

Чайковський С.Ю.

Український науково-дослідний інститут спеціальної техніки та судових експертиз Служби безпеки України

БАГАТОШАРОВІ ДРУКОВАНІ ПЛАТИ ТА ЇХ ПЕРЕВАГИ

Сучасний світ електроніки швидко змінюється, відповідно до потреб суспільства в професійній та побутових сферах діяльності. Автомобільна та космічна промисловість, медичне та комунікаційне обладнання, сільськогосподарський сектор тощо, потребують сучасного досконалого обладнання для якісного виконання потреб будь-якої галузі.

Дана стаття присвячена розгляду задач, які необхідно вирішити при розробці сучасної електронної техніки, визначено важливість використання інноваційних матеріалів, новітньої елементної бази, сучасного програмного забезпечення.

У статті розглянуто питання необхідності розробки багатошарових друкованих плат (БДП) засобами сучасного програмування, з використанням сучасних електронних компонентів та визначено, що розробка відповідно новітніх технологій є вирішенням одного з головних питань для отримання сучасних виробів електроніки в різних галузях промисловості.

З'ясовано, що здатність збалансувати розмір та функціональність в одно та двошарових платах є обмеженою. Розкрито питання, що новітня електроніка потребує розробки багатошарових плат високої щільності з'єднань HDI, гнучких багатошарових плат FPC, жорстко-гнучких багатошарових плат.

Також визначено, що розробка сучасних високотехнологічних електронних компонентів в BGA корпусах та мінімізація електронних компонентів в корпусах SOT, SMT тощо, вимагають розробки багатошарових друкованих плат, що дозволить при зменшенні розмірів збільшити функціональність виробу.

Досліджено, що багатошарова друкована плата – можливість реалізації складних задач в розробці та виробництві електроніки. Використання складних елементів, тонких основ та удосконалені технології виконання перехідних отворів дозволяють отримати високотехнологічні вироби нестандартних форм. Доведено, що сучасна електроніка безперервно рухається у бік універсальності та стає більш легкою, тонкою, мініатюрною.

Ключові слова: багатошарова друкована плата, плата HDI, гнучка плата FPC, перехідний отвір, електронні компоненти SOT, SMT, BGA корпус.

Постановка проблеми. Професійні, спеціалізовані, побутові електронні вироби дозволяють якісно та швидко виконати різноманітні функції у різних сферах життєдіяльності.

Сучасні вимоги до електронних виробів потребують оновлених технологій при конструюванні, з використанням сучасних електронних компонентів, та виготовленні багатошарових друкованих плат.

Актуальним вирішенням цього питання для розробників та виробників є розробка технологій конструювання та випуску багатошарових друкованих плат з кількістю шарів, на жорстких, гнучких та жорстко-гнучких основах необхідних для отримання високоточних результатів.

Високоякісні багатошарові друковані плати дають можливість моделювання нестандарт-

них форм виробу з дотриманням параметричних вимог та можливістю зменшення ваги та маси.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Важливість розробки та виготовлення багатошарових друкованих плат для сучасних електричних виробів, вивченням нюансів технологічних процесів виробництва займалися вітчизняні науковці: Кучернюк В.П., Швець П.С., Губар В.Г., Зінгер Я.Л., Гапон Д.А. тощо.

Вітчизняні виробники багатошарових друкованих плат з високотехнологічним обладнанням та сертифікатами якості, відповідно міжнародних стандартів IPC / JEDEC: ДП «Гальванотехніка» (додатково мають EN 9100 сертифікат для виробництва продукції аерокосмічного призначення), Компанія СЕА, СК-ТЕХНО – (потужності м. Київ), РСВЕТAL (потужності м. Олександрія) тощо.

Серед закордонних виробників багатошарових друкованих плат, що забезпечують високу якість виробництва, проводять регулярне оновлення та засвоєння сучасного виробництва: BETON, Highleap Electronic – (потужності Китай), AT&S Deutschland GmbH (Австрія), Eurocircuits (Бельгія) тощо.

Якість виробництва підтверджується сертифікатом менеджменту якості ISO9001, міжнародними сертифікатами UL (UL E 492586), TS 16949 тощо.

Постановка завдання. Метою статті є визначення доцільності та переваги розробки і виготовлення багатошарових друкованих плат на базі сучасного програмного забезпечення та новітніх технологій. Важливість розробки багатошарових друкованих плат при використанні сучасної елементної бази, можливість реалізації нестандартних функціональних показників. Можливість мінімізації габаритних розмірів сучасної електронної техніки.

Виклад основного матеріалу. Будь-яка сфера діяльності сучасної людини вимагає використання електричних пристроїв. Це побутова електроніка, медичне, комунікаційне, автомобільне, сільськогосподарське обладнання, аерокосмічна та галузі високих технологій.

Одним з перших кроків розробки якісної сучасної техніки є розробка друкованих плат, відповідно до схематехнічних вимог замовника. Друкована плата – основа функціональних вузлів та несучих елементів конструкції. Кожна друкована плата вирізняється конструктивно-технологічними особливостями – від найпростіших односторонніх плат до найсучасніших багатошарових друкованих плат HDI (плати з технологією з'єднання високої щільності).

Сучасні методи конструювання друкованих плат вимагають постійного удосконалення програмного забезпечення та методів розробки з урахуванням вимог сучасної елементної бази, щільності монтажу, використання новітніх технологій виробництва з застосуванням сучасних матеріалів.

Відповідно до ДСТУ 2646-94 [2]:

Друкована плата – матеріал основи, що вирізаний за розміром, містить необхідні отвори і, щонайменше, один рисунок.

Друкований вузол – друкована плата з приєднаними до неї електричними і механічними елементами і (або) іншою друкованою платою і з виконаними всіма процесами обробки: паяння, покриття і т. д.

Рисунок друкованої плати – конфігурація провідникового і (або) діелектричного матеріалу на ДП.

Провідний рисунок (ПР) – рисунок ДП, утворений провідниковим матеріалом.

Матеріал основи ДП – матеріал, на якому виконується рисунок ДП.

Види друкованих плат:

Одностороння друкована плата (ОДП) – друкована плата, на одній стороні якої виконаний провідний рисунок.

Двостороння друкована плата (ДДП) – друкована плата, що має одну основу, на обох сторонах якої виконані провідний рисунок і всі необхідні з'єднання.

Багатошарова друкована плата (БДП) – друкована плата, що складається з шарів ізоляційного матеріалу, які чергуються, з провідними малюнками на двох або більш шарах, між якими виконані необхідні з'єднання.

Багатошарові друковані плати набувають важливого значення з 90-х років XX століття. Це роки активного розвитку елементної бази та технологій розробки та виготовлення друкованих плат. Використання кремнію призвело до появи нових електронних мініатюрних компонентів в корпусах SOT, SMT, багатовивідних компонентів BGA корпусів, що дозволяє збільшити щільність компонування плати та можливості мініатюризації в електроніці. Розробка нових діелектричних основ сприяє розробці та виробництву гнучких та жорстко-гнучких багатошарових друкованих плат, що в поєднанні з малими розмірами, дозволяє розробку нестандартних форм корпусів електронних виробів.

Основні вимоги, що забезпечують багатошарові друковані плати, це [1]:

- збільшення складу блоків виробу;
- можливість постійного ускладнення електронної апаратури, особливо в літальних апаратах;
- зменшення габаритів та маси;
- зменшення споживчої потужності;
- висока надійність.

Багатошарові друковані плати впливають на технологічність конструкції, на конструктивні та електричні характеристики електричного виробу в цілому.

При збереженні всіх можливостей провідного монтажу, застосування багатошарових друкованих плат дозволяє [3]:

- забезпечення значного підвищення щільності з'єднань;

- гарантувати стабільну повторюваність параметрів виробів одночасно з можливістю підвищення електричних навантажень у ланцюгах;
- поліпшити вібраційну та механічну міцність;
- поліпшити стійкість з'єднань до кліматичних факторів;
- зменшити трудомісткість виготовлення апаратури і забезпечити можливість механізації та автоматизації її виробництва;
- підвищити надійність та якість апаратури.

Зменшення ваги відбувається за рахунок інтеграції компонентів у багатошарову друковану плату, що означає меншу потребу в роз'ємах та інших деталях, що спрощує розробку блоку. Це важливий фактор для електроніки де вага є проблемою.

Багатошарова друкована плата забезпечує більшу функціональність, місткість та швидкість при збільшенні товщини, за рахунок щільності складання.

Багатошарові друковані плати мають розширені особливості дизайну та покращену якість продукції бо дотримані характеристики:

- створення з'єднань з контрольованим імпедансом;
- створення з'єднань з контрольованим перехресним наведенням, рівень яких можна розрахувати, але дотриматися при проектуванні.

Для надскладних застосувань та з найвимогливішою схемою розробляються компактні, високошвидкісні багатошарові друковані плати HDI високої щільності з'єднання. Високотехнологічні виробництва HDI плат забезпечують високу продуктивність та надійність починаючи від глухих та закритих отворів і закінчуючи мікроотворами та міжшаровими з'єднаннями.

Розташування мікроперехідних отворів у шаховому порядку між шарами в багатошарових платах HDI забезпечує більше гнучкості та простору для маршрутизації та з'єднання компонентів. Шахові переходи дозволяють розробникам оптимізувати шляхи проходження сигналу та зменшити втрати сигналу, забезпечуючи кращу продуктивність та надійність електронного виробу.

Виробництво багатошарових друкованих плат є складним технологічним процесом, що складається з більш ніж ста кроків. Число шарів залежить від дизайн проекту конкретного пристрою. Процеси формування різних шарів багатошарових плат достатньо хитромудрі, але в їх основі одна проста ідея – матеріал осаджують зразу на всю поверхню кожного шару, а потім осаджений

матеріал акуратно видаляють з тих ділянок, де він непотрібен [1].

Конструктивно-технологічні особливості багатошарових друкованих плат вимагають застосування ряду специфічних операцій, таких як пресування шарів плати, міжшарових з'єднань тощо [3].

В залежності від наявності і характеру міжшарових з'єднань розрізняють наступні різновиди багатошарових друкованих плат:

- з відкритими контактними площинками – пресування друкованих шарів з перфорованими вікнами для доступу до внутрішніх шарів. Міжшарові з'єднання, як такі, відсутні, тому провідники одного ланцюга повинні розташовуватися на одному шарі. З'єднання шарів між собою забезпечується провідними перемичками. Кількість шарів даного методу обмежена – не більше п'яти;

- з виступаючими выводами – выводы є продовженням друкованих провідників, що виходять з внутрішніх шарів і перфоровані вікна. Не має обмежень по максимальній кількості шарів, простий у виконанні та має порівняно короткий технологічний цикл;

- з пошаровим нарощуванням рисунка – послідовне чергування шару ізоляції та металізованого шару. З'єднання між провідними елементами друкованих шарів виконують гальванічним нарощуванням міді в отворах шару ізоляції. Дозволяє високу щільність монтажу, бо є можливість виконання міжшарових переходів в будь-якій точці плати на залежно від трасування та місця розташування міжшарових з'єднань суміжних шарів. Хоча метод має тривалий технологічний цикл, Застосування цього методу виправдане для створення апаратури з високою надійністю. Наприклад, друковані плати в апаратурі космічного транспорту та космічного базування, виготовлені цим методом, не мали жодної відмови за весь час використання з 80-х років минулого століття [4];

- попарного пресування – варіантів виготовлення багатошарових друкованих плат багато, однак найбільше застосування мають чотиришарові друковані плати попарного пресування. При виготовленні таких плат використовується технологія з металізацією наскрізних отворів. Такі друковані плати відносно прості у виготовленні та є самими дешевими з багатошарових плат. Вони мають більш високу трасувальну здібність у порівнянні з аналогічними двошаровими платами [1]. Часто такі плати використовують у варіанті, коли два шари виводяться для ланцюгів «земля» та «живлення», а решта – для трасу-

вання функціональних ланцюгів. З появою нових технологій виготовлення багатошарових друкованих плат, технологія попарного пресування стала використовуватися рідше;

- з наскрізними металізованими отворами – багатошарові друковані плати з металізацією наскрізних отворів теоретично володіють безмежною трасувальною здатністю та дозволяють монтувати будь-які елементи з однієї або з двох сторін. Необхідну кількість шарів, на яких виконана друкована схема, склеюють між собою, свердлять та металізують отвори.

При конструюванні багатошарової друкованої плати легко забезпечити її герметичність, що забезпечить кращі механічні характеристики. Друковані провідники, що розташовані в середині блоку плати захищені від зовнішніх впливів. Тому в багатошарових друкованих платах з високою щільністю монтажу небажано використовувати рисунок схеми на зовнішніх шарах.

Важливо контролювати тепловий режим роботи багатошарової друкованої плати, тому в багатьох випадках такі плати повинні мати тепловідводи. Герметизована земляна площина в середині багатошарової плати є ефективним тепловідводом. Багатошарові друковані плати можуть мати одну або декілька внутрішніх земляних площин та, крім того, на одній або обох зовнішніх поверхнях плати можуть бути суцільні шари для екранування [1].

Для отримання якісної багатошарової друкованої плати важливу роль відіграють основи з високими діелектричними властивостями.

При виконанні зовнішніх шарів багатошарової друкованої плати необхідно матову сторону фольги припресувати до діелектричної основи. Це забезпечить хорошу адгезію фольги з діелектриком. Рівна та блискуча поверхня фольги створює сприятливі умови для виконання чіткого малюнка провідників та зазорів з високою точністю.

Для виготовлення складних багатошарових плат використовують тонку фольгу – 18 мкм та 12 мкм. Для виготовлення багатошарових плат з надщільним друкованим малюнком використовується тонкомірна фольга – 9 мкм та 7 мкм. Всі ці типи фольги виготовляються електролітичним методом.

Основи для виготовлення багатошарових друкованих плат:

- склотекстоліт FR-4 – забезпечує високий рівень надійності за рахунок підвищеної температури склування, більше підходить для високочастотних плат через низькі діелектричні властивості.

Має кращу стабільність, хімічну, теплову та волого- стійкість;

- склотканини – для найбільш складних та відповідальних багатошарових друкованих платах за основу обирають склотканини з кварцовою основою. Ці основи мають найкращі електротехнічні властивості – малі втрати, хорошу теплостійкість, високу механічну та електричну міцність;

- листовий алюміній – заготовки з листового алюмінію і осадженою на неї тонкомірною міддю виконують функцію роздільника, що вирівнює тепловий профіль. Алюмінієва основа запобігає утворенню складок тонкої фольги при укладанні пакета, нормалізує товщину діелектрика під фольгою;

- відпалена катана фольга – потрібна товщина досягається шляхом численних послідовних операцій відпалу та прокату. Отримана фольга високої пластичності забезпечує міцний зв'язок в пакеті шарів складних багатошарових плат;

- препрег – ізоляційний матеріал прокладки, що служить для склеювання заготовок внутрішніх шарів багатошарових плат. Також служить для створення ламінатів – фольгованих діелектричних основ. Тонкі препреги та ламінати на їх основі використовуються для виробництва складних друкованих плат з особливими вимогами щодо контролю імпедансів ліній передачі;

- поліефірні смоли – використовуються для виготовлення базових матеріалів плат швидкодіючих та високочастотних пристроїв. Їх хороші термічні властивості в поєднанні зі стабільністю електричних властивостей матеріалів забезпечують високу електричну та механічну міцність, низькі втрати в діелектрику. Безсвинцева технологія з застосуванням тугоплавких припоїв вимагає ретельного вибору смол для виготовлення багатошарових друкованих плат;

- епоксидна смола ВТ – зберігає міцність з'єднання при високих температурах, вирізняється чудовими електричними, тепловими та механічними властивостями, найбільше підходить для безсвинцевих плат;

- поліамід – тип ламінату, що забезпечує екологічну стійкість, має високі термічні, хімічні та механічні властивості, ідеально підходить для багатошарових друкованих плат складних конструкцій зокрема у військовій, автомобільній, аерокосмічній електроніці тощо.

Матеріали основ для виробництва багатошарових плат HDI повинні відповідати чітким параметрам:

- повинен мати температуру розкладання вище діапазону 250–300 °С;

- з низьким значенням діелектричної проникності, що забезпечить цілісність сигналу та контроль імпедансу, особливо на високих частотах, мінімізує втрати сигналу, перехресні перешкоди та інші електричні проблеми та забезпечить надійну роботу високошвидкісних сигналів;

- високу температуру склування – 170 °С або вище, забезпечить чудові термічні та механічні властивості;

- враховувати коефіцієнт теплового розширення – раптове розширення та звуження плати може мати руйнівні наслідки, особливо для корпусів кремнієвих мікросхем. Надмірний термічний цикл приводить до руйнування паяних з'єднань, призводить до мікророзривів.

Сучасне виробництво дозволяє виготовляти багатошарові плати на гнучких основах та з жорстко-гнучкою основою.

Гнучка багатошарова друкована плата (FPC), яка ще називається м'якою платою, виготовляється методом процесу перенесення та травлення фотозображень на поверхні гнучкої основи. Поверхневий та внутрішні шари гнучкої багатошарової плати електрично з'єднані з внутрішніми шарами також через металізовані перехідні отвори.

Жорстко-гнучка багатошарова друкована плата – модель тривимірного з'єднання, якій можна надавати майже будь-які форми. Містить, як і будь-яка багатошарова плата, три або більше провідних шарів міді, які з'єднані наскрізними металізованими отворами.

Використання гнучких та жорстко-гнучких багатошарових друкованих плат у сучасних виробках електроніки вирішують питання зі зменшенням габаритних розмірів виробу та стійкості до важких умов експлуатації з дотриманням параметричних даних виробу. Забезпечують економічну ефективність. При використанні багатошарових жорстко-гнучких та FPC плат використовується менше деталей та з'єднань, вирішуються більш складні завдання проектування, бо дозволяють нестандартний підхід до дизайну. Такі плати зна-

ходять застосування у багатьох галузях промисловості, від мініатюрних слухових апаратів, окулярів нічного бачення до проектів аерокосмічної галузі.

Сучасні можливості кожного виробництва багатошарових плат індивідуальні та залежать від обладнання. Середні допустимі параметри плат:

- кількість шарів – 1–20;
- товщина плати – 0,1–10 мм;
- мінімальний розмір плати – 10x10 мм;
- наскрізний механічний отвір – 0,2 мм;
- мінімальний провідник – 0,1 мм.

Виробники забезпечують якість багатошарових друкованих плат відповідно до стандартів IPC рівня 3, RoHS та ISO 9001:2018.

Висновки. Використання багатошарових друкованих плат змінює підхід замовників та виробників до створення сучасних електронних виробів. Підвищується якість продукції та її економічна ефективність, реалізується нестандартний дизайн виробу.

Застосування багатошарових друкованих плат, дозволяє створювати мініатюрну та легку електронну техніку. Це вносить ефективні зміни у всі галузі промисловості, включаючи аерокосмічну, автомобільну, медичну, споживчу електроніку тощо.

Проектування багатошарових друкованих плат на жорстких та гнучких основах у великих електронних пристроях технічно необхідне та економічно доцільне, бо покращують співвідношення між характеристиками та розмірами. Пристрої мінімізованих розмірів з необхідним, а то і збільшеним набором функцій – вирішення задач розробника перед вимогами споживача.

Переваги багатошарових друкованих плат роблять їх доцільними для використання в високоякісних електронних виробках.

Вартість розробки та виробництва багатошарових друкованих плат висока і залежить від багатьох факторів. Однак для виробника та споживача якість кінцевого продукту важливіша. Надійний, естетичний електронний виріб будь-якої галузі – довгостроковий позитивний імідж розробника та виробника на промисловому ринку.

Список літератури:

1. Губар В.Г., Адаменко І.О. Фізико-теоретичні основи проектування радіоелектронної апаратури. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. URL: <https://surl.li/xtgvcr> (дата звернення 15.06.2025)
2. ДСТУ 2646-94 Плати друковані. Терміни та визначення.
3. Євсіна Н.О., Дудник А.В. Конструювання і технологія виробництва систем телекомунікацій: Конспект лекцій для студентів спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» усіх форм навчання- Харків: НТУ «ХПІ», 2022. URL: <https://surl.li/jcbdvp> (дата звернення 15.06.2025)

4. Зінгер Я.Л., Адаменко Ю. Ф. НАСКРІЗНА РОЗРОБКА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ. ЧАСТИНА 2 КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ. – Київ КПІ ім. Ігоря Сікорського 2023 р. URL: <https://surl.luhva.net/vsusbi> (дата звернення 15.06.2025).

5. Uetpcb. Електронний ресурс. Спрощення електронних інновацій. URL: <https://uetpcb.com/uk/multi-layer-pcbs/> (дата звернення 15.06.2025).

6. Highleap Electronic/ Електронний ресурс. URL: <https://hilelectronic.com/uk/hdi-pcb/> (дата звернення 15.06.2025).

7. Beton Technology. Електронний ресурс. URL: <https://ua.betonpcb.com/> (дата звернення 15.06.2025).

Chaikovskiy S.Yu. MULTILAYER PRINTED CIRCUIT BOARDS AND THEIR ADVANTAGES

The modern world of electronics is changing rapidly, in line with the needs of society in professional and domestic spheres of activity. The automotive and space industries, medical and communication equipment, the agricultural sector, etc. require modern, sophisticated equipment to meet the needs of any industry.

This article is devoted to the consideration of the tasks that need to be solved in the development of modern electronic equipment, the importance of using innovative materials, the latest element base, and modern software is determined.

The article discusses the need to develop multilayer printed circuit boards (PCBs) by means of modern programming, using modern electronic components, and determines that the development of the latest technologies is a solution to one of the main issues for obtaining modern electronics products in various industries.

It is found that the ability to balance size and functionality in single- and double-layer boards is limited. The issue of the latest electronics requiring the development of high-density interconnect HDI multilayer boards, flexible FPC multilayer boards, and rigid-flex multilayer boards is revealed.

It is also determined that the development of modern high-tech electronic components in BGA packages and minimization of electronic components in SOT, SMT, etc. packages require the development of multilayer printed circuit boards, which will increase the functionality of the product while reducing its size.

It has been shown that a multilayer printed circuit board is an opportunity to implement complex tasks in the development and production of electronics. The use of complex elements, thin substrates, and advanced technologies for making transition holes allow for the production of high-tech products of non-standard shapes. It is proved that modern electronics is continuously moving towards versatility and becoming lighter, thinner, and more miniature.

Key words: *multilayer printed circuit board, HDI board, flexible FPC board, transition hole, SOT, SMT, BGA package, electronic components.*

Дата надходження статті: 07.07.2025

Дата прийняття статті: 14.07.2025

Опубліковано: 27.10.2025