

**Луцко Л.І.**

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

## БАГАТОШАРОВІ ДРУКОВАНІ ПЛАТИ ТА ОСНОВНІ МЕТОДИ ЇХ ВИГОТОВЛЕННЯ

*У більшості спецтехніки до недавнього часу застосовували двохсторонні друковані плати. Проте останнім часом зростає складність наших пристроїв, збільшилася функціональна насиченість, підвищилась щільність монтажу, докорінно змінилася елементна база радіоелементів, зменшилась вага і обсяг спецтехніки. У зв'язку з цим виникла необхідність виготовлення багатошарових друкованих плат. Саме такій темі присвячена ця стаття.*

*У роботі розглянуті ключові параметри і терміни багатошарових друкованих плат, охарактеризовані додаткові переваги поверхневого монтажу, а також недоліки багатошарових друкованих плат. До недоліків можна віднести їх обмежену ремонтпридатність, а також складність внесення змін до конструкції готових друкованих плат.*

*У статті проаналізовані основні методи виготовлення друкованих плат, щоб можна було підібрати прийнятний для свого випадку метод, оскільки це необхідно для гарантованого забезпечення надійності, якості, безпеки і конкурентоспроможності виробу, який виробляє підприємство-виробник. Тому в процесі виготовлення спецтехніки, щоб запобігти отриманню дефектної продукції, необхідно професійно скомпонувати багатошарову друковану плату в пакеті PCAD із отриманням PCB файлу, в якому відображена уся конструкторська документація для виготовлення деталей плати, складального кресленника, використаного матеріалу заготовок, схеми послідовності з'єднання шарів і необхідного покриття, а також усі технічні вимоги для виготовлення. Після цього слід професійно підібрати необхідний метод.*

*У статті розглянутий приклад чотиришарової друкованої плати, скомпонованої у пакеті PCAD-6 і виготовленої методом металізації наскрізних отворів. Показана схема послідовності з'єднання шарів. При дотриманні усього сказаного вище у нас буде можливість отримати якісну продукцію.*

**Ключові слова:** друкований малюнок, міжшаровий перехід, контактний перехід, технологічний отвір, травлення міді, металізація наскрізних отворів.

**Постановка проблеми** Основною умовою стабільного розвитку та забезпечення конкурентоспроможності підприємств є випуск якісної продукції.

До якості спецтехніки, яка експлуатується в умовах підвищеної вологості (що пришвидшує корозію) при високих або низьких температурах (що створює термоудар) і у вибухонебезпечних середовищах, висуваються особливі вимоги, які потребують впровадження нової, сучасної елементної бази, що призвело до впровадження нових методів виготовлення, зокрема, виготовлення багатошарових друкованих плат.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій** Важливим та обов'язковим етапом виготовлення якісної продукції підприємства є виготовлення якісних багатошарових друкованих плат. Цьому питанню присвячено багато теоретичних і практичних досліджень вітчизняних і зарубіжних вчених. Дослідженням проблемних питань виготовлення багатошарових друкованих

плат займалися вітчизняні науковці Л.А. Яцюк, О.В. Косогін, Д.Ю. Ущатовський, О.В. Лінючева, Ю.Ф. Фатєєв [1, с. 249–250]; Н.В. Черкас [5, с. 11–13]; О.П. Вітюк, О.К. Колесницький, С.І. Кормановський, В.Н. Панченко [6, с. 9–11].

У їхніх працях описані переваги та недоліки багатошарових друкованих плат. Є багато інформації про використання діелектричної основи друкованих плат. Однак попри велику кількість наукових публікацій, недостатня увага приділена практичним дослідженням. Усі ці фактори зумовлюють потребу подальших досліджень проблем проектування та виготовлення багатошарових друкованих плат, враховуючи типи виробництва та особливості виготовлення спецтехніки.

**Постановка завдання** Метою цієї статті є довести доцільність виготовлення багатошарових друкованих плат (далі – БДП), навчитися підбирати основний метод виготовлення БДП, оскільки багатошарові друковані плати характеризуються підвищеною надійністю і щільністю монтажу,

стійкістю до механічних і кліматичних впливів, зменшенням розмірів і числа контактів, підвищеною стійкістю до кліматичного і механічного впливів.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Якість спецтехніки, яку виробляє підприємство-виробник, є запорукою тривалої та безаварійної її експлуатації, адже вироби спецтехніки працюють в екстремальних умовах. Друковані плати теж повинні бути якісними і безаварійними.

Друкована плата являє собою пластину, виконану з діелектричного матеріалу (гетинакс / текстоліт / склотекстоліт) із нанесеними на її поверхню електропровідними смугами для забезпечення контакту.

Зростаюча вимога до зменшення ваги і обсягу радіоапаратури призвела до необхідності проектувати і виготовляти досить складні пристрої, для яких обов'язкова висока щільність при монтажі. Це зумовило необхідність поліпшення як конструкції, так і технології з'єднань деталей і функціональних вузлів, викликало гостру необхідність запровадження інновацій у конструкцію друкованих плат. Саме тому останнім часом БДП набули широкого поширення у сфері виробництва радіоелектронних виробів.

БДП складаються із розташованих поперемінно шарів ізоляційного матеріалу і провідного рисунка, з'єднаних клейовими прокладками у процесі пресування в монолітну структуру. Електричний зв'язок між окремими провідними шарами найчастіше виконується хіміко-гальванічною металізацією. Порівняно з одношаровими платами, БДП характеризуються підвищеною надійністю і щільністю монтажу, стійкістю до механічних і кліматичних впливів, зменшенням розмірів і числа контактів. Проте велика трудомісткість виготовлення, необхідність ретельного контролю на всіх операціях, складність технологічного обладнання і висока вартість зумовлюють застосування БДП здебільшого при виробництві спецтехніки, електронно-обчислювальної, авіаційної та космічної апаратури.

БДП призначені для розміщення на них мікросхем із великою кількістю виводів у разі, якщо є неможливим розміщення провідників на двосторонніх платах. По суті, БДП складається з низки накладених і склеєних одиночних друкованих шарів, в яких утворені з'єднувальні провідники для передачі сигналів, провідні поверхні для підведення напруги живлення, прокладання земельних ланцюгів, контактні площинки, перехідні отвори, екрани. Часто в структуру багатошарової

плати включають для охолодження теплопровідний матеріал.

Кількість шарів плати залежить від області призначення електротехнічного виробу та його функціональності. Однак є і обмеження: розмір БДП не повинен бути більше 150x180 мм.

БДП характеризуються такими основними параметрами і термінами:

1) друкований малюнок – електропровідний шар, нанесений на діелектричну підставку;

2) міжшаровий перехід – контактне з'єднання між шарами;

3) технологічний отвір – наскрізний отвір, необхідний для організації процесу виробництва БДП;

4) контактний перехід – ділянка з металевим покриттям, необхідна для з'єднання контактних провідників, розташованих у різних шарах БДП.

Зберігаючи усі переваги друкованого монтажу, БДП мають додаткові переваги:

– Більш висока питома щільність друкованих провідників і контактних площинок (20 і більше шарів).

– Зменшення довжини провідників, що забезпечує значне підвищення швидкодії (наприклад, швидкість обробки даних в ЕОМ).

– Можливість екранування ланцюгів змінного струму.

– Більш висока стабільність параметрів друкованих провідників під впливом зовнішніх умов.

Недоліки БДП:

– Більш жорсткі допуски на розміри порівняно з односторонньою та двосторонньою друкованою платою.

– Велика трудомісткість проектування і виготовлення.

– Застосування спеціального технологічного обладнання.

– Ретельний контроль усіх операцій.

– Висока вартість і низька ремонтпридатність.

Основні способи виготовлення БДП класифікують за методом створення електричних міжшарових сполук. У першій групі методів електричний зв'язок між провідниками, розташованими на різних шарах плати, здійснюється за допомогою механічних деталей: пістонів, штифтів, заклепок, пружних пелюсток.

Є БДП, які виготовляються із кількох двосторонніх друкованих плат шляхом пресування. В отвори вставляються попередньо облужені штифти, які потім під дією електричного струму, що проходить через штифт, розігріваються,

утворюючи за допомогою припою електричне з'єднання із друкованими провідниками. В отвори можуть вставлятися також заклепки, пістони, які обслужуються по торцях і розвальцьовуються. З'єднання можуть відбортовувати контактні площинки пістоном, що зменшує розміри пакету. Ці методи дуже трудомісткі, погано піддаються автоматизації і не забезпечують високої якості міжшарових сполук.

#### Методи виготовлення.

**1. Метод виступаючих виводів** характеризується тим, що при його здійсненні міжшарові сполуки утворюються за рахунок виводів, виконаних зі смужок мідної фольги, виступаючих із кожного друкованого шару, і проходять через перфоровані отвори в діелектричних міжшарових прокладках. Виводи відгинаються на зовнішню сторону БДП і закріплюються пайкою у спеціальних колодках.

При цьому методі використовується більш товста мідна фольга (до 80 мкм), плати допускають установку тільки елементів із планарними виводами. Кількість шарів не перевищує 20.

Переваги методу: висока жорсткість і надійність міжшарових сполук.

Недоліки: складність механізації процесу розведення виступаючих виводів і їх закріплення на платі, а також установки навісних елементів.

**2. Метод відкритих контактних площинок** заснований на створенні електричних міжшарових сполук за допомогою виводів навісних елементів або перемичок через технологічні отвори, що забезпечують доступ до контактних площинок.

При цьому методі в шарах вирубуються отвори: для штитових виводів круглі, для планарних – прямокутні. Для збільшення площі контакту діаметр площинок роблять більше діаметра отворів.

Переваги методу: ремонтпридатність, оскільки припускається перепайка виводів радіоелементів.

Кількість шарів: до 12.

Недоліки методу: можливість попадання клею на контактні площинки при склеюванні шарів і трудомісткість його видалення скальпелем; труднощі автоматизації процесу пайки виводів у заглибинах; відсутність електричного зв'язку між шарами; низька щільність монтажних з'єднань.

**3. Метод металізації наскрізних отворів** характеризується тим, що збирають пакет з окремих шарів фольгованого діелектрика (зовнішніх – одностороннього, внутрішніх – із готовими друкованими схемами) і міжшарових склеюючих прокладок. Пакет пресують, а міжшарові з'єднання виконують шляхом металізації наскрізних отворів.

Якість плати, виготовленої методом металізації наскрізних отворів, значною мірою залежить від надійності міжшарових сполук – торців контактних площинок із металізованими отворами.

Такий метод є основним і найбільш перспективним у виробництві БДП, оскільки не має обмеження кількості шарів, легко піддається автоматизації і забезпечує найбільшу щільність друкованого монтажу. Він дозволяє виготовляти БДП, придатні для розміщення на них елементів із планарними і штитовими виводами. Понад 80% усіх багатошарових друкованих плат, вироблених у світі, виготовляється цим методом.

**4. Метод попарного пресування** характеризується тим, що внутрішні шари БДП виготовляються на одній стороні заготовки із двостороннього фольгованого діелектрика, міжшарові з'єднання – шляхом хіміко-гальванічної металізації отворів у заготовках, отримані шари пресуються, а малюнок на зовнішніх сторонах плати виконується комбінованим позитивним методом.

У такій конструкції БДП немає прямого електричного зв'язку між внутрішніми шарами багатошарової структури, вона здійснюється через зовнішні шари. Складність переходів не дає можливості одержати високу щільність друкованого монтажу. Число шарів БДП – не більше чотирьох. Попарним пресуванням виготовляються БДП, на яких розміщуються навісні елементи із планарними і штитовими виводами.

Недоліки методу: низька продуктивність, неможливість отримання великої кількості шарів і високої щільності друкованого монтажу.

**5. Метод пошарового нарощування** характеризується тим, що при його здійсненні міжшарові з'єднання виконують суцільними мідними переходами (стовпчиками міді), розташованими у місцях контактних площинок.

До базових технологічних процесів отримання БДП відноситься пресування пакету, механічна обробка і контроль. Пресування пакету БДП є одним із найважливіших процесів виготовлення БДП, тому що від якості його виконання залежать електричні і механічні характеристики готової БДП.

Пошаровим нарощуванням отримують БДП, на яких розміщують тільки навісні елементи із планарними виводами. Недоліком такого методу є нетехнологічність конструкції, оскільки не можна використовувати фольговані діелектрики і необхідно вести послідовний цикл виготовлення багатошарової структури. Вартість виготовлення такого БДП – висока.

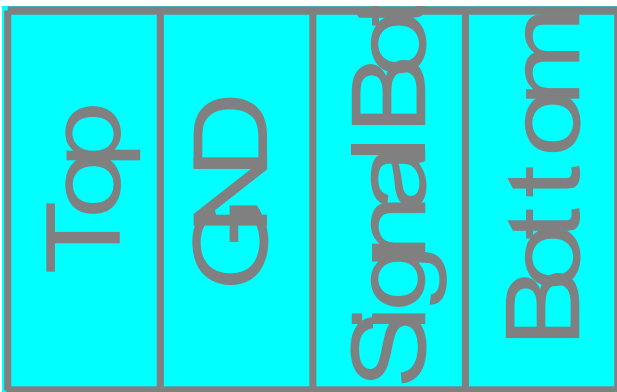
Переваги методу: можливість отримання великого числа шарів (5 і більше) і найнадійніші міжшарові контактні з'єднання.

Приведений приклад чотиришарової друкованої плати, скомп'юнованої у пакеті PCAD-6 із отриманням PCB-файлу. У PCB-файлі є всі дані для виготовлення плати. Таку чотиришарову друковану плату виготовили методом металізації наскрізних отворів.

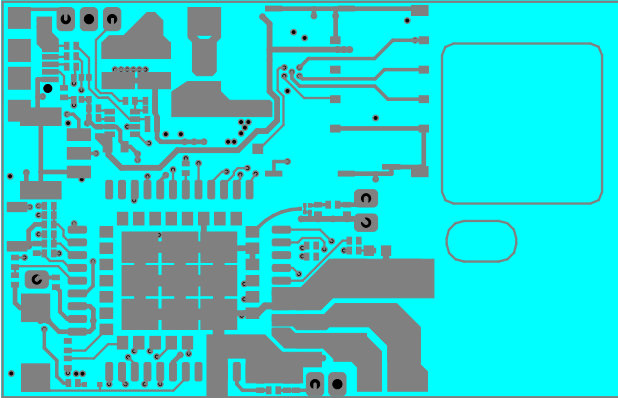
**Схема послідовності з'єднання шарів:**

Матеріал заготовки:

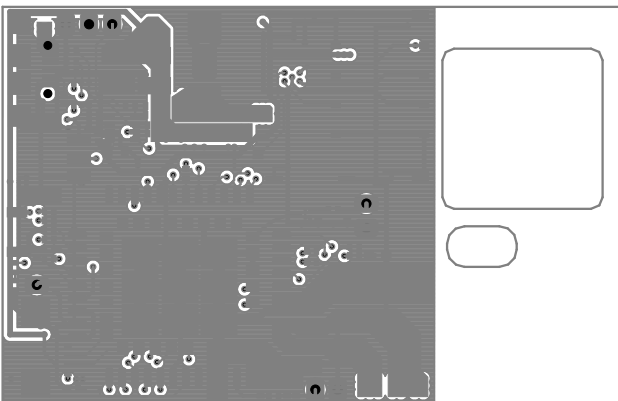
стеклотекстоліт FR-4 fol-k1218/18 Isola.



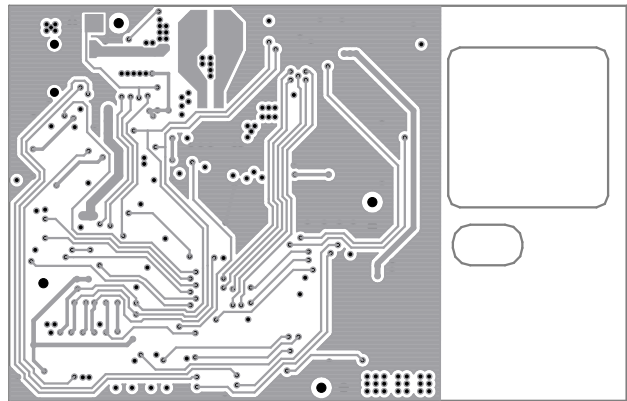
*Перший шар: TOP.*



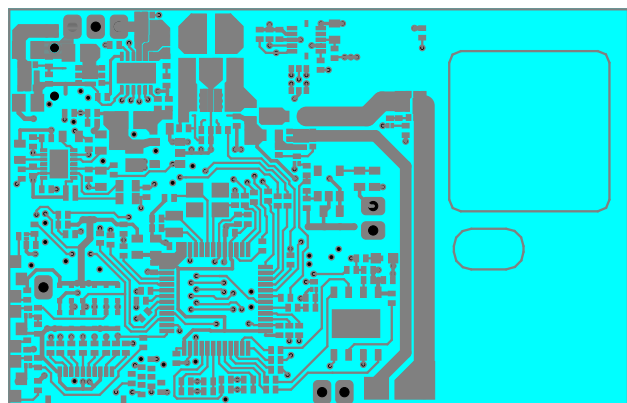
*Другий шар: GND.*



*Третій шар: SignalBot.*



*Четвертий шар: Bottom.*



Із цієї плати видно, наскільки потужні шари земельного ланцюга та напруги живлення. На двосторонній друкованій платі такого досягти не можливо.

**Висновки.** Узагальнюючи зазначене вище, можна зробити висновок, що БДП призначені для розміщення здебільшого мікросхем із великою кількістю виводів. Кількість шарів визначають при поділі електричної схеми на функціональні групи, при цьому бажано, щоб кожна функціональна група розташовувалася на окремому шарі (наприклад, шар із друкованим монтажем ланцюгів живлення, шар із друкованим монтажем нульового потенціалу, шар із друкованим монтажем сигнальних ланцюгів та інші).

Застосування БДП є ефективним методом отримання надійних з'єднань для апаратури з високою щільністю упаковки компонентів. Жоден із основних процесів виготовлення БДП не є особливо важким і не містить будь-яких специфічних джерел ненадійності. Практика свідчить, що у процесі виготовлення спецтехніки впровадження БДП гарантує забезпечення якості, надійності і безпеки спецтехніки, яку виробляє підприємство-виробник.

**Список літератури:**

1. Яцюк Л.А., Косогін О.В., Ущатовський Д.Ю., Лінючева О.В., Фатєєв Ю.Ф. Технологія нанесення неметалевих покриттів і виробництво плат друкованого монтажу : Посібник / НТУ України КПІ. Київ, 2017. С. 249–250.
2. Левін А.П., Сватікова Н.Е. Розрахунок віброміцності конструкції РЕА. М. : МІРЕА, 2003.
3. Ненашев А.П. Конструювання радіоелектронних засобів : Посібник / для радіотехніч. спец. Вузів. Мн. : Висш. шк., 2002. 432 с.
4. Мевіс А.Ф., Несвіжський В.Б., Фефер А.І. Допуски і посадки деталей радіоелектронної апаратури : Довідник / За ред. О.А. Луппова. М. : Радіо і зв'язок, 2004. 152 с.
5. Черкас Н.В. Кількісна оцінка технологічності друкованого вузла : посібник / ELARTU. 2019. С. 11–13.
6. О.П. Вітюк, О.К. Колесницький, С.І. Кормановський, В.Н. Панщенко Виконання креслень електричних схем і друкованих плат : Посібник / Техн. університет Міністерства освіти і науки України. 2001. С. 9–11.

**Lutsko L.I. MULTI-LAYER PRINTED CIRCUIT BOARD AND BASIC METHODS OF THEIR PRODUCTION**

*Most of the special purpose technique used double-sided PCB until recently. But lately the complexity of the devices was increased significantly, the functional density and the mounting density increased as well. The electronic components base has changed fundamentally, that led to reducing of weight and size for the special devices. Because of facts above the new requirements to manufacture have been appeared – the multi-layer boards. So this article is dedicated to the most recent methods of production such PCB.*

*The article does view key parameters and terms of the multi-layer PCBs, lists an additional advantage of the surface mounting and some imperfection of the multi-layer PCBs. Limited repair ability and complexity of design update for the completed product can be attributed to the disadvantage features. Main methods of the production for the multi-layer PCB analysed by the article. The best of methods have to be selected to gain required reliability, quality, security and competitiveness for the production manufacturer.*

*Thus to avoid of defects during the special devices production, the design of PCB should be composed by the most professional engineers. As a result the PCB file from PCAD Software has contain all design documentation to manufacture board parts, compiled drawings, used materials for blanks, the sequence of layers connections and required covering, as well as the technical requirements for the manufacturing process. After the demands above are met the necessary method has to be selected.*

*The article reveals a 4-layer PCB example composed with the PCAD-6 software and manufactured with the metallized through-holes. Sequential scheme of layers connection provided also. The compliance of above does allow to get a quality production.*

**Key words:** *printed circuit board, interlayer transition, contact transition, technological hole, copper etchant (solution), metallization of through-holes.*