

PORADNIK PROJEKTANTA PCB

Zasady projektowania i przygotowania do produkcji obwodów drukowanych

Firma Nanotech Elektronik Sp. z o.o. jest profesjonalnym dostawcą obwodów drukowanych dowolnego typu i klasy złożoności.

Dostarczamy obwody drukowane dowolnych typów:

- Jedno-/dwustronne
- Wielowarstwowe (do 28 warstw)
- Wielowarstwowe HDI z laserowym wierceniem mikroprzełotek
- Elastyczne i sztywno-elastyczne
- Na rdzeniu aluminiowym
- Z laminatów do RF i mikrofalowego zakresu (Rogers, Arlon)

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 wielowarstwowe HDI
 - 2.4 Obwody drukowane elastyczne
 - 2.5 Obwody drukowane na rdzeniu aluminiowym
3. Materiały do produkcji obwodów drukowanych
4. Wykończenia powierzchni
5. Zasady projektowania i wyboru laminatów do obwodów drukowanych
 - 5.1 Wielowarstwowe i HDI
 - 5.2 Elastyczne i sztywne - elastyczne
 - 5.3 Na rdzeniu aluminiowym
 - 5.4 Obwody drukowane do RF i mikrofalowego zakresu
6. Normy IPC
7. Kontakty

Rozdział I. Pytania ogólne w sprawie projektowania obwodów drukowanych i przygotowania do produkcji.

Dla zapewnienia jakości, niezawodności, optymalnych kosztów oraz minimalnych terminów produkcji obwodów drukowanych, należy na etapie projektowania topologii 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 rozumieć możliwości produkcji, na której zakłada się go produkować i odpowiednio kierować się nimi przy projektowaniu. Zazwyczaj zapoznać się z normami technologicznymi tego lub innego producenta można na ich stronach internetowych. 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: nie warto bez potrzeby korzystać z wartości granicznych norm technologicznych produkcji. Oznacza to, że jeśli istnieje możliwość zaprojektować obwód drukowany z łatwiejszymi technologicznie parametrami, nawet jeśli potencjalny producent może zapewnić bardziej rygorystyczne normy technologiczne, to trzeba starać się nie wprowadzać do projektu wąskich gardeł (z punktu widzenia technologiczności wyrobu), tak aby nie zwiększać bez istotnej konieczności złożoności projektowanego produktu.

Po drugie: nawet jeśli tworzycie Państwo skomplikowany obwód drukowany z rygorystycznymi wymaganiami do parametrów technologicznych, nadal mogą w nim być poszczególne obszary, gdzie elementy topologii można wykonywać z mniej krytycznymi parametrami technologicznymi. W takim

przypadku należy przewidzieć, gdzie to tylko możliwe, projektowanie elementów topologii z większym technologicznym zapasem.

W ten sposób sformułujemy **złotą zasadę** projektanta: trzeba zapewnić (jeśli istnieje taka możliwość) maksymalny margines w parametrach technologicznych i starać się unikać wąskich gardeł z wartościami progowymi możliwości produkcyjnych.

Innym słowem, jeżeli po zakończeniu projektowania topologii jest widoczne, 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.

Wszystkie te działania w połączeniu pozwalają obniżyć koszt produktu, zwiększyć jego niezawodność i przyspieszyć czas realizacji.

W **rozdziale II** przedstawiono technologiczne normy produkcji obwodów drukowanych firmy Nanotech Elektronik. W przypadku pytań zachęcamy do skontaktowania z naszym działem technicznym. W **rozdziale VII** znajdziecie Państwo nasze kontakty.

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

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

- Nie trzeba umieszczać przelotki w padach lutowniczych SMD elementów (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 II** - Normy technologiczne).
- W pliku topologii należy używać żądane średnice otworów po metalizacji, a nie średnice wiertel – u każdego producenta swój algorytm obliczania kompensacji średnicy otworu w trakcie metalizacji.
- Lepiej otwierać z pod maski lutowniczej otwory montażowe (i 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) poprawnie należy podawać ustawienia odstępów do maski lutowniczej, albo używać globalnie dla całego obwodu taki parametr jak Odstęp Maski Lutowniczej (Mask Swell). To samo dotyczy ustawień do pasty lutowniczej (Paste Shrink).
- Należy zawsze podawać informacje czy ukrywać pod maską lutowniczą przelotki.
- Należy zachowywać minimalny odstęp od elementów topologii (ścieżek, punktów lutowniczych, miedzianych poligonów) do krawędzi obwodu drukowanego. Polecamy wytrzymywać 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 płycie drukowanej są duże miedziane poligony, najlepiej zrobić ich wypełnienie niejednolitym, 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 płycie. Wszystko to jest szczególnie ważne dla płytek drukowanych o dużych rozmiarach.
- Również podczas wypełniania miedzianych poligonów polecamy nie wybierać zbyt małych wymiarów prymitywów i kroku siatki – to zwiększa rozmiar pliku i utrudnia go opracowanie.
- Punkty lutownicze SMD komponentów małych rozmiarów (0402 i mniej) warto zrobić z zaokrąglonymi narożnikami.
- Trzeba uważać aby opisy komponentów nie znajdowały się na punktach lutowniczych i otwartych z pod maski obszarach miedzi.
- Nie należy używać zbyt małej czcionki do opisów (zalecana nami minimalna wysokość od 1,0 mm i 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 są takie czcionki używane - trzeba dołączyć plik czcionki do pliku pcb.
- Zawsze należy używać do rysowania topologii 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 on może zapewnić, także jakie można w tym czasie używać połączenia pomiędzy warstwami (typy przelotek). W praktyce często zdarza się, że projektanci wprowadzają w projekt kombinację warstw/połączeń które nie można zrealizować.
- I najważniejsza zasada – w przypadku jakichkolwiek wątpliwości odnośnie 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 zadają się podstawowe technologiczne ograniczenia produkcji. Następnie trzeba uruchomić automatyczne sprawdzanie i na podstawie wyników kontroli wprowadzić potrzebne zmiany w topologię.

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 gerber pliki?

W jakim oprogramowaniu nie zostałyby zaprojektowane obwody drukowane, mamy na myśli takie pakiety projektowania jak Altium Designer, Eagle, Cadence OrCAD, Mentor Graphics itp., w każdym razie informacja z Pańskiego pliku zostanie przekonwertowana do formatu Gerber RS274-X, który jest obecnie standardem i z którym pracują producenci obwodów drukowanych. Jest to związane z tym, że nowoczesne maszyny do produkcji obwodów drukowanych muszą odczytać informację z gerber plików zanim zaczną drukować fotoszablony, wykonywać wiercenie/frezowanie otworów i inne operacje.

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

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

Jeśli otworzyć w odpowiednim oprogramowaniu (CAM350, Camtastic, Genesis, Gerber Tools itp.) gerber-pliki wygenerowane z projektu obwodu

drukowanego, to one się wyświetlą na ekranie dokładnie tak samo, jak będzie wyglądał obwód drukowany po zakończeniu produkcji. Inaczej mówiąc, obrazy gerber-plików na ekranie komputera dokładnie odpowiadają temu jak będą wyglądały warstwy obwodu drukowanego w rzeczywistości. Należy dodać, że każdej warstwie obwodu drukowanego (warstwy miedzi, masek lutowniczych, opisów) odpowiada własny gerber-plik, a informacje o otworach są przechowywane w plikach wiercenia (NC Drill).

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

Po co wypełniać formularz zamówienia?

Jeżeli wysyłacie Państwo do producenta tylko plik z topologią lub pliki gerber, to nie jest to wystarczające dla prawidłowego wykonania obwodu drukowanego. Do pliku obwodu drukowanego zalecamy dołączyć wypełniony formularz zamówienia, ponieważ zawsze są dodatkowe kwestie które brane są pod uwagę przy produkcji obwodów drukowanych.

Wyjaśnijmy to na przykładzie: klient wysłał mailem plik obwodu drukowanego i prosi wyprodukować 100 szt. Ale tej informacji nie wystarczy – przecież musimy wiedzieć z jakiego laminatu i o jakiej grubości powinna być płytka, czy należy wykonywać opisy, jakie użyć wykończenia powierzchni, jak obrabiać kontur itp.

Dlatego stworzyliśmy wygodny i prosty formularz zamówienia, w którym są wszystkie podstawowe pytania dotyczące produkcji obwodu drukowanego. Formularz zamówienia to jest tabliczka w formacie programu Microsoft Excel, która zawiera wbudowane makra w celu ułatwienia jej wypełnienia (jeśli Państwa program Microsoft Excel podczas otwierania tabliczki wyświetli ostrzeżenie o obecności makr, prosimy potwierdzić otwarcie dokumentu z makrami).

Pobrać formularz zamówienia można z naszej strony internetowej pod linkiem: <http://www.nanotech-elektronik.com/files/formularz.zip>

Jeśli powstaną jakiegokolwiek pytania dotyczące wypełniania formularza, zawsze można zwrócić się do nas o pomoc, mailowo lub dzwoniąc do naszego biura (patrz rozdział VII - **Kontakty**).

Rozdział II. Normy technologiczne produkcji

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

Parametry ogólne (jedno, dwu- i wielowarstwowe obwody drukowane)	Wartość
Grubość płytki, mm	0,4-3,2
Grubość folii miedzianej, μm	9, 18, 35, 70, 105 ¹
Maksymalne wymiary płytki, mm	550,0 x 1150,0
Materiał	FR1, FR2, FR4, CEM1, CEM3, a także materiały bezhalogenowe, z indeksem CTI ≥ 400 , ≥ 600 , do zakresu wysokiej częstotliwości oraz mikrofalowego, wysokotemperaturowe, na rdzeniu aluminiowym i in. ²
Obróbka obwodu	frezowanie, nacinanie (V-cut), tłoczenie
Powłoki wykończeniowe	HAL RoHS (bezołowiowy), HAL SnPb, złoto immersyjne (ENIG), cyna immersyjna, Gold Flash, Gold Fingers, grafit, OSP
Kolor opisu	biały, czarny, żółty, zielony ³
Kolor maski lutowniczej	zielony, biały, czarny, czerwony, niebieski ³

Obwody drukowane jednostronne		
Parametry	Zalecana wartość graniczna	Wartość maksymalna
Minimalna szerokość przewodnika ⁴ , mm	0,2	0,15
Minimalny odstęp izolacyjny między przewodnikami ⁴ , mm	0,2	0,15
Minimalny odstęp między obwodem płytki i przewodnikami, mm	0,5	0,3
Minimalna średnica otworu, mm	0,5	0,3
Minimalna szerokość pierścienia miedzi wokół otwora ⁵ , mm	0,3	0,2
Minimalny odstęp między punktem lutowniczym i maską lutowniczą, mm	0,15	0,1
Minimalna szerokość odcinka maski lutowniczej między punktami lutowniczymi, mm	0,3	0,2
Minimalna szerokość linii opisu (sitodruk), mm	-	0,1
Minimalna wysokość czcionki opisu (sitodruk), mm	1,5	1,0

Obwody drukowane dwustronne		
Parametry	Zalecana wartość graniczna	Wartość maksymalna
Minimalna szerokość przewodnika ⁴ , mm	0,15	0,1
Minimalny odstęp izolacyjny między przewodnikami ⁴ , mm	0,15	0,1
Minimalny odstęp między obwodem płytki i przewodnikami, mm	0,5	0,3
Minimalna średnica otworu, mm	0,3	0,2
Graniczny stosunek średnicy otworu do grubości płytki	1:8	1:12
Minimalna szerokość pierścienia miedzi wokół otwora ⁵ , mm	0,2	0,15
Minimalny odstęp między punktem lutowniczym i maską lutowniczą, mm	0,1	0,05
Minimalna szerokość odcinka maski lutowniczej między punktami lutowniczymi, mm	0,2	0,1
Minimalna szerokość linii opisu (sitodruk), mm	-	0,1
Minimalna wysokość czcionki opisu (sitodruk), mm	1,0	0,7

Obwody drukowane wielowarstwowe		
Parametry	Zalecana wartość graniczna	Wartość maksymalna
Ilość warstw	4-14	4-28
Minimalna szerokość przewodnika ⁴ , mm	0,1	0,076
Minimalny odstęp izolacyjny między przewodnikami ⁴ , mm	0,1	0,076
Minimalny odstęp między obwodem płytki i przewodnikami (na zewnętrznych / na wewnętrznych warstwach), mm	0,5/0,5	0,3/0,5
Minimalna średnica otworu, mm	0,2	0,2
Graniczny stosunek średnicy otworu do grubości płytki	1:8	1:12
Minimalna szerokość pierścienia miedzi wokół otwora ⁵ , mm	0,15	0,127
Możliwość wykonania otworów ślepych	tak	tak
Możliwość wykonania otworów zagrzebanych	tak	tak
Minimalny odstęp między punktem lutowniczym i maską lutowniczą, mm	0,05	0,05
Minimalna szerokość odcinka maski lutowniczej między punktami lutowniczymi, mm	0,1	0,1
Minimalna szerokość linii opisu (sitodruk), mm	-	0,1
Minimalna wysokość czcionki opisu (sitodruk), mm	1,0	0,7

Obwody drukowane wielowarstwowe HDI		
Parametry	Zalecana wartość graniczna	Wartość maksymalna
Ilość warstw	4-16	4-32
Struktura warstw (build-up)	3-N-3	4-N-4
Minimalna szerokość przewodnika ⁴ , mm	0,1	0,076
Minimalny odstęp izolacyjny pomiędzy przewodnikami ⁴ zewnętrzna/wewnętrzna warstwa, mm	0,1/0,076	0,076/0,064
Minimalny odstęp między obwodem płytki i przewodnikami zewnętrzna/wewnętrzna warstwa, mm	0,5/0,5	0,3/0,5
Minimalna średnica otworu, mm	0,1	0,075
Minimalna szerokość pierścienia miedzi wokół otwora ⁵ zewnętrzna/wewnętrzna warstwa, mm	0,15/0,1	0,127/0,1
Mikro przelotki w padach (Via-in-pad)	tak	tak
Stacked and staggered micro vias	tak	tak
Możliwość wypełnienia otworów miedzą (copper plugged)	tak	tak
Możliwość wypełnienia otworów pastą (resin plugged)	tak	tak
Minimalny odstęp między punktem lutowniczym i maską lutowniczą, mm	0,05	0,025
Minimalna szerokość odcinka maski lutowniczej między punktami lutowniczymi, mm	0,1	0,1

Obwody drukowane elastyczne		
Parametry	Zalecana wartość graniczna	Wartość maksymalna
Ilość warstw	1-6	
Materiał	Poliimid, PET	
Minimalna szerokość przewodnika ⁴ , mm	0,15	0,1
Minimalny odstęp izolacyjny między przewodnikami ⁴ , mm	0,15	0,1
Minimalny odstęp między obwodem płytki i przewodnikami, mm	0,5	0,25
Minimalny otwór, mm	0,3	0,2
Minimalny odstęp między punktem lutowniczym i warstwą ochronną (coverlay), mm	0,2	0,1

Obwody drukowane na rdzeniu aluminiowym		
Parametry	Zalecana wartość graniczna	Wartość maksymalna
Ilość warstw	1-2	1-4
Grubość płytki, mm	0,5-3,2	
Grubość folii miedzianej, μm	35	
Grubość dielektryka, μm	50, 75, 100, 150	
Przewodność cieplna, W/mK	1-4	
Wytrzymałość dielektryczna, kV	2-10	
Maksymalne wymiary płytki, mm	550,0 x 950,0	
Materiał	AL 5052	
Minimalna szerokość przewodnika ⁴ , mm	0,2	0,15
Minimalny odstęp izolacyjny między przewodnikami ⁴ , mm	0,2	0,15
Minimalny odstęp między obwodem płytki i przewodnikami, mm	0,5	0,35
Minimalny otwór, mm	0,9	0,6
Minimalny odstęp między punktem lutowniczym i maską lutowniczą, mm	0,1	0,05

1 Istnieje możliwość zwiększenia grubości folii na zamówienie.

2 Inne materiały na zamówienie.

3 Inne kolory na zamówienie.

4 Do folii o grubości 9 μm i 18 μm .

5 $(\text{Średnica padu} - \text{średnica otworu})/2$

Rozdział III. Materiały obwodów drukowanych

FR-1/FR-2

Klasa materiałów FR-1 i FR-2 według klasyfikacji NEMA. Takie materiały kompozytowe, produkują się 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 ≥ 400 , ≥ 600 ;
- wodoodporny;

FR-4

Rodzina materiałów pod ogólną nazwą FR-4 według klasyfikacji NEMA (National Electrical Manufacturers Association, USA). 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 matowym żółtawym 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 $\text{CTI} \geq 400, \geq 600$;

CEM-1

Klasa materiałów CEM-1 według klasyfikacji NEMA. Takie materiały kompozytowe, produkują się z podstawy fenolowo-papierowej z dwoma warstwami tkaniny szklanej na zewnątrz. Zazwyczaj w kolorze mleczno-białym lub mleczno-żółtym. Są niekompatybilne z procesem metalizacji przelotek, dlatego stosują się 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 ≥ 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 absolutnej 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 ≥ 600 ;

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 RO3000 / FR4 zestawów hybrydowych. 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 strony, 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 ($T_g \sim 280^\circ\text{C}$) 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°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.

Rozdział IV. 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 podstawie stopu cyna-ołów (Sn-Pb) i wyrównywaniem nożem powietrznym. Ta powłoka wykończeniowa jest obecnie najbardziej rozpowszechnioną, najbardziej znaną i od dawna jest używana. Zapewnia doskonałą lutowność obwodów drukowanych, nawet po długotrwałym przechowywaniu. Powłoka HAL jest łatwa w procesie produkcyjnym i jest niedroga. 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. Ta powłoka wykończeniowa nanosi się przy wyższej temperaturze niż tradycyjne powłoki HASL, co nakłada podwyższone wymagania dotyczące podstawowych materiałów do obwodów drukowanych i komponentów elektronicznych pod względem 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, jedynie że wymaga prawidłowego doboru temperatury lutowania. W porównaniu z powłoką HASL na podstawie 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 μm , Au 0,06 – 0,1 μm . Powłoka tworzy się metodą chemiczną, 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.

- **Gold Flash** - powłoka z rodziny Ni/Au. Grubość powłoki: Ni 3-7 μm , Au 0,05-0,2 μm . 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 μm , Au 0,2-1,0 μm . 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. Ta powłoka jest kompatybilna ze wszystkimi sposobami lutowania. Wbrew rozpowszechnionej opinii opartej na doświadczeniu stosowania przestarzałych typów powłok, cyna immersyjna zapewnia dobrą lutowność po długotrwałym przechowywaniu - okres gwarancyjny przechowywania 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. Barierowa warstwa podkładowa zapobiega wzajemnej dyfuzji miedzi i cyny, powstaniu związków międzymetalicznych i rekrystalizacji cyny. Taka powłoka wykończeniowa przy grubości 1 μm , ma równą, płaską powierzchnię, zachowuje lutowność i możliwość kilku ponownych lutowań nawet po długotrwałym przechowywaniu, posiadając cechy całkowicie spełniające wszystkie wymagania do przechowywania i lurowności 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 powierzchniowego montażu i spełnia wymagania RoHS. To jest dobra alternatywa dla podstawowej powłoki HAL. Niestety ma ograniczony okres przechowywania (miesiące) i szybko degraduje się w procesie lutowania wieloprzebiegowego.

Rozdział V. 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 $+110^{\circ}\text{C}$, 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 sztywne-elastyczne.

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

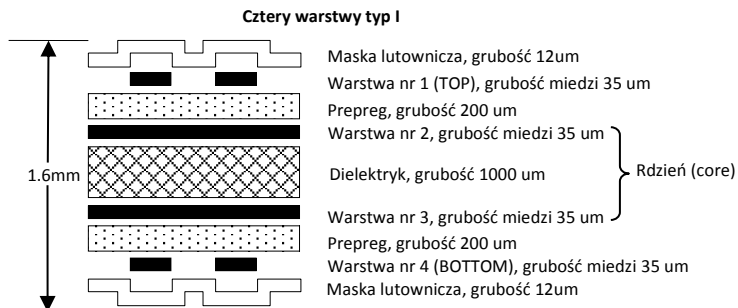
W przypadku użycia podzespołów elektronicznych wydzielających znaczną moc ciepłą (na przykład LED-ów o dużej mocy) są wykorzystywane obwody drukowane zrobione na metalowym podłożu z aluminium lub z miedzi.

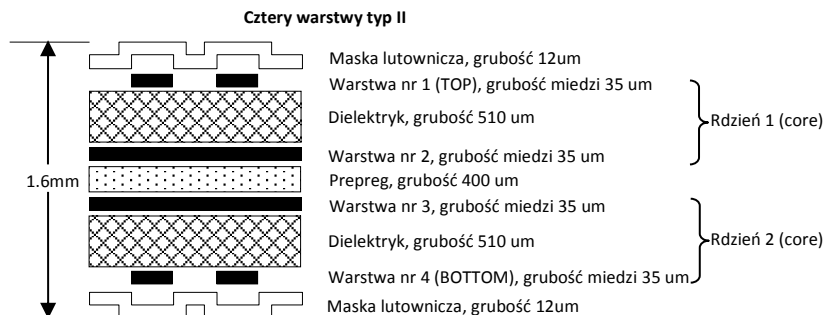
Obwody drukowane wielowarstwowe oraz HDI

Wielowarstwowe płytki składają się z jednego lub kilku rdzeni (cienki laminat szklano-epoksydowy z dwoma warstwami miedzi), kilka warstw prepregów oraz zewnętrznych warstw miedzi w kształcie miedzianej folii. Prepregi są używane do przyklejania wszystkich warstw pomiędzy sobą.

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

Poniżej podane najbardziej typowe konstrukcje wielowarstwowych obwodów drukowanych:





Płytkę typu I składa się z jednego rdzenia i dwóch dodatkowych warstw miedzi. Przy takiej konstrukcji można wypełnić otwory pomiędzy warstwami 1-2-3-4 (przelotowe) oraz 2-3 (zagrzebane). Jest to najbardziej rozpowszechnionym wariantem czterowarstwowych płytek i jednocześnie najtańszym.

Płytkę 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 klejących to wszystko prepregów. Jedyną trzeba pamiętać zasadą – otwory uda się zrobić wyłącznie pomiędzy warstwami miedzi na rdzeniu lub przygotowanego pakietu ze rdzeni i przyklejonymi z 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 i jest rozwiązaniem używanym raczej rzadko i z powodu bardzo pilnych wymagań 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 (podane są 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 rdzeń (taka sama z obu stron) w μm : 9; 12; 18; 35; 50; 70; 100; 150; 210.

Do wewnętrznych warstw lepiej używać miedzi o grubości nie mniejszej niż 35 μm .

Na etapie projektowania wielowarstwowego obwodu drukowanego trzeba głównie wybrać odpowiednią ilość warstw oraz typy otworów łączących różne warstwy. Co do wyboru prepregów i rdzeni, to najlepiej żeby ten wybór robił bezpośrednio producent obwodów drukowanych biorąc pod uwagę takie potrzeby zamawiającego jak ostateczna grubość płytki, wymagania w stosunku do impedancji przewodników i inne, a także grubości materiałów dostępnych w magazynie produkcji.

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 podwyższonej 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 zrobić 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.

Generalnie obwód drukowany HDI robi się ze zwyczajnych rdzeni lub płytki wielowarstwowej z naklejonymi na zewnątrz szczególnymi prepregami przydatnymi do laserowego wiercenia oraz warstwami miedzi. Należy dodać, że warstw z mikro przelotkami można zrobić do trzech sztuk i także można łączyć mikro przelotki pomiędzy sobą umieszczając je jedna nad drugą i wypełniając miedzią do bezpośredniego kontaktu elektrycznego.

W literaturze technicznej można spotkać skrót typu x-N-x, gdzie x – to jest ilość warstw z mikro przelotkami, a N – ilość zwyczajnych warstw. Naprzykład 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.

Poniżej można zobaczyć jak wygląda struktura warstw typowej płytki HDI.

Typowa struktura czterowarstwowej HDI



Elastyczne i sztywno-elastyczne obwody drukowane

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

Elastyczne obwody drukowane mogą być zarówno 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, ale 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, jednakże w praktyce większość oferowanych materiałów elastycznych ma grubość w wąskim zakresie od 12 do 125 μm .

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 i nawet kleju.

Folia miedziana może być dwóch rodzajów – przygotowana metodą walcowania lub metodą elektrochemiczną. Pierwsza charakteryzuje się lepszymi właściwościami mechanicznymi i dla tego 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 w takim razie jest konieczna obróbka mechaniczna (wiercenie, tłoczenie) powłok ochronnych, nie uda się wykonać w nich otworów o dowolnych kształtach i z małym rastrem. 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.

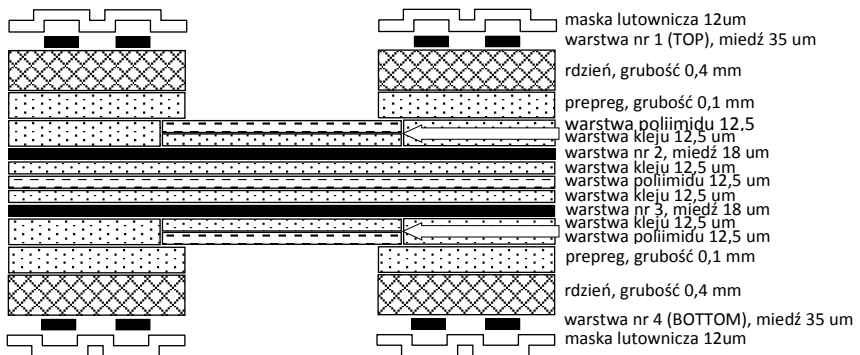
Dla średnich i dużych serii takich ograniczeń nie ma i w każdym razie będzie przygotowany sprzęt do wycinania okien w warstwie ochronnej lub będą one zrobione laserem.

Usztywniacze są potrzebne w tym razie 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 są najbardziej skomplikowanym rozwiązaniem ponieważ zawierają w sobie obie technologie wyprodukowania obwodów – sztywnych i elastycznych.

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

Typowa struktura sztywno-elastycznej płytki

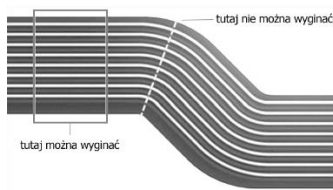


Przy projektowaniu elastycznych oraz sztywno-elastycznych obwodów warto trzymać się następujących zasad:

- Promień gięcia zależy od grubości płytki w następujący sposób:

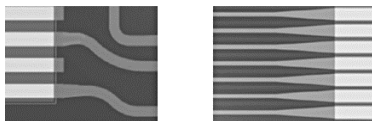
Typ obwodu elastycznego	Minimalny promień gięcia
jednostronny	od 3 do 6-ciu grubości obwodu
dwustronny	od 6 do 10-ciu grubości obwodu
wielowarstwowy	od 10 do 15-tu grubości obwodu
jednostronny z dynamicznym gięciem	od 20 do 40-tu grubości obwodu

- Może przydać się techniczna zasada: 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 odkształci się osiem razy mniej.
- Obwód elastyczny musi zginać się 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 do padów z otworami bez metalizacji lub padów SMD podzespołów.
- Przewodniki idące równolegle w dwóch sąsiednich warstwach nie należy umieszczać jeden nad drugim. Należy przesunąć je tak, żeby nie pokrywały się.
- Wypełnienie miedzią zawsze należy robić dużą siatką a nie ciągłą powierzchnią.

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 ich 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. Czyli mogą być otwory przelotowe używane jako montażowe lub ślepe i zagrzebane przelotki wyłączane do łączenia warstw. Z tego wynika że takie obwody są przydatne tylko do montażu podzespołów elektronicznych w technologii SMD.

Głównymi cechami obwodów na rdzeniu metalowym są:

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

Obwody drukowane do RF / mikrofalowego zakresu

Obwody drukowane do zakresu RF różnią się od zwykłych obwodów drukowanych tym że przy ich projektowaniu i produkcji należy zachować dodatkowe środki w celu zapewnienia 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 wchodzą w grę przy częstotliwościach 500 Mhz – 1000 Mhz i wyżej. Ale dla wielu urządzeń konieczność kontrolowania kształtu sygnału następuje nawet na niższych częstotliwościach.

Przestrzeganie zasad integralności sygnałów uzyskuje się tym, że ścieżki są projektowane 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.

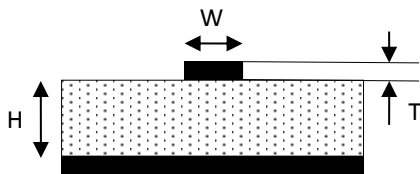
Linia transmisji nazywa się dopasowaną kiedy ma na całej długości taką samą impedancję falową jak źródło i odbiornik sygnału. Dla sygnałów różnicowych a także sygnałów powiązanych (np. cyfrowe magistrale) należy dodatkowo wyrównywać czas opóźnienia propagacji sygnałów we wszystkich ścieżkach którymi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

Szybkie i krytyczne sygnały powinny znajdować się w warstwie znajdującej się obok masy (płaszczyzny uziemienia) która ma odpowiednią płaszczyznę zasilania i odsprzęganie pomiędzy którymi wykonane jest za pomocą ceramicznych kondensatorów blokujących. Linia transmisji nie powinna mieć otworów lub przerw w płaszczyźnie uziemienia odnośnie 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 (uziemienia).



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

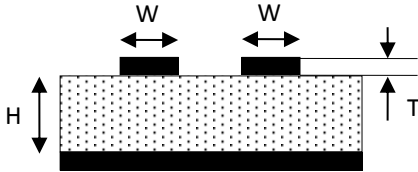
$$Z_0 = \left[\frac{87}{\sqrt{\epsilon_r + 1,41}} \right] \times \ln \left[\frac{5,98H}{0,8W + T} \right], [\text{ohm}]$$

pod warunkiem $W \leq 2H$

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

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

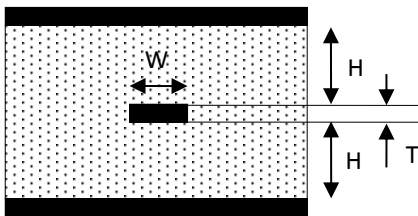
2. Linia paskowa koplanarna – dwie linie transmisji, znajdujące się w bliskiej równoległej odległości od siebie, mające wspólną płaszczyznę masy.



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

gdzie S – dystans pomiędzy liniami transmisji.

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

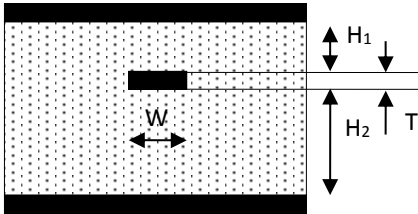


$$Z_0 = \left[\frac{60}{\sqrt{\varepsilon_r}} \right] \times \ln \left[\frac{1,9(2H+T)}{0,8W+T} \right], \text{ [ohm]}$$

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

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

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



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

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

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

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 się znajduje płaszczyzna uziemienia odnośnie 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%, w każdym razie 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, to dział techniczny produkcji zawsze poinformuje o tym z góry żeby zatwierdzić wszystkie szczegóły.

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

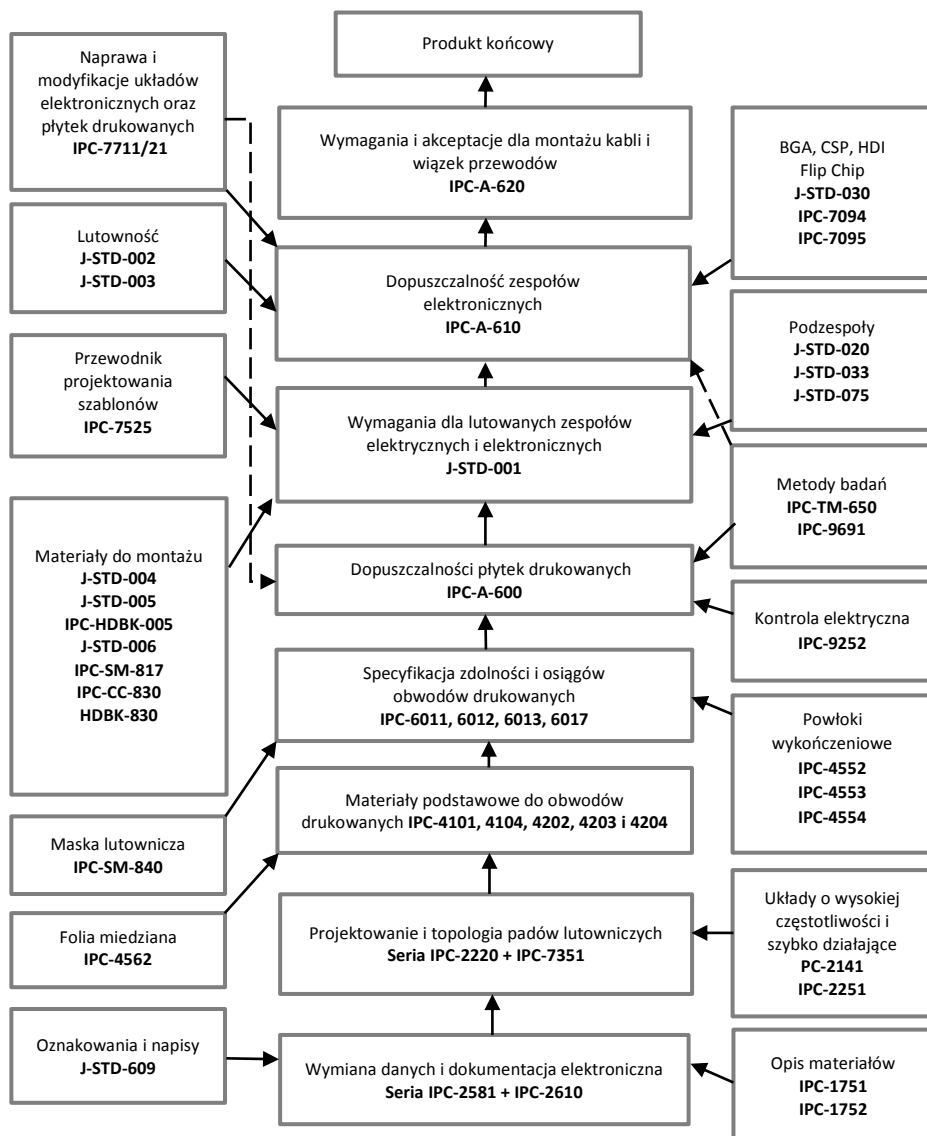
W magazynie naszej produkcji zawsze mamy najbardziej popularne typy materiałów 4350B oraz 4003C o różnych grubości.

Rozdział VI. Normy IPC

Dla osiągnięcia wysokiej jakości końcowych produktów i utrzymania konkurencyjnej pozycji na rynku, należy zapewniać jakość na wszystkich etapach – od projektowania, wyboru materiałów i do procesu produkcyjnego.

Normy IPC – to dokumenty, które używają producenci, dostawcy i projektanci urządzeń elektronicznych. Praca na podstawie uznanych standardów IPC pomoże wszystkim specjalistom mówić w jednym języku – języku międzynarodowej branży elektronicznej. Ponadto, stosowanie standardów IPC rozwiązuje nieporozumienie wśród uczestników rynku elektronicznego, ponieważ w tym przypadku wiedzą, że muszą przestrzegać obowiązujących standardów przemysłowych.

Poniżej podaliśmy spis najbardziej często wykorzystanych norm w branży elektronicznej.



Rozdział VII. Kontakty

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

Bardzo chętnie przygotowujemy również szczegółowy kosztorys wytworzenia obwodów drukowanych. Dzięki temu będziecie Państwo mogli od razu po wykonaniu projektu poznać koszt produkcji zarówno pierwszej partii prototypowej, jak również zapoznać się z kosztami produkcji seryjnej.

Nasze biuro znajduje się w Warszawie przy ulicy Aleje Jerozolimskie 214.

Można też skontaktować się z nami telefonicznie pod numerem (22) 335-98-26, oraz 500-742-225, lub napisać do nas wiadomość na e-mail adres biuro@nanotech-elektronik.pl

Z poważaniem,

Zespół Nanotech Elektronik Sp. z o.o.

