

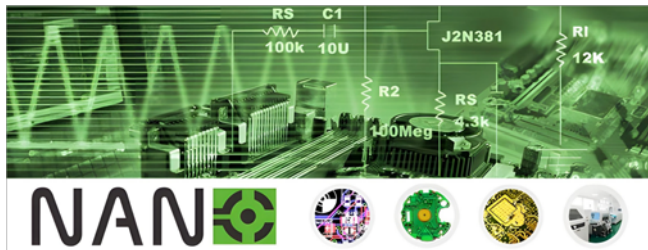
# **PORADNIK PROJEKTANTA PCB**

## **Zasady projektowania i przygotowania do produkcji obwodów drukowanych**

(drugie wydanie poprawione i zaktualizowane)

## Nanotech Elektronik jest profesjonalnym producentem elektroniki

- Produkcja obwodów drukowanych
- Komponenty elektroniczne
- Montaż SMT i THT
- Prototypy
- Serie produkcyjne



### Nasze możliwości technologiczne w zakresie montażu

Produkcja i montaż obwodów drukowanych	
Minimalna ilość zamówienia	od 1 sztuki
Maksymalny rozmiar PCB (X x Y)	automatyczny montaż SMT - 610 mm x 510 mm; montaż THT - bez ograniczeń
Minimalny rozmiar PCB (X x Y)	automatyczny montaż SMT - 50 mm x 50 mm; montaż THT - bez ograniczeń
Montaż podzespołów SMD	
Zakres rozmiarów podzespołów	0,4 mm x 0,2 mm (01005) do 45 mm x 100 mm
Wysokość podzespołów (maks)	15 mm
Rodzaje podzespołów	Chips: 01005, 0201, 0402, 0603, 0805, 1206, 1210, 1812, 2010, 2225, 2512
	IC: PLCC18-PLCC84, LCC20-LCC84, SO, HSOP, SOJ18-SOJ44, MSOP8-MSOP10, SSOP8-SSOP64, HSOP20-HSOP44, TSSOP8-TSSOP80, TSOP28-TSOP56, TQFP32-TQFP176, LQFP32-LQFP256, QFP44-QFP304, CSP40-CSP56 (0,5), BGA46-BGA100 (0,75-0,8), LBGA48-LBGA280 (0,75-0,8), BGA81-BGA324 (1,0) up to LBGA1936 (1,0), BGA208(1,27) up to LBGA1225(1,27), BGA169 (1,5) up to LBGA 400, CBGA121 - CBGA1089
Dokładność montażu (X, Y)	50µm for chips 01005, 0201, 0402
	75µm for chips > 0402, SOIC
	30µm for QFPs

Jakość produktu jest zapewniona przez wielopoziomowy system kontroli na każdym etapie cyklu produkcyjnego. Wyprodukowany produkt będzie w pełni zgodny z dostarczonymi wymaganiami technicznymi i normami międzynarodowego stowarzyszenia producentów elektroniki (IPC).

## **Spis treści**

- 1. Pytania ogólne w sprawie projektowania obwodów drukowanych i przygotowania do produkcji**
- 2. Normy technologiczne produkcji**
  - 2.1 Obwody drukowane jedno/dwustronne
  - 2.2 Obwody drukowane wielowarstwowe
  - 2.3 Obwody drukowane HDI
  - 2.4 Obwody drukowane elastyczne
  - 2.5 Obwody drukowane sztywno-elastyczne
  - 2.6 Obwody drukowane na rdzeniu aluminiowym
- 3. Materiały do produkcji obwodów drukowanych**
- 4. Wykończenia powierzchni**
- 5. Zasady doboru materiałów do obwodów drukowanych**
  - 5.1 Wielowarstwowe i HDI
  - 5.2 Elastyczne i sztywno - elastyczne
  - 5.3 Na rdzeniu aluminiowym
  - 5.4 Obwody drukowane do RF i mikrofalowego zakresu częstotliwości

## Kontakty

W razie jakichkolwiek pytań zachęcamy do kontaktu z nami. Dzięki temu zawsze uzyskają Państwo wyczerpujące informacje zarówno w zakresie projektowania i konstrukcji obwodów, jak również praktyczne informacje określające czas wykonania i dostawy produktów. Zawsze chętnie i z przyjemnością dzielimy się naszą wiedzą oraz doświadczeniem, a także dbamy o najwyższą jakość wykonywanych przez nas projektów, co może potwierdzić grono naszych klientów w Polsce i poza granicami kraju.

Bardzo chętnie przygotujemy szczegółowy kosztorys produkcji obwodów drukowanych, zakupu komponentów elektronicznych, prac montażowych, polegających na obsadzeniu komponentów na płytkach PCB i innych dodatkowych prac. Dzięki temu będą Państwo mogli po przesłaniu do nas dokumentacji technicznej projektu poznać koszt produkcji zarówno pierwszej partii prototypowej, jak i koszt produkcji seryjnej.

Można też skontaktować się z nami telefonicznie pod numerem **+48 338 338 338** lub napisać do nas na adres e-mail: [biuro@nanotech-elektronik.pl](mailto:biuro@nanotech-elektronik.pl) (polska obsługa) lub [office@nanotech-elektronik.com](mailto:office@nanotech-elektronik.com) (w językach angielskim i niemieckim).

Z poważaniem,  
Zespół Nanotech Elektronik Sp. z o.o.

## 1. Pytania ogólne w sprawie projektowania obwodów drukowanych i przygotowania do produkcji

Dla zapewnienia jakości, niezawodności, optymalnych kosztów oraz minimalnych terminów produkcji obwodów drukowanych, już na etapie projektowania topologii należy stosować normy technologiczne produkcji (procesu technologicznego).

Różni producenci obwodów drukowanych mają własne normy technologiczne, które mogą różnić się w dość szerokim zakresie.

Przed przystąpieniem do wykonania topologii obwodu drukowanego, projektant powinien dobrze poznać możliwości producenta, u której planuje jego wykonanie i odpowiednio kierować się nimi przy projektowaniu. Zwykle normy technologiczne dostępne są na stronach internetowych producentów. W razie jakichkolwiek pytań lub wątpliwości, zaleca się kontakt z działem technicznym firmy-producenta obwodów drukowanych w celu uzyskania wyczerpujących informacji bezpośrednio od ich specjalistów.

Zwracamy uwagę na dwie najważniejsze kwestie:

Po pierwsze: jeśli to możliwe należy unikać w projektach obwodów drukowanych używania granicznych parametrów norm technologicznych. Nawet jeśli producent może zapewnić wykonanie obwodu w bardziej rygorystycznych normach lepiej unikać "wąskich gardeł" i bez potrzeby nie zwiększać złożoności projektu.

Po drugie: jeśli tworzą Państwo skomplikowany obwód drukowany z rygorystycznymi wymaganiami parametrów technologicznych należy, wszędzie tam gdzie to możliwe, zaprojektować obszary z elementami topologii z większym marginesem technologicznym.

W ten sposób sformułujemy **złotą zasadę** projektanta: należy zapewnić (jeśli istnieje taka możliwość) maksymalny margines w parametrach technologicznych i starać się unikać „wąskich gardeł” z wartościami progowymi, biorąc pod uwagę możliwości produkcyjne.

Innymi słowy, jeżeli po zakończeniu projektowania topologii widocznie jest, że w niektórych miejscach można zwiększyć szerokość przewodników czy

odstępów, lub zwiększyć średnice otworów przelotek, to zróbcie to Państwo koniecznie. Oczywiście jeśli nie jest to sprzeczne z wymaganiami do właściwości elektrycznych przewodników sygnałowych.

Stosując te działania można obniżyć koszt produktu, zwiększyć jego niezawodność i przyspieszyć czas realizacji.

W **rozdziale 2** przedstawiamy normy technologiczne produkcji obwodów drukowanych firmy Nanotech Elektronik. W przypadku pytań zachęcamy do kontaktu z naszym działem technicznym.

Przestrzegając norm technologicznych produkcji, podczas projektowania topologii obwodów drukowanych, a także działając zgodnie z przedstawionymi poniżej zasadami projektowania, otrzymujecie Państwo projekt obwodu drukowanego odpowiadający zasadom DFM (Design for Manufacturing), co niewątpliwie pozytywnie wpłynie na wszystkie kolejne etapy projektu i pozwoli zaoszczędzić czas, nerwy i pieniądze.

Wymienimy w skrócie podstawowe zasady, których należy przestrzegać przy projektowaniu obwodu drukowanego:

- Nie należy umieszczać przelotki w padach lutowniczych elementów SMD (z wyjątkiem mikro przelotek wytwarzanych laserem – micro Via/ Via-in-pad).
- Zawsze trzeba kontrolować szerokość pierścienia miedzi wokół otworu. Powinna ona odpowiadać wartościom podanym przez producenta (patrz **rozdział 2** - Normy technologiczne).
- W pliku topologii należy podać docelowe średnice otworów po metalizacji, a nie średnicę wiertła - każdy producent ma swój algorytm obliczania kompensacji średnicy otworu w trakcie metalizacji.
- Otwory montażowe spod maski lutowniczej lepiej otwierać (w ogóle wszystkie otwory bez metalizacji) z odstępem co najmniej 0,1 – 0,2 mm.
- Zalecamy otwierać pady spod maski lutowniczej z odstępem 0,1 mm. Dla układów z małym rastrem – 0,05 mm (minimalny pasek maski powinien być nie mniejszy niż 0,1 mm).
- W stosach padów kontaktowych (Padstack) należy poprawnie podawać ustawienia odstępów do maski lutowniczej, albo Używać dla całego obwodu jeden parametr - Odstęp Maski Lutowniczej (Mask Swell). To samo dotyczy ustawień do pasty lutowniczej (Paste Shrink).

- Należy zawsze podawać informacje czy ukrywać przelotki maską lutowniczą.
- Należy zachowywać minimalny odstęp od elementów topologii (ścieżek, punktów lutowniczych, miedzianych poligonów) do krawędzi obwodu drukowanego - polecamy minimalny odstęp 0,5 mm, i na pewno, nie mniej niż 0,3 mm.
- Na wewnętrznych warstwach (zwłaszcza typu płaszczyzn miedzi) warto zachowywać minimalny odstęp od krawędzi miedzianego poligonu do krawędzi płytki nie mniej niż 0,3 mm. W przeciwnym razie przy frezowaniu konturu powstaną miedziane zadziory.
- Pamiętajcie Państwo, że prawdziwe wymiary płytki są ustawiane geometrycznym centrum linii, którą jest narysowany obwód.
- Jeśli używane są poligony, zawsze należy usunąć „martwą miedź” – niepodłączone do żadnych sygnałów obszary miedzi.
- Jeśli na płytce drukowanej są duże miedziane poligony, najlepiej zrobić ich wypełnienie w sposób niejednolity, a w postaci kreskowania - siatki lub kratki. Właściwości elektrycznych poligonu to nie zmieni, ale płytka będzie mniej podatna na skręcanie (wyginanie). Zalecamy równomiernie rozmieszczać duże obszary miedzi na płytce. Wszystko to jest szczególnie ważne dla płytek drukowanych o dużych rozmiarach.
- Również podczas wypełniania miedzianych poligonów polecamy nie wybierać zbyt małych grubości linii i kroku siatki – zwiększa to rozmiar pliku i utrudnia jego opracowanie.
- Punkty lutownicze komponentów SMD małych rozmiarów (0402 i mniej) warto zrobić z zaokrąglonymi narożnikami.
- Trzeba uważać, aby opisy komponentów nie znajdowały się na punktach lutowniczych i otwartych spod maski obszarach miedzi.
- Nie należy używać zbyt małej czcionki do opisów (zalecana przez nas minimalna wysokość wynosi od 0,8 mm oraz minimalna szerokość linii 0,15 – 0,2 mm).
- Nie należy stosować niestandardowej czcionki do opisów na obwodzie drukowanym - może ich nie być na komputerze, na którym plik obwodu będzie otwarty celem przygotowania do produkcji. Jeśli jednak takie są czcionki używane - trzeba dołączyć jej plik do dokumentacji projektu.
- Do rysowania topologii zawsze należy używać standardowe warstwy dostępne w CAD. Jeżeli plik zawiera dodatkowe warstwy, należy do zamówienia dołączyć ich opis i wytłumaczenie.
- Przy projektowaniu wielowarstwowych obwodów drukowanych polecamy zapytać producenta jakie dokładnie struktury warstw może on zapewnić, oraz jakie można zastosować w nich połączenia pomiędzy

warstwami (typy przelotek). W praktyce często zdarza się, że projektanci wprowadzają w projekt kombinację warstw/połączeń, których nie można zrealizować.

- I najważniejsza zasada – w przypadku jakichkolwiek wątpliwości odnośnie do właściwości technologicznych projektowanego obwodu drukowanego, zawsze należy skonsultować się z producentem.

Po tym jak topologia obwodu drukowanego jest zakończona, należy wykonać **kontrolę przestrzegania zasad projektowania** – DRC (Design Rules Check). W każdym nowoczesnym oprogramowaniu CAD jest przewidziana taka kontrola. Algorytm sprawdzania jest następujący: w ustawieniach ustala się podstawowe ograniczenia technologiczne produkcji. Następnie trzeba uruchomić automatyczne sprawdzanie i na podstawie wyników kontroli wprowadzić potrzebne zmiany w topologii.

Projekt obwodu drukowanego można uznać za zakończony tylko po tym, jak wykonana jest **kontrola przestrzegania zasad projektowania** z pomyślnym wynikiem, a także przestrzegane są podstawowe wskazówki projektowania (patrz wyżej).

### **Do czego są potrzebne pliki gerber?**

Niezależnie od oprogramowania w jakim zostały zaprojektowane obwody drukowane (takie pakiety projektowania jak Altium Designer, Eagle, Cadence OrCAD, Mentor Graphics itp.) informacja z Państwa pliku zostanie przekonwertowana do formatu Gerber RS274-X, który obecnie jest standardem i z którym pracują producenci obwodów drukowanych. Nowoczesne maszyny do produkcji obwodów drukowanych odczytują informacje zawarte w plikach gerber potrzebne do produkcji fotoszablonów, wykonania wierceń, frezowania otworów oraz innych operacji.

W celu dodatkowej weryfikacji projektu, zaleca się wygenerować pliki gerber z pakietu projektowania, w którym obwód drukowany został zaprojektowany.

Jeżeli nie uda się Państwu samodzielnie wygenerować plików gerber, zachęcamy skontaktować się z naszym biurem, zrobimy to chętnie dla Państwa.

Jeśli otworzymy pliki gerber wygenerowane z projektu obwodu drukowanego w odpowiednim oprogramowaniu (CAM350, Camtastic, Genesis, Gerber Tools itp.) to na ekranie komputera otrzymamy rzeczywisty obraz każdej warstwy

tego obwodu (warstwy miedzi, masek lutowniczych, opisów). Informacje o otworach (średnice, ich położenie na płytce i ich rodzaje) przechowywane są w plikach wiercenia - NC Drill.

W ten sposób, poprzez przeglądanie plików gerber można ostatecznie sprawdzić projekt obwodu drukowanego pod kątem zgodności z początkowymi wymaganiami.

## 2. Normy technologiczne produkcji

Dla Państwa wygody zebraliśmy wszystkie parametry uwzględniane przy opracowaniu obwodów drukowanych w poniższej tabeli:

### 2.1 Obwody drukowane jedno- i dwustronne

Możliwości technologiczne dla obwodów jedno- i dwustronnych

Parametr	Wartość typowa	Wartość graniczna
Minimalna szerokość przewodnika <sup>1</sup> , mm	0,15	0,1
Minimalny odstęp izolacyjny między przewodnikami <sup>1</sup> , mm	0,15	0,1
Minimalny odstęp między obwodem płytki i przewodnikami, mm	0,5 (cięcie V-cut)	0,25 (frezowanie)
Minimalna średnica otworu, mm	0,3	0,2
Minimalna szerokość pierścienia miedzi wokół otworu, mm	0,2	0,15
Graniczny stosunek średnicy otworu do grubości płytki	1:6	1:12
Minimalny odstęp między punktem lutowniczym a maską lutowniczą, mm	0,1	0,05
Minimalna szerokość odcinka maski między punktami lutowniczymi, mm	0,2	0,1
Minimalna szerokość linii opisu (sitodruk), mm	0,15	0,15
Minimalna wysokość czcionki opisu, mm	1	0,8

## 2.2 Obwody drukowane wielowarstwowe

Możliwości technologiczne dla obwodów wielowarstwowych

Parametr	Wartość typowa	Wartość graniczna
Ilość warstw	4-14	4-28
Minimalna szerokość przewodnika <sup>1</sup> , mm	0,1	0,075
Minimalny odstęp izolacyjny między przewodnikami <sup>1</sup> , mm	0,1 / 0,075	0,075 / 0,075
Minimalny odstęp między obwodem płytki a przewodnikami (na zewnętrznych / wewnętrznych warstwach), mm	0,5 / 0,5 (cięcie V-cut)	0,25 / 0,3 (frezowanie)
Minimalna średnica otworu, mm	0,2	0,15 <sup>3</sup>
Minimalna szerokość pierścienia miedzi wokół otworu (na zewnętrznych / wewnętrznych warstwach), mm	0,15 / 0,1	0,127 / 0,1
Graniczny stosunek średnicy otworu do grubości płytki	1:8	1:12
Możliwość wykonania otworów ślepych	tak	tak
Możliwość wykonania otworów zagrzebanych	tak	tak
Minimalny odstęp między punktem lutowniczym a maską lutowniczą, mm	0,05	0,05
Minimalna szerokość odcinka maski między punktami lutowniczymi, mm	0,1	0,1
Minimalna szerokość linii opisu, mm	0,15	0,15
Minimalna wysokość czcionki opisu, mm	1	0,7

## 2.3 Obwody drukowane HDI

Możliwości technologiczne dla obwodów wielowarstwowych HDI

Parametr	Wartość typowa	Wartość graniczna
Ilość warstw	4-16	4-28
Minimalna szerokość przewodnika <sup>1</sup> , mm	0,1	0,075
Minimalny odstęp izolacyjny między przewodnikami <sup>1</sup> , mm	0,1 / 0,075	0,075 / 0,075
Minimalny odstęp między obwodem płytki a przewodnikami (na zewnętrznych / wewnętrznych warstwach), mm	0,5 / 0,5 (cięcie V-cut)	0,25 / 0,3 (frezowanie)
Minimalna średnica otworu wykonanego laserem, mm	0,1	0,075
Minimalna średnica otworu wykonanego wierceniem, mm	0,2	0,15 <sup>3</sup>
Minimalna szerokość pierścienia miedzi wokół otworu (na zewnętrznych / wewnętrznych warstwach), mm	0,15 / 0,1	0,1 / 0,05 <sup>4</sup>
Graniczny stosunek średnicy otworu do grubości płytki	1:8	1:12
Mikroprzelotki w padach (Via-in-pad)	tak	tak
Możliwość wykonania otworów ślepych	tak	tak
Możliwość wykonania otworów zagrzebanych	tak	tak
Mikroprzelotki ułożone w stos (piętrowe) lub przesunięte (stacked or staggered)	tak	tak
Możliwość wypełnienia otworów miedzą (copper plugged)	tak	tak
Możliwość wypełnienia otworów pastą (resin plugged)	tak	tak
Minimalny odstęp między punktem lutowniczym a maską lutowniczą, mm	0,05	0,025
Minimalna szerokość odcinka maski między punktami lutowniczymi, mm	0,1	0,1
Minimalna szerokość linii opisu, mm	0,15	0,15
Minimalna wysokość czcionki opisu, mm	1	0,7

## 2.4 Obwody drukowane elastyczne

Możliwości technologiczne dla obwodów drukowanych elastycznych

Parametr	Wartość typowa	Wartość graniczna
Ilość warstw	1-2	4
Materiał	poliimid, PET	
Minimalna szerokość przewodnika <sup>1</sup> , mm	0,15	0,1
Minimalny odstęp izolacyjny między przewodnikami <sup>1</sup> , mm	0,15	0,1
Minimalny odstęp między obwodem płytki a przewodnikami, mm	0,5	0,25
Minimalna średnica otworu, mm	0,3	0,2
Minimalny odstęp między punktem lutowniczym a warstwą ochronną (coverlay), mm	0,15	0,15
Możliwość wykonania usztywniacza (stiffener)	tak (poliimid lub FR4) <sup>2</sup>	

## 2.5 Obwody drukowane sztywno-elastyczne

Możliwości technologiczne dla obwodów drukowanych sztywno-elastycznych

Parametr	Wartość typowa	Wartość graniczna
Ilość warstw	4-16	4-28
Minimalna szerokość przewodnika <sup>1</sup> , mm	0,1	0,075
Minimalny odstęp izolacyjny między przewodnikami <sup>1</sup> , mm	0,1	0,075
Minimalny odstęp między obwodem płytki a przewodnikami (na zewnętrznych / wewnętrznych warstwach), mm	0,5 / 0,5 (ciąćcie V-cut)	0,25 / 0,4 (frezowanie)
Minimalna średnica otworu, mm	0,25	0,2

Minimalna szerokość pierścienia miedzi wokół otworu (na zewnętrznych / wewnętrznych warstwach), mm	0,15 / 1	0,127 / 0,1
Mikroprzelotki w padach (Via-in-pad)	tak	tak
Możliwość wykonania otworów ślepych (w sztywnej części)	tak	tak
Możliwość wykonania otworów zagrzebanych (w sztywnej części)	tak	tak
Minimalny odstęp między punktem lutowniczym a maską lutowniczą / powłoką ochronną (coverlay), mm	0,05 / 0,15	0,05 / 0,15
Minimalna szerokość odcinka maski / powłoki ochronnej (coverlay) między punktami lutowniczymi, mm	0,1 / 0,2	0,1 / 0,2
Minimalna szerokość linii opisu, mm	0,15	0,15
Minimalna wysokość czcionki opisu, mm	1	0.8
Możliwość wykonania usztywniacza (stiffener) na części elastycznej	tak (poliimid lub FR4) <sup>2</sup>	

## 2.6 Obwody drukowane na rdzeniu aluminiowym

Możliwości technologiczne dla obwodów drukowanych na rdzeniu aluminiowym

Parametr	Wartość typowa	Wartość graniczna
Ilość warstw	1-2	1-4
Grubość obwodu drukowanego, mm	0,5 – 3,2	
Grubość miedzi, $\mu\text{m}$	35	
Grubość dielektryka, $\mu\text{m}$	50, 75, 100, 150	
Przewodność cieplna, $\text{W} / (\text{m}\cdot\text{K})$	0,6-4	
Wytrzymałość dielektryczna, kV	2-6	
Maksymalny rozmiar, mm	550,0 x 950,0	
Minimalna szerokość przewodnika, mm	0,2	0,15

Minimalny odstęp izolacyjny między przewodnikami, mm	0,2	0,15
Minimalny odstęp między obwodem płytki a przewodnikami, mm	0,5	0,25
Minimalna średnica otworu, mm	1,0	0,6
Minimalna szerokość odcinka między punktami lutowniczymi, mm	0,1	0,05

<sup>1</sup> Tylko dla miedzi o grubości 9 $\mu$ m i 18 $\mu$ m

<sup>2</sup> Grubość usztywniacza na zapytanie

<sup>3</sup> Końcowa grubość PCB musi wynosić nie więcej niż 1,2mm oraz maksymalna ilość warstw dla tego typu otworów to 6

<sup>4</sup> 0,05 mm tylko do otworów laserowych

Uwagi:

Typowa grubość miedzi w przelotkach wynosi do około 20 $\mu$ m.

Grubość warstwy złota dla powłoki typu **Złoto Immersyjne** wynosi 0,05-0,11 $\mu$ m, dla powłoki typu **Złoto galwaniczne (Gold Fingers)** - 0,07-1,27 $\mu$ m

### 3. Materiały do produkcji obwodów drukowanych

Obwody drukowane zwykle zawierają następujące elementy: podstawowy materiał dielektryczny, materiał wzmacniający - prepreg, stosowany jako warstwy dielektryczne w przypadku płytek wielowarstwowych i folia miedziana.

Przy doborze dielektryka najczęściej brane pod uwagę parametry to: **temperatura zeszklenia Tg, stała dielektryczna Dk i współczynnik strat dielektrycznych Df** (dwa ostatnie parametry są szczególnie ważne w przypadku obwodów drukowanych przeznaczonych do zakresów o bardzo wysokiej częstotliwości oraz mikrofalowych).

**Temperatura zeszklenia** to temperatura przejścia materiału ze stanu stałego do stanu plastycznego. Zwykle temperatura zeszklenia oznacza przedział temperatur, na przykład 135 - 170 °C dla FR4. Im wyższa temperatura zeszklenia żywicy w laminacie szklano-epoksydowym, tym mniejszy współczynnik rozszerzalności liniowej dielektryka prowadzący do powstania wad w obwodach drukowanych.

Kolejną ważną cechą materiału jest **stała dielektryczna** (względna przenikalność elektryczna) - stosunek pojemności testowego kondensatora, w którym podany materiał jest używany jako dielektryk, do pojemności tego samego kondensatora powietrznego. Tę cechę należy wziąć pod uwagę (szczególnie w przypadku obwodów drukowanych projektowanych do zakresów o wysokiej częstotliwości), ponieważ wysoka wydajność nowoczesnych układów elektronicznych stawia specjalne wymagania dotyczące parametrów, takich jak czas opóźnienia sygnału i pojemność linii sygnałowych. Szybkość transmisji sygnałów w przewodnikach w obwodzie drukowanym zależy głównie od stałej dielektrycznej. Wartości stałej dielektrycznej dla nowoczesnych materiałów używanych podczas produkcji obwodów drukowanych mieszczą się w granicach 2,2 — 10,2.

**Współczynnik strat dielektrycznych** w materiale izolacyjnym jest definiowany jako stosunek całkowitej straty mocy w tym materiale do iloczynu napięcia i prądu w kondensatorze, w którym materiał ten jest używany jako dielektryk. Współczynnik strat zmienia się wraz ze zmianą częstotliwości, zawartości żywicy w laminacie, temperatury i wilgotności. Im mniejszy współczynnik strat, tym lepszy materiał. W tym przypadku współczynnik strat dielektrycznych związany jest z całkowitą stratą mocy sygnału w liniach sygnałowych. Zwykle wzrasta wraz z częstotliwością. Im większa jest częstotliwość i odpowiednio dobrany współczynnik strat dielektrycznych, tym bardziej zniekształcony będzie sygnał.

W przypadku obwodów drukowanych na metalowym rdzeniu głównymi parametrami są **przewodność cieplna** (zdolność materiału do przewodzenia energii cieplnej z bardziej rozgrzanych obszarów do mniej rozgrzanych) i **napięcie przebicia** (jest to napięcie, przy którym opór elektryczny właściwy materiału gwałtownie spada). Trzeba pamiętać, że napięcie robocze układu powinno być niższe niż napięcie przebicia 2,5 – 4 razy.

Poniżej można zapoznać się z opisami i typowymi parametrami podstawowych materiałów stosowanych w naszych fabrykach.

## Materiały do standardowych obwodów drukowanych

Materiał	Opis	Tempe- ratura zeszkle- nia T <sub>g</sub>	Stała dielekt- ryczna D <sub>k</sub>	Producenci i marki
FR4	Skrót FR pochodzi od Fire Retardant. Laminat wykonany jest z włókna szklanego z żywicą epoksydową. Jest to najczęściej używany materiał do obwodów drukowanych.	125-140°C	4,4-4,8	GoldenMax GF21 KingBoard KB6160 Nouya NY1135 Nouya NY1140 Nouya NY2140 Shengyi S1141
FR4 Mid T <sub>g</sub>	Laminat szklany o nieco zwiększonym parametrze T <sub>g</sub> do produkcji dwustronnych i wielowarstwowych (z małą ilością warstw) obwodów drukowanych. Jest ulepszoną wersją standardowego materiału FR-4.	150-155°C	4,6-4,8	Nanya NP-155F Nouya NY2150 Shengyi S1000 Shengyi S1000H
FR4 High T <sub>g</sub> (>170°C)  FR5	Laminat szklany na bazie mieszanek modyfikowanych żywic epoksydowych. Posiada podwyższoną odporność termiczną i większą stabilność parametrów przy wysokich temperaturach. Zalecany do stosowania w wielowarstwowych obwodach drukowanych oraz obwodach o wysokiej gęstości przewodników (HDI).	170-185°C	4,1-4,8	ITEQ IT180 KingBoard KB6167F Nanya NP-175FM Nouya NY1170 Nouya NY2170 Shengyi S1000-2
FR4 High CTI (>600V)	Materiał na bazie modyfikowanych żywic epoksydowych. Jest stosowany do obwodów drukowanych z wysokimi poziomami napięć roboczych w warunkach wysokiej wilgotności.	125-135°C	4,5-5,0	GoldenMax GF11-T6 Nouya NY1600 Shengyi S1600 Kingboard KB6165 ITEQ IT158A ITEQ IT180A Isola DE104KF
FR4 Halogen Free (bezhalog- enowy)	Ten rodzaj laminatu nie zawiera halogenu, antymonu, fosforu, itp., nie wydziela szkodliwych substancji podczas spalania.	140-150°C	4,22-4,7	KingBoard KB6165G Shengyi S1155
CEM-1	CEM-1 (Composite Epoxy Material) to rodzaj laminatu wykonanego z połączenia tkaniny z włókna szklanego, żywicy epoksydowej i i warstw papieru. Laminaty CEM-1 są	90°C	4,2	KingBoard KB5150

	zwykle używane w produktach, w których PCB nie są narażone na trudne środowisko, np. w elektronice użytkowej.			
CEM-3	CEM-3 to bardziej zaawansowany i trwały materiał PCB w porównaniu do CEM-1 i jest w stanie wytrzymać nieco wyższe temperatury i bardziej trudne warunki.	125°C	4,4-4,8	KingBoard KB7150
Rigid PI (poliimid)	Laminat z poliimidu do produkcji sztywnych obwodów drukowanych. Składa się z podłoża z poliimidu oraz kilku warstw prepregów (PP).	>250°C	4,2-4,4	Arlon 33N Arlon 85N Shengyi SH260

### Materiały do elastycznych i sztywno-elastycznych obwodów drukowanych (Flex/Rigid-Flex PCB)

Materiał	Opis	Temperatura zeszklenia Tg	Stała dielektryczna Dk	Producenci i marki
PI (poliimid)	Folie o małej grubości z polimeryzowanego poliimidu. Materiał do produkcji elastycznych i sztywno-elastycznych obwodów drukowanych.	280-350°C	3,2-3,6	Panasonic RF770 Panasonic RF775 Shengyi SF302 Shengyi SF305
PET (polietylen tereftalanowy)	Folie z polimeru termoplastycznego, należącego do klasy polieterów. Materiał posiada wysoką wytrzymałość mechaniczną, jest odporny na wielokrotne odkształcenia.	100°C	3,3	Jiu Jiang LPET

## Materiały do bardzo wysokich częstotliwości i zakresów mikrofalowych

Materiał	Opis	Współczynnik strat dielektrycznych $D_r$	Stała dielektryczna $D_k$	Producenci i marki
PTFE	Polimer polietylen tetrafluoroetylenowy wzmocniony włóknem szklanym. Materiał znany z wysokiej niezawodności, wytrzymałości elektrycznej, odporności na wilgoć i możliwości działania w wysokich temperaturach.	0,0004-0,0078	2,17-10,2	Arlon DiClad series Rogers RT\duroid 5870 Rogers RT\duroid 5880 Taconic TLY Series
PTFE z wypełnieniem ceramicznym	Polimer na bazie poliwęglanów (żywic węglowych) z drobnym wypełniaczem ceramicznym, wzmocniony włóknem szklanym.	0,0011-0,0040	2,94-10,2	Arlon 25N/25FR Rogers RO3000/ RO4000 series Rogers RO4400 prepreg Taconic RF-10 Taconic RF-35 Taconic RF-60A Taconic TSM-DS3M
Kompozyty ceramiczne	Materiały kompozytowe oparte na ceramice z organicznymi spoiwami charakteryzując się niskimi stratami dielektrycznymi.	0,0016-0,0023	3,0-12,85	Rogers TMM series Taconic HF-300
FR4 High Frequency	Grupa modyfikowanych laminatów z włókna szklanego przeznaczonych do działania w zakresach o wysokiej częstotliwości.	0,003-0,010	3,5-3,6	Shengyi S7136H Tuc TU-872 SLK

## Materiały do obwodów drukowanych na podłożu metalowym

Materiał	Opis	Przewodność cieplna (W/m*K)	Napięcie przebicia kV	Producenci i marki
Aluminium CCL	Jest to rodzaj laminatu miedzianego (Aluminium Clad Copper Laminate), który składa się z podłoża z aluminium oraz cienkiej warstwy dielektrycznej, na której znajduje się warstwa miedzi. Ta konstrukcja pozwala na lepsze odprowadzanie ciepła, co jest szczególnie ważne w zastosowaniach wymagających dużej mocy.	0,6-3,0	3-5	Boyu AL-01-P Boyu AL-01-A Boyu AL-01-B Boyu AL-01-L GoldenMax GL12

## Inne materiały do obwodów drukowanych

Materiał	Opis	Temperatura zeszklenia T <sub>g</sub>	Stała dielektryczna D <sub>k</sub>
PP (prepreg)	Prepreg to materiał kompozytowy, składający się z włókna szklanego lub innego rodzaju materiału wzmacniającego, który został zaimpregnowany częściowo utwardzoną żywicą. Żywica jest zazwyczaj epoksydowa, ale może być również poliimidowa lub innym rodzajem polimeru.	130 -180°C	2,8-4,6
RCC	Skrót pochodzi od Resin Coated Copper, czyli folia miedziana z warstwą żywicy. Używany jako materiał podstawowy do warstw obwodów drukowanych wielowarstwowych, w tym obwodów w technologii HDI.	150 -170°C	3,5-4,4
Folia miedziana	Jest to materiał w postaci cienkich folii miedzianych, dostępnych zwykle w rolkach. Folie miedziane stosuje się do tworzenia stosów warstw obwodów drukowanych metodą prasowania razem z warstwami prepregów i innych laminatów.	-	-

Karty katalogowe materiałów można pobrać na naszej stronie:  
[www.nanotech-elektronik.com/index.php/pl/info/materialy](http://www.nanotech-elektronik.com/index.php/pl/info/materialy)

Poniżej podajemy szczegółowy opis najczęściej stosowanych w produkcji obwodów drukowanych laminatów i kompozytów.

## **FR-1/FR-2**

Klasa materiałów FR-1 i FR-2 według klasyfikacji NEMA (National Electrical Manufacturers Association, USA). Takie materiały kompozytowe, produkowane są z podstawy fenolowo-papierowej i stosują się tylko do produkcji jednostronnych płytek drukowanych. FR-1 i FR-2 mają podobne parametry, FR-1 różni się od FR-2 wyłącznie wyższą temperaturą zeszklenia. Wobec podobieństwa parametrów i zakresu zastosowania FR-1 i FR-2, większość producentów materiałów produkuje tylko jeden z tych materiałów, najczęściej FR-1. Materiały doskonale nadają się do obróbki mechanicznej (frezowanie, wycinanie). Klasa palności UL94-V0.

Dzieli się na następujące podklasy:

- standardowy;
- bezhalogenowy, bez zawartości fosforu i antymonu, nietoksyczny;
- z normowanym indeksem CTI  $\geq 400$ ,  $\geq 600$ ;
- wodoodporny;

## **FR-4**

Rodzina materiałów pod ogólną nazwą FR-4 według klasyfikacji NEMA. Materiały te są najbardziej rozpowszechnione do produkcji jednostronnych, dwustronnych oraz wielowarstwowych obwodów drukowanych o podwyższonych wymaganiach w zakresie wytrzymałości mechanicznej. FR-4 stanowi materiał kompozytowy na bazie tkaniny z włókna szklanego (laminat szklano-epoksydowy). Zazwyczaj jest w kolorze mleczno-żółtym lub przezroczysty, standardowy zielony kolor nadaje mu maska lutownicza nanoszona na powierzchnię obwodu drukowanego. Klasa palności UL94-V0.

W zależności od właściwości i zastosowania FR-4 dzieli się na następujące podklasy:

- standardowy, z temperaturą zeszklenia  $T_g \sim 130^\circ\text{C}$ , z ultrafioletową blokadą (UV blocking) lub bez niej. Najbardziej rozpowszechniony i szeroko stosowany typ, równocześnie najtańszy z FR-4;
- z wysoką temperaturą zeszklenia,  $T_g \sim 170^\circ\text{C}$ -  $180^\circ\text{C}$ , nadaje się do technologii bezołowiowego cynowania i lutowania;
- bezhalogenowy, nadaje się do technologii bezołowiowego cynowania i lutowania;
- z normowanym indeksem CTI  $\geq 400$ ,  $\geq 600$ ;

### **CEM-1**

Klasa materiałów CEM-1 według klasyfikacji NEMA. Takie materiały kompozytowe, składają się z podstawy fenolowo-papierowej z dwoma zewnętrznymi warstwami tkaniny szklanej. Zazwyczaj w kolorze mleczno-białym lub mleczno-żółtym. Są niekompatybilne z procesem metalizacji przelotek, dlatego stosują się je tylko do produkcji jednostronnych płytek drukowanych. Właściwości dielektryczne zbliżone do FR-4, właściwości mechaniczne są nieco gorsze. CEM-1 jest dobrą alternatywą FR-4 do produkcji jednostronnych płytek drukowanych, kiedy cena jest czynnikiem decydującym. Materiał doskonale nadaje się do obróbki mechanicznej (frezowanie, wycinanie). Klasa palności UL94-V0.

Dzieli się na następujące podklasy:

- standardowy;
- wysokotemperaturowy, nadaje się do technologii bezołowiowego cynowania i lutowania;
- bezhalogenowy, bez zawartości fosforu i antymonu;
- z normowanym indeksem CTI  $\geq 600$ ;
- wodoodporny, z podwyższoną stabilnością wymiarów;

### **CEM-3**

Rodzina materiałów CEM-3 według klasyfikacji NEMA. Materiał kompozytowy na podłożu z włókna szklanego epoksydowego zazwyczaj w kolorze mleczno-białym lub przezroczysty. Jest często używany do produkcji dwustronnych płytek

drukowanych. Pod względem swoich właściwości bardzo zbliżony do FR-4 i różni się w zasadzie tylko mniejszą wytrzymałością mechaniczną. Jest tańszą alternatywą FR-4 do większości zastosowań. Materiał doskonale nadaje się do obróbki mechanicznej (frezowanie, wycinanie). Klasa palności UL94-V0.

W zależności od właściwości i zastosowania CEM-3 dzieli się na następujące podklasy:

- standardowy, z ultrafioletową blokadą (UV blocking) lub bez niej;
- wysokotemperaturowy, nadaje się do technologii bezołowiowego cynowania i lutowania;
- bezhalogenowy, bez zawartości fosforu i antymonu;
- z normowanym indeksem CTI  $\geq 600$ ;

### **PTFE (Teflon)**

Materiały na bazie związków fluorowęglowodorowych wzmocnionych włóknem szklanym. Obwody drukowane wykonane na takich materiałach mają zwiększoną niezawodność, wytrzymałość elektryczną, odporność na wilgoć i możliwość pracy w wysokich temperaturach. Materiały te są szeroko stosowane w produkcji liniowych wzmacniaczy mocy, anten do systemów komunikacyjnych, w tym satelitarnych, jak i innych elementów komunikacji radiowej. Ponadto materiały znalazły zastosowanie w szybkich aplikacjach cyfrowych, w których priorytetem jest integralność i bezbłądność sygnałów.

### **RO3000**

Seria materiałów opracowanych do szerokiego zastosowania na początku lat 90-tych XX wieku. Materiały te mają doskonałe właściwości elektryczne w zakresie bardzo wysokich częstotliwości. Współczynnik rozszerzenia cieplnego (CTE - Coefficient of Thermal Expansion) wzdłuż osi X i Y dla tych materiałów jest zbliżony pod względem wartości do CTE miedzi i FR4, co umożliwia wytwarzanie niezawodnych zestawów hybrydowych RO3000 / FR4. Niskie straty dielektryczne ( $D_f \sim 0,0013$  przy częstotliwości 10 GHz) stanowią wielkie zalety przy wykorzystaniu laminatów tej serii w urządzeniach mikrofalowych.

## **RO4000**

To seria materiałów do zakresu dużej częstotliwości, które były opracowane, aby, z jednej strony zapewnić jakościowe parametry do zakresów bardzo wysokich częstotliwości, porównywalne z materiałami zawierającymi policzterofluoroetylen (PTFE), a z drugiej maksymalnie uprościć technologię produkcji płytek, czyli uczynić ją zgodną z tradycyjną technologią obróbki zbrojonych laminatów (FR4). Materiały RO4000 stanowią włókno szklane z wysoką temperaturą zeszklenia ( $T_g \sim 280 \text{ }^\circ\text{C}$ ) z wypełnieniem z polimeru termoutwardzalnego z dodatkiem ceramiki.

## **Poliimid**

Stanowi elastyczną polimerową folię odgrywającą rolę podłoża elastycznych płytek drukowanych. Istnieje szereg formuł poliimidu pod handlowymi markami Kapton, Rogers, Dupont. Zalety: doskonała elastyczność we wszystkich temperaturach, dobre właściwości elektryczne, doskonała odporność chemiczna (z wyjątkiem gorących stężonych zasad), bardzo dobra wytrzymałość na rozrywanie. Niektóre rodzaje poliimidów mają dodatkowe zalety (współczynnik rozszerzenia zgodny z miedzią). Temperatura robocza od  $-200^\circ\text{C}$  do  $+300^\circ\text{C}$ . Wady: wysokie wchłanianie wody (do 3% wagowo), stosunkowo wysoka cena. Pomimo wysokiej temperatury zeszklenia, wysokotemperaturowe właściwości płytek z poliimidów ograniczają spoiwa do sklejanania warstw.

## **PET**

Jako materiał elastyczny można również stosować politereftalan etylenu (PET). Jednak ze względu na niską temperaturę topnienia możliwości lutowania na tym materiale są znacznie ograniczone. PET jest dobrym dielektrykiem, ma wysoką odporność chemiczną na kwasy i zasady oraz ma zwiększoną odporność na parę wodną. Właściwości mechaniczne folii PET powlekanej miedzią są lepsze pod względem wytrzymałości na rozdarcie, stałej dielektrycznej i rezystancji izolacji. Zakres temperatur pracy od  $-60 \text{ }^\circ\text{C}$  do  $+105 \text{ }^\circ\text{C}$

Folie te mają również następujące zalety:

- Jest to termoplastyk niskotemperaturowy (łatwo formuje się)
- Ma bardzo dobrą elastyczność
- Dobre właściwości elektryczne

Wady:

- Ograniczone lutowanie (ma niską temperaturę topnienia)
- Nie może być stosowany w bardzo niskich temperaturach (staje się kruchy)
- Niewystarczająca stabilność wymiarowa

#### 4. Wykończenia powierzchni

Powłoki wykończeniowe nanosi się w procesie produkcji obwodów drukowanych na punkty lutownicze i inne nieosłonięte maską elementy drukowanego rysunku. W nowoczesnych produkcjach stosowane są różnorodne wykończenia powierzchni różniące się swoimi właściwościami.

Do wyboru wykończeń powierzchni i określenia ich parametrów istnieje cały szereg standardów, z których najbardziej rozpowszechnione są trzy normy, opracowane przez stowarzyszenie IPC i dające zalecenia dotyczące zastosowania różnych wykończeń:

**J-STD-003 Solderability Tests for Printed Boards** - określa metody testowania lutowności komponentów;

**IPC 2221 Generic Standard on Printed Board Design** - określa podstawowe wymagania dotyczące konstrukcji płytek drukowanych;

**IPC-7095A Design and Assembly Process Implementation for BGAs** - opisuje użycie układów BGA.

Najbardziej rozpowszechnionymi wykończeniami powierzchni obwodów drukowanych są:

- **HAL** lub **HASL** (od angielskiego Hot Air Leveling lub Hot Air Solder Leveling - wyrównywanie gorącym powietrzem) z wykorzystaniem lutów na bazie stopu cyna-ołów (Sn-Pb) i wyrównywaniem nożem powietrznym. Ta powłoka wykończeniowa jest obecnie najbardziej rozpowszechnioną, najbardziej znaną i od dawna używaną. Zapewnia doskonałą lutowność obwodów drukowanych, nawet po długotrwałym przechowywaniu. Proces produkcyjny powłoki HAL jest prosty i niedrogi. Powłoka tego typu jest kompatybilna ze wszystkimi metodami montażu - metodą ręczną, na fali, lutowaniem w piecu i in. Negatywną cechą tego rodzaju powłoki wykończeniowej jest obecność ołowiu - jednego z najbardziej toksycznych metali, zabronionego do stosowania na

terenie Unii Europejskiej dyrektywą RoHS (Restriction of Hazardous Substances Directives - dyrektywa o zakazie wykorzystania niebezpiecznych i toksycznych substancji), a także to, że powłoki HAL nie spełniają warunków płaskości powierzchni padów do montażu podzespołów elektronicznych o bardzo wysokim stopniu integracji (z małym rastrem). Powłoka jest nieprzydatna do technologii COB - Chip on board.

- **HASL bezołowiowy** - wariant powłoki HAL, ale z wykorzystaniem bezołowiowych lutów, np. Sn100, Sn96,5/Ag3,5, SnCuNi, SnAgNi. Powłoka całkowicie spełnia wymagania RoHS i zachowuje dobrą lutowność. Tą powłokę wykończeniową nanosi się w wyższej temperaturze niż tradycyjne powłoki HASL, co wymaga podwyższonych parametrów podstawowych materiałów do produkcji obwodów drukowanych i komponentów elektronicznych pod kątem temperatury. Powłoka jest kompatybilna ze wszystkimi sposobami montażu i lutowania zarówno z wykorzystaniem bezołowiowych lutów (co jest najbardziej zalecane), jak i z wykorzystaniem lutów cynowo-ołowianych, że wymaga jedynie prawidłowego doboru temperatury lutowania. W porównaniu z powłoką HASL na bazie SnPb, powłoka ta jest droższa z powodu wyższej ceny lutów bezołowiowych, a także z powodu większej energochłonności.

- **Złoto immersyjne lub ENIG (Electroless Nickel / Immersion Gold)** - powłoka z rodziny Ni/Au. Grubość powłoki: Ni 3 – 5,0  $\mu\text{m}$ , Au 0,06 – 0,1  $\mu\text{m}$ . Powłokę tworzy się metodą chemiczną i stanowi cienką złotą warstwę nanoszoną na podkładową warstwę niklu. Funkcją złota jest zapewnienie dobrej lutowności i ochrona niklu przed korozją, gdzie nikiel pełni funkcję bariery zapobiegającej wzajemnej dyfuzji złota i miedzi. Ta powłoka zapewnia wysoką płaskość padów lutowniczych, co czyni ją niezastąpioną przy zastosowaniu podzespołów wysokiego stopnia integracji (z małym rastrem padów). Powłoka całkowicie spełnia wymagania RoHS. Jest kompatybilna ze wszystkimi metodami montażu i lutowania. Do minusów można zaliczyć wyższą cenę, a także możliwość powstania wad typu „black pad” - które powodują problemy przy montażu układów BGA. Black pad to defekt na powierzchni metalowych padów, gdzie warstwa niklu pod powłoką złotą ulega degradacji, prowadząc do nieprawidłowego kontaktu elektrycznego. Objawia się ciemnym obszarem, który może prowadzić do problemów z wydajnością i niezawodnością płytki drukowanej.

- **Gold Flash** - powłoka z rodziny Ni/Au. Grubość powłoki: Ni 3-7  $\mu\text{m}$ , Au 0,05-0,2  $\mu\text{m}$ . Nanoszona jest metodą chemiczną. Powłoka bardzo łatwa w procesie technologicznym i posiada dobre parametry przechowywania i lutowności. Zapewnia wysoką płaskość padów lutowniczych, co czyni ją niezastąpioną przy zastosowaniu układów z małym rastrem. Powłoka ta całkowicie spełnia wymagania RoHS. Jest kompatybilna ze wszystkimi metodami montażu i lutowania, a także nadaje się do technologii COB - Chip on board. Powłoka Gold Flash dobrze sprawdza się przy lutowaniu lutami bezołowiowymi, ponieważ utrudnia proces kruszenia lutowanych połączeń spowodowany przez powstawanie związków międzymetalicznych cyna-miedź.

- **Gold Fingers** - powłoka z rodziny Ni/Au. Grubość powłoki: Ni 5-9  $\mu\text{m}$ , Au 0,2-1,0  $\mu\text{m}$ . Tworzy się metodą elektrochemiczną (galwanizacja). Stosuje się do pokrycia złotem styków końcowych obwodu drukowanego. Ma wysoką wytrzymałość mechaniczną, odporność na ścieranie i niekorzystne oddziaływania środowiska. Niezastąpiona tam, gdzie ważne jest zapewnienie niezawodnego styku elektrycznego o długiej trwałości.

- **Cyna immersyjna** - powłoka chemiczna spełniająca wymagania RoHS i zapewniająca wysoką płaskość padów lutowniczych. Powłoka ta jest kompatybilna ze wszystkimi sposobami lutowania. Wbrew rozpowszechnionej opinii opartej na stosowaniu przestarzałych powłok, cyna immersyjna zapewnia dobrą lutowność po długotrwałym przechowywaniu - okres gwarancyjny przechowywania wynosi 1 rok (lutowność powłoki zachowuje się do kilku lat). Takie długotrwałe terminy zachowania dobrej lutowności zapewnia wprowadzenie podkładowej warstwy ze związków metaloorganicznych w postaci bariery między miedzią a cyną. Barierna warstwa podkładowa zapobiega wzajemnej dyfuzji miedzi i cyny, powstaniu związków międzymetalicznych i rekrytalizacji cyny. Taka powłoka wykończeniowa przy grubości 1  $\mu\text{m}$ , ma równą, płaską powierzchnię, zachowuje lutowność i możliwość kilku ponownych lutowań nawet po długotrwałym przechowywaniu, posiadając cechy całkowicie spełniające wszystkie wymagania do przechowywania i lutowności obwodów drukowanych.

- **OSP** (od angielskiego Organic Solderability Preservatives) - grupa organicznych powłok wykończeniowych, nanoszonych bezpośrednio na miedź padów lutowniczych i zapewniających ochronę miedzianej powierzchni przed korozją w procesie przechowywania i lutowania. Niedroga powłoka

wykończeniowa, ma równą, płaską powierzchnię, dobrze nadaje się do montażu powierzchniowego i spełnia wymagania RoHS. jest To dobra alternatywa dla podstawowej powłoki HAL. Niestety ma ograniczony okres przechowywania (kilka miesięcy) i szybko degraduje się w procesie lutowania wieloprzebiegowego.

## **5. Zasady projektowania i wyboru materiałów obwodów drukowanych**

Typowe konstrukcje płytek drukowanych oparte są na zastosowaniu standardowego laminatu szklano-epoksydowego typu FR4, z roboczą temperaturą zazwyczaj od -50 do + 110°C, temperaturą zeszklenia  $T_g$  około 135°C. Stała dielektryczna  $D_k$  może wynosić od 3,8 do 4,6 w zależności od dostawcy i rodzaju materiału. Przy podwyższonych wymaganiach w zakresie odporności na działanie ciepła lub przy montażu płytek w technologii bezołowiowej (temp. do 260°C) stosuje się wysokotemperaturowy FR4 High  $T_g$  lub FR5.

Przy wymaganiach dotyczących stałej pracy w wysokich temperaturach lub przy gwałtownych wahaniami temperatury stosuje się poliimid. Oprócz tego poliimid wykorzystuje się do produkcji płytek o podwyższonej niezawodności, do zastosowań wojskowych, a także w przypadkach, gdy są potrzebne płytki elastyczne lub sztywno-elastyczne.

Dla płytek do zakresu bardzo wysokiej częstotliwości (b.w.cz) - powyżej 1 GHz, stosuje się poszczególne warstwy odpowiedniego materiału do b.w.cz. lub płytka może być całkowicie wykonywana z materiału b.w.cz., na przykład materiałów z rodziny Rogers lub innych.

W przypadku użycia podzespołów elektronicznych wydzielających znaczną moc cieplną (na przykład LED-ów o dużej mocy) są wykorzystywane obwody drukowane zrobione na metalowym podłożu z aluminium lub z miedzi.

### **5.1 Obwody drukowane wielowarstwowe oraz HDI**

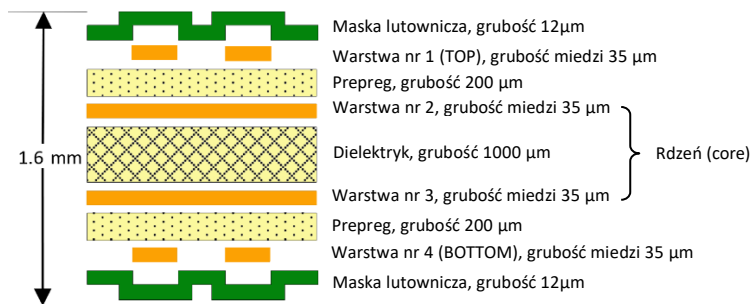
Wielowarstwowe płytki składają się z jednego lub kilku rdzeni (cienki laminat szklano-epoksydowy z dwoma warstwami miedzi), kilku warstw prepregów oraz

zewnątrznych warstw miedzi w postaci miedzianej folii. Prepregi są używane do sklejania wszystkich warstw z sobą.

Po sprasowaniu w wysokiej temperaturze wszystkich warstw, otrzymuje się podstawę do obwodu wielowarstwowego, w której wierce się otwory, a następnie robi się w nich metalizację.

Poniżej podane najbardziej typowe konstrukcje wielowarstwowych obwodów drukowanych:

**Cztery warstwy typ I**



**Cztery warstwy typ II**



Płytkę typu I składa się z jednego rdzenia i dwóch dodatkowych warstw miedzi. Przy takiej konstrukcji można wykonać otwory pomiędzy warstwami 1-2-3-4

(przelotowe) oraz 2-3 (zagrzebane). Jest to najbardziej rozpowszechniony wariant czterowarstwowych płytek i jednocześnie najtańszy.

Płytką typu II to jest tak zwana dwu rdzeniowa płytka wielowarstwowa. Jest ona trudniejsza w wykonaniu, składa się z dwóch rdzeni a otworami można połączyć warstwy 1-2-3-4 (przelotowe) oraz 1-2 (ślepe) i 3-4 (ślepe).

W przypadku większej ilości warstw płytki mogą się składać z dwóch, trzech, czterech i więcej rdzeni, odpowiedniej ilości warstw miedzi oraz łączących je prepregów. Trzeba jedynie pamiętać zasadę – otwory uda się zrobić wyłącznie pomiędzy warstwami miedzi na rdzeniu lub przygotowanego pakietu rdzeni i przyklejonymi za pomocą prepregów warstwami miedzi.

Trzeba dodać, że na przygotowany pakiet z otworami z metalizacją można dodatkowo nałożyć kolejne warstwy miedzianej folii lub rdzeni i ponownie zrobić przelotowe otwory z metalizacją. Będzie to bardziej skomplikowana konstrukcja z powodu kilkakrotnych etapów wiercenia otworów oraz metalizacji. Taka konstrukcja obwodu drukowanego będzie mogła zawierać wszystkie typy otworów – przelotowe, ślepe i zagrzebane. Jest to rozwiązanie rzadko stosowane z powodu wysokich wymagań technicznych stawianych ze strony skomplikowanych projektów.

Przy wyborze struktury warstw zazwyczaj używane są kombinacje różnych prepregów oraz rdzeni.

Najbardziej rozpowszechnionymi prepregami są:

Prepreg	106	1080	2113	3313	2116	7628
Grubość, mm	0,035	0,065	0,075	0,095	0,105	0,175

Rdzenie mogą być o następujących grubościach (w mm): 0,05; 0,075; 0,1; 0,13; 0,15; 0,18; 0,21; 0,25; 0,3; 0,36; 0,41; 0,45; 0,51; 1,0; 1,2.

Miedziana folia na rdzeniach (taka sama z obu stron) w  $\mu\text{m}$ : 9; 12; 18; 35; 50; 70; 100; 150; 210.

Do wewnętrznych warstw lepiej używać miedzi o grubości nie mniejszej niż 35  $\mu\text{m}$ .

Na etapie projektowania wielowarstwowego obwodu drukowanego trzeba głównie wybrać odpowiednią ilość warstw oraz typy otworów łączących różne warstwy. Wybór prepregów i rdzeni najlepiej pozostawić producentowi obwodów drukowanych, który dobierze je uwzględniając potrzeby zamawiającego (ostateczna grubość płytki, wymagania impedancji i inne), a także grubość dostępnych materiałów.

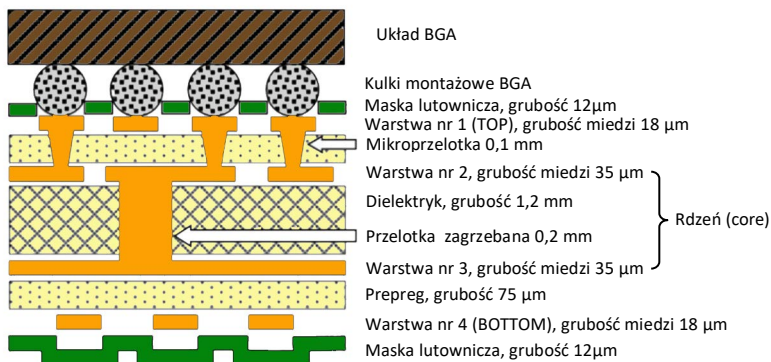
W przypadku gdy są używane podzespoły elektroniczne z bardzo małym rastrem padów (na przykład układy mikro BGA z rastrem mniejszym niż 0,5 mm) często stosuje się technologię HDI – High Density Interconnections, czyli obwody drukowane zawierające bardzo cienkie ścieżki (do 0,076 mm szerokości) oraz otwory o średnicy do 0,1 mm. Takie otwory można robić bezpośrednio w padach do układów BGA (via in pad) bez ryzyka problemów lutowniczych. Również w celu podwyższenia niezawodności połączeń otwory w takich płytkach można dodatkowo wypełniać miedzią lub pastą.

Gdy w grę wchodzi otwory o średnicy mniejszej niż 0,2 mm, to już nie uda się ich wykonać wierceniem mechanicznym. W tym przypadku konieczne jest używanie technologii laserowej lub plazmowej do wyrobienia takich otworów. Należy pamiętać, że to nie będą otwory przelotowe, a tylko ślepe mikro przelotki łączące wewnętrzną warstwę z warstwą sąsiednią. To z kolei potrzebuje użycia szczególnych prepregów pomiędzy warstwami z mikro przelotkami.

Obwody drukowane HDI produkuje się ze standardowych rdzeni lub płytek wielowarstwowych z naklejonymi na zewnątrz specjalnymi prepregami odpowiednimi do laserowego wiercenia oraz warstwami miedzi. Należy dodać, że warstw z mikro przelotkami można wykonać do trzech sztuk. Mikro przelotki można także łączyć ze sobą umieszczając je jedna nad drugą i wypełniając je miedzią dla bezpośredniego kontaktu elektrycznego.

Należy dodać, że warstw z mikro przelotkami można zrobić do trzech sztuk i można także łączyć mikro przelotki pomiędzy sobą umieszczając je jedna nad drugą i wypełniając miedzią do bezpośredniego kontaktu elektrycznego.

Poniżej można zobaczyć, jak wygląda struktura warstw typowej płytki HDI.



W literaturze technicznej można spotkać skrót typu x-N-x, gdzie x – to jest ilość warstw z mikroprzelotkami, a N – ilość zwyczajnych warstw. Na przykład 1-2-1 to jest czterowarstwowa płytka z dwoma warstwami HDI. Jak już mówiliśmy wcześniej możliwości technologiczne większości producentów są limitowane wykonaniem HDI płytek do 3-N-3, gdzie N może wynosić do 14 warstw.

Należy zaznaczyć, że istnieje odmiana obwodów HDI, które składają się wyłącznie z prepregów oraz warstw miedzi, bez grubszych rdzeni. Te obwody nazywane są HDI typu Any Layer, co oznacza, że mikroprzelotki można ewentualnie robić w każdej warstwie od góry do dołu. Jednakże, w praktyce są one znacznie droższe.

## 5.2 Elastyczne i sztywno-elastyczne obwody drukowane

Głównymi cechami obwodów elastycznych (Flex PCB) jest zdolność do wygięć w szerokim zakresie (zarówno statyczne jak i dynamiczne) z powodu małej grubości i specjalnych materiałów używanych do produkcji.

Elastyczne obwody drukowane mogą być jednostronne jak i wielowarstwowe (zazwyczaj do 6-ciu warstw).

Elementy konstrukcji elastycznych obwodów drukowanych to:

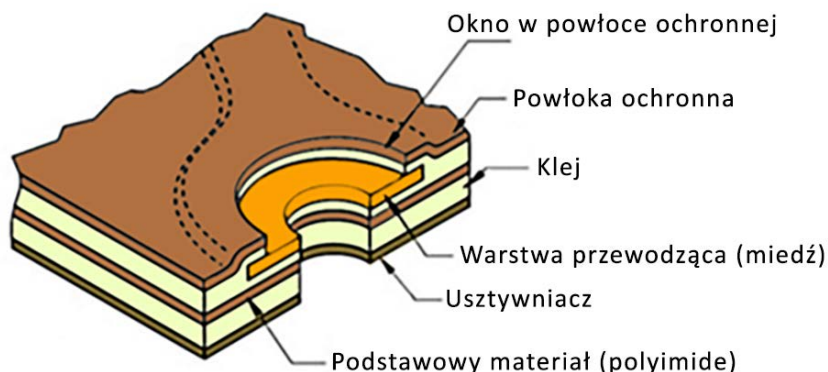
**Podstawowy materiał** – folia z poliimidu lub poliestru (PET)

**Klej (materiał wiążący)** – akrylowe lub epoksydowe polimery

**Folia miedziana** – materiał przewodzący

**Powłoka ochronna** – folie z poliimidu lub poliestru

**Usztywniacze** – dodatkowe wstawki zrobione z grubszego materiału, na przykład FR4, poliimidu lub poliestru.



Najbardziej rozpowszechnionym materiałem podstawowym dla elastycznych obwodów jest poliimid. Choć PET jest tańszy, jednak producenci używają go znacznie rzadziej z powodu niższej wytrzymałości na wysoką temperaturę. Z drugiej strony PET ma zalety, gdy chodzi o odporność chemiczną i absorpcję wilgoci. Najczęściej wytwarza się z niego jednostronne elastyczne obwody do przemysłu samochodowego.

Grubość folii z poliimidu może zmieniać się w szerokim zakresie, jednak w praktyce większość oferowanych materiałów elastycznych ma grubość w wąskim zakresie od 12 do 125  $\mu\text{m}$ .

Wybór grubości materiałów może zależeć od wymagań do samej płytki, dotyczących jej elastyczności oraz wytrzymałości mechanicznej. W każdym razie warto pamiętać, że wpływ na grubość końcową będzie miał nie tylko materiał podstawowy, ale też w dużym stopniu warstwy miedzi, powłok ochronnych a nawet kleju.

Folia miedziana może być przygotowana w dwóch rodzajach – metodą walcowania lub metodą elektrochemiczną. Pierwsza charakteryzuje się lepszymi właściwościami mechanicznymi i dlatego jest często używana do obwodów elastycznych z gięciem dynamicznym, ale jednocześnie jest droższa.

Powłoki ochronne są analogiem maski lutowniczej i często wykonane są z tego samego podstawowego materiału, z którego wykonana jest sama płytka elastyczna, jedynie o mniejszej grubości. Ponieważ konieczna jest obróbka mechaniczna (wiercenie, tłoczenie) powłok ochronnych, nie można wykonać w nich otworów o dowolnych kształtach i małym rastrze. Dlatego często robi się jedno okno dla kilku małych padów lutowniczych lub na przykład robi się okrągłe okno do padów prostokątnych. W większości przypadków dotyczy to głównie małych partii i prototypów, kiedy można zaoszczędzić na produkcji stempla tnącego.

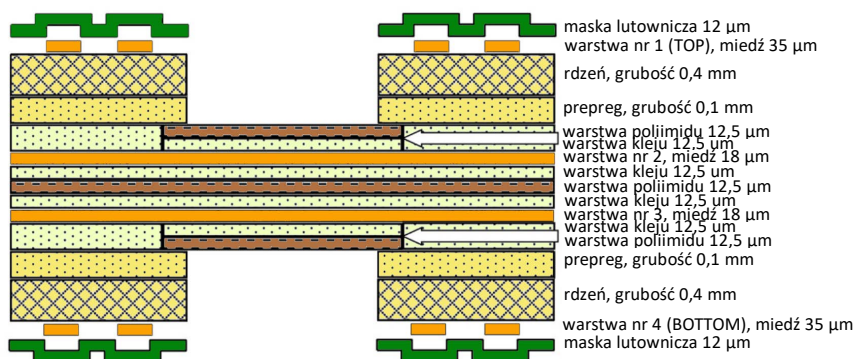
Dla średnich i dużych serii takich ograniczeń nie ma i przygotowuje się sprzęt do wycinania okien w warstwie ochronnej; można je też wykonać laserem.

Usztywniacze są potrzebne gdy na obwód elastyczny montowane są podzespoły elektroniczne lub krawędź płytki służy do połączenia ze złączem i jest wymagany dobór odpowiedniej grubości.

Sztywno-elastyczne obwody (Rigid-flex PCB) są najbardziej skomplikowanym rozwiązaniem, ponieważ zawierają w sobie obie technologie produkowania obwodów – sztywnych i elastycznych.

Poniżej podany wzór struktury warstw typowego czterowarstwowego sztywno-elastycznego obwodu drukowanego:

### Typowa struktura sztywno-elastycznej płytki

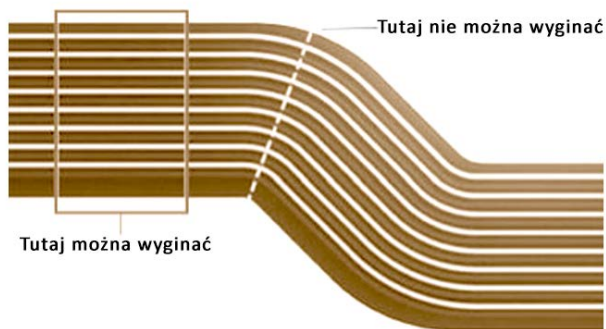


Przy projektowaniu elastycznych oraz sztywno-elastycznych obwodów warto przestrzegać następujących zasad:

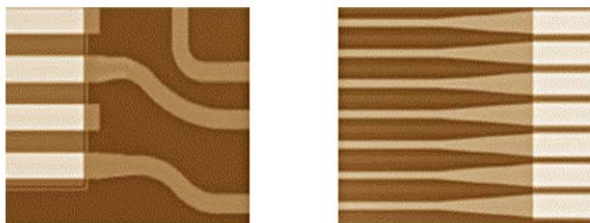
- Promień gięcia zależy od grubości płytki w następujący sposób:

Typ obwodu elastycznego	Minimalny promień gięcia
jednostronny	od 3 do 6-ciu grubości obwodu
dwustronny	od 6 do 10-ciu grubości obwodu
wielowarstwowy	od 10 do 15-tu grubości obwodu
jednostronny z dynamicznym gięciem	od 20 do 40-tu grubości obwodu

- Sztywność materiałów elastycznych jest proporcjonalna do sześcianu ich grubości. Oznacza to, że jeżeli grubość materiału podwaja się, staje się on ośmiokrotnie sztywniejszy i przy tym samym obciążeniu odkształca się osiem razy mniej.
- Obwód elastyczny może zginać się tylko pod kątem prostym do przewodników:



- Przewodniki miedziane na obwodzie elastycznym muszą zmieniać kierunek płynnie (trzeba unikać ostrych kątów), to samo dotyczy zmian szerokości przewodników – przejście od szerokiego przewodnika ku wąskiemu musi odbywać się stopniowo:



- Okna do padów w warstwie chroniącej warto robić trochę mniejsze (0,04 -0,05 mm) niż rozmiar samych padów, jest to szczególnie ważne przy padach z otworami bez metalizacji lub padów SMD podzespołów.
- Przewodników idących równoległe na dwóch sąsiadujących warstwach nie wolno umieszczać jeden nad drugim. Należy przesunąć je tak, żeby się nie pokrywały.
- Wypełnienie miedzią zawsze należy robić dużą siatką a nie ciągłą powierzchnią.

### 5.3 Obwody drukowane na rdzeniu metalowym

Najczęściej obwody drukowane na metalowym podłożu są wykorzystywane w przypadku użycia podzespołów elektronicznych wydzielających znaczną moc cieplną (na przykład LED-ów). Takiego rodzaju płytki mogą być jednostronne, dwuwarstwowe i nawet wielowarstwowe - do 6-ciu warstw.

Jako rdzeń najczęściej jest używane aluminium (przewodność cieplna 150 – 250 W/mK). W przypadku większych wymagań do odprowadzenia mocy cieplnej jest używany rdzeń z miedzi (przewodność cieplna około 400 W/mK) ale takie obwody są znacznie droższe i poza tym trudno je obrabiać mechanicznie frezowaniem.

Współczynnik przewodności cieplnej płytki na rdzeniu metalowym jest znacznie niższy niż przewodność cieplna samego materiału. Zależy to od typu i grubości dielektryka pomiędzy warstwą z miedzianymi przewodnikami a rdzeniem metalowym.

Przy projektowaniu obwodów na rdzeniu metalowym trzeba pamiętać, że nie można robić w nich przelotowych otworów z metalizacją. Mogą być otwory przelotowe używane jako montażowe lub ślepe i zagrzebane przelotki wyłącznie do łączenia warstw. Wynika z tego, że takie obwody pozwalają jedynie na montaż podzespołów elektronicznych w technologii SMD.

Wynika z tego, że takie obwody pozwalają jedynie na montaż podzespołów elektronicznych w technologii SMD

Głównymi cechami obwodów na rdzeniu metalowym są:

- przewodność cieplna (w zakresie 1-4 W/mK)
- wytrzymałość dielektryczna (2-10 kV)
- współczynnik rozszerzalności cieplnej (około 20 ppm/°C)

## 5.4 Obwody drukowane do RF i mikrofalowego zakresów częstotliwości

Obwody drukowane do zakresu RF różnią się od zwykłych obwodów tym, że przy ich projektowaniu i produkcji należy zwrócić szczególną uwagę na zapewnienie integralności sygnałów i odporności na zakłócenia elektromagnetyczne. W zakresie wysokich częstotliwości ścieżki obwodu drukowanego są traktowane jako linie transmisji posiadające określoną impedancję kompleksową a także uwzględniane są efekty absorpcji energii sygnału w dielektryku.

Zniekształcenia sygnałów wchodzi w grę przy częstotliwościach 500 – 1000 MHz i wyżej. Ale dla wielu urządzeń konieczność kontrolowania kształtu sygnału następuje nawet na niższych częstotliwościach.

Przestrzeganie zasad integralności sygnałów uzyskuje się przez projektowanie ścieżek jako linie transmisji z zadanymi parametrami (impedancja falowa linii i czas opóźnienia propagacji sygnału).

Właściwości przewodnika jako linii transmisji zależą od jego szerokości, struktury warstw (odległość pomiędzy warstwami), a także od właściwości dielektrycznych materiału (stała dielektryczna) obwodu drukowanego.

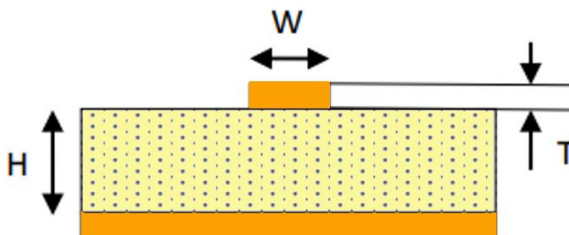
Linie transmisji nazywa się dopasowaną, kiedy ma na całej długości taką samą impedancję falową jak źródło i odbiornik sygnału. Dla sygnałów różnicowych a także sygnałów powiązanych (np. magistrale cyfrowe) należy dodatkowo wyrównywać czas opóźnienia propagacji sygnałów we wszystkich ścieżkach którymi przeprowadzają się te sygnały.

Szybkie i krytyczne sygnały powinny być usytuowane w warstwie znajdującej się bezpośrednio przy warstwie masy (płaszczyzny uziemienia), której towarzyszy odpowiednia płaszczyna zasilania i odsprężanie pomiędzy którymi wykonane jest za pomocą ceramicznych kondensatorów blokujących. Linia transmisji nie powinna mieć otworów lub przerw w płaszczynie uziemienia odnośnie do której ona jest przeprowadzona, ponieważ to prowadzi do istotnych zmian impedancji w stosunku obliczonych wartości.

Przejrzymy najprostsze rodzaje linii transmisji:

*Uwaga: z poniższych obliczeń można korzystać tylko w celu wstępnej oceny.*

1. **Linia mikropaskowa** – przewodnik na powierzchni płytki, pod którym znajduje się płaszczyzna masy (uziemiaenia).



Impedancję falową linii i czas propagacji frontu sygnału można ocenić na podstawie poniższego wzoru:

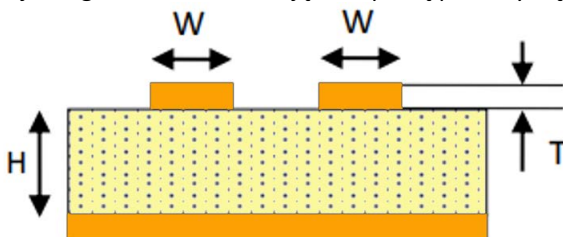
$$Z_0 = \left[ \frac{87}{\sqrt{\epsilon_r + 1,41}} \right] \times \ln \left[ \frac{5,98H}{0,8W + T} \right], [\text{ohm}]$$

pod warunkiem  $W \leq 2H$

$$t_0 = 3,3\sqrt{0,47\epsilon_r + 0,67}, [\text{ns/m}]$$

gdzie  $\epsilon_r$  – stała dielektryczna materiału,  $W$  – szerokość przewodnika,  $T$  – grubość miedzi łącznie z metalizacją,  $H$  – grubość dielektryka (odległość do płaszczyzny masy).

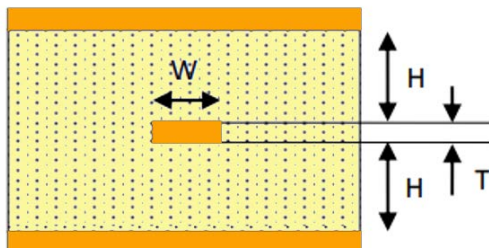
2. **Linia paskowa koplanarna** – dwie linie transmisji, znajdujące się w bliskiej równoległej odległości od siebie, mające wspólną płaszczyznę masy.



$$Z_{diff} = 2Z_0 \left[ 1 - 0,48 \exp \left( -\frac{0,96S}{H} \right) \right], [\text{ohm}]$$

gdzie  $S$  – dystans pomiędzy liniami transmisji.

3. **Symetryczna linia paskowa** – przewodnik w wewnętrznych warstwach płytki, położony symetrycznie względem dwóch płaszczyzn masy.

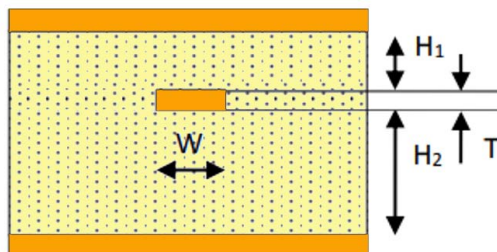


$$Z_0 = \left[ \frac{60}{\sqrt{\epsilon_r}} \right] \times \ln \left[ \frac{1,9(2H+T)}{0,8W+T} \right], [\text{ohm}]$$

pod warunkiem  $W \leq 2H, T \leq H/2$

$$t_0 = 3,3\sqrt{\epsilon_r}, [\text{ns/m}]$$

4. **Niesymetryczna linia paskowa** – przewodnik w wewnętrznych warstwach płytki, położony z przesunięciem (niesymetrycznie) względem dwóch płaszczyzn masy.



$$Z_0 = \left[ \frac{80}{\sqrt{\epsilon_r}} \right] \times \ln \left[ \frac{1,9(2H_1+T)}{0,8W+T} \times \left( 1 - \frac{H_1}{4H_2} \right) \right], [\text{ohm}]$$

pod warunkiem  $H_1 \leq H_2 \quad 0,1H_1 \leq W \leq 2H_1, T \leq H/4$

$$t_0 = 3,3\sqrt{\varepsilon_r}, [\text{ns/m}]$$

Żeby złożyć zamówienie na obwód drukowany z kontrolą impedancji trzeba dodatkowo zaznaczyć w dokumentacji:

- Numer warstwy, szerokość przewodnika i wartość impedancji do każdego typu linii transmisji
- Numer warstwy, w której znajduje się płaszczyzna uziemienia według której liczy się impedancja.

Przed rozpoczęciem projektowania obwodu drukowanego projektant musi wybrać odpowiednią strukturę warstw i przeprowadzić wstępne obliczenia impedancji na podstawie średnich wartości stałej dielektrycznej materiałów, odległości między warstwami i szerokości przewodników.

Obliczenia wystarczy zrobić z dokładnością +/-10%, ponieważ w trakcie produkcji obwodu drukowanego będą wykonane korekty wszystkich parametrów, żeby dopasować faktyczne wartości impedancji do wymaganych przez zamawiającego. Jeżeli będzie konieczna zmiana szerokości ścieżek, dział techniczny produkcji zawsze o tym informuje w celu zatwierdzenia wszystkich szczegółów.

W procesie produkcji obwodów drukowanych z kontrolą impedancji, wartość impedancji jest mierzona odpowiednią aparaturą i do klienta dostarczane są tylko obwody spełniające dokładne wymagania.

Typowy materiał FR4 ma wartość stałej dielektrycznej około 4.6 na częstotliwości 1 MHz, która się zmniejsza do 4.0 wraz ze wzrostem częstotliwości do 1 GHz. Jednak jej faktyczne wartości mogą się wahać w zakresie +/-30%. Dlatego istnieją takie materiały, których wartość stałej dielektrycznej jest normowana i nie zmienia się ze zmianą częstotliwości w szerokim zakresie.

Najczęściej do produkcji obwodów drukowanych działających w zakresie wysokich częstotliwości są używane materiały produkowane przez firmę Rogers Corporation. Na ich stronie internetowej można znaleźć podstawowe informacje na temat właściwości wszystkich produkowanych materiałów.

W magazynie naszej produkcji zawsze mamy najbardziej popularne typy materiałów 4350B oraz 4003C o różnych grubościach.