеріали.

Технологічність та доступність

Необхідно врахувати технологічність матеріалу. Деякі сучасні матеріали можуть вимагати спеціалізованих виробничих процесів або мати обмежену доступність, що може вплинути на терміни виробництва та витрати. Нприклад, плати з тефлону потребують механічної обробки (рис. 13).

Відповідність екологічним нормам

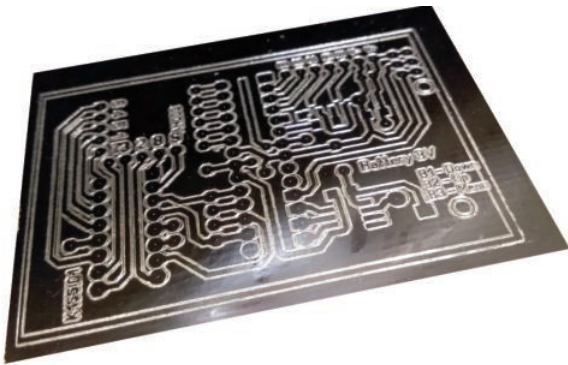


Рис. 13. Плата з тефлону

Переконайтеся, що матеріал плати відповідає екологічним нормам, таким як RoHS або REACH, особливо якщо продукція буде продаватися по всьому світу.

ЛІТЕРАТУРА

1. ru.venture-mfg.com/%D0%B2%D1%8B%D1%81%D0%BE%D0%BA%D0%BE%D1%87%D0%B0%D1%81%D1%82%D...
2. Basic Concepts of Designing an RF PCB Board. / <https://www.eeweb.com/basic-concepts-of-designing-an-rf-pcb-board/>
3. <https://www.edn.com/pcb-signal-coupling-can-be-a-problem/>
4. Полное руководство по обеспечению целостности питания печатных плат от платы до корпуса. / <https://resources.altium.com/ru/p/pcb-power-integrity>
5. <https://resources.altium.com/ru/p/pcb-trace-width-vs-current-table-high-voltage-design>
6. PCB Material Selection: How Substrate Properties Impact PCB Performance. / <https://resources.altium.com/p/pcb-material-selection-how-substrate-properties-impact-pcb-performance>
7. <https://rogerscorp.com/advanced-electronics-solutions/xtremespeed-ro1200-laminates>

Датчики та системи для статичних та динамічних вимірювань прискорень та вібрацій



- подушки безпеки
- краш-тести
- вібровипробування
- авіація та ракетобудування
- автомобільний транспорт
- залізничний транспорт
- сейсмічний моніторинг
- вимірювання нахилів
- робототехніка



- вимірювання прискорень до 70 000 g
- чутливість від 0.05 мВ/г
- частотний діапазон від 0 до 20 000 Гц
- діапазон робочих температур до 482 °C
- система аналізу суттєво нелінійних швидкоплинних процесів

VD MAIS
ДИСТРИБ'ЮЦІЯ +
КОНТРАКТНЕ
ВИРОБНИЦТВО

VD MAIS – офіційний дистриб'ютор компанії Dytran в Україні

тел.: (044) 220-0101, info@vdmiais.ua, www.vdmiais.ua

DYTRAN
INSTRUMENTS, INC.

www.dytran.com