



Kalkulator
z 1968 r.
a w nim płytka drukowana
16-warstwowa!

Płytki drukowane

wybór narzędzi projektowych, technologii wykonania oraz wykonawców

Był rok 1968. 16-warstwową płytkę drukowaną zastosowano w module pamięci ROM wprowadzonego właśnie na rynek kalkulatora Hewlett-Packard 9100A, notabene pracującego w odwrotnej notacji polskiej (RPN – Reverse Polish Notation). Tak! Ponad 50 lat temu w komercyjnym sprzęcie stosowane były wielowarstwowe płytki drukowane!

Wielu Czytelników może zaskoczyć fakt, że za początek idei płytek drukowanych, i to elastycznych, można uznać patent z roku... 1903, złożony przez niemieckiego wynalazcę Alberta Hansona. Był to tylko pomysł, natomiast początki praktycznej realizacji wiązane są z postacią austriackiego inżyniera Paula Eislera, który z uwagi na żydowskie pochodzenie w roku 1936 przeniósł się do Wielkiej Brytanii i tam z mocno zmiennym szczęściem próbował wykorzystać i skomercjalizować swoje pomysły. Dopiero wybuch wojny wzbudził zainteresowanie jego rozwiązaniami i pierwsze płytki drukowane zastosowano w zapalnikach zbliżeniowych bomb i pocisków opracowanych najpierw przez Brytyjczyków, potem ulepszonych przez Amerykanów. Te zapalniki zbliżeniowe były odmianą prostego radaru dopplerowskiego i po raz pierwszy wykorzystane były w Europie po osobistym zezwoleniu generała Dwighta D. Eisenhowera podczas niemieckiej

kontrofensywy w Ardenach w grudniu 1944, wykazując morderczą skuteczność nowej, ściśle tajnej wówczas broni.

Najpierw płytki drukowane, które dziś często nazywane są **jednostronnymi**, wykorzystywano do celów wojskowych. Płytki **dwustronne** wykorzystano już kilka lat później (rok 1947). A w połowie lat 50. płytki drukowane trafiły do sprzętu cywilnego. Wykorzystano je też między innymi w amerykańskim programie kosmicznym.

Płytki drukowane są więc wykorzystywane od 75 lat! Ich pomysł pojawił się prawie 120 lat temu. A na stan obecny składają się pomysły i wdrożenia nie tylko Hansona i Eislera, ale też mnóstwa innych osób. Ale najbardziej spektakularny rozwój dokonał się w XXI wieku na naszych oczach. Przypomnienie szczegółów jest interesujące, pouczające i zaskakujące, a dla niejednego współczesnego konstruktora ważne jest pytanie: czy aby na pewno znam i wykorzystuję możliwości współczesnych narzędzi projektowych oraz technologii wytwarzania pytek drukowanych?

Refleksję w tych kwestiach zacznijmy od czegoś na pozór tak oczywistego, jak oprogramowanie do projektowania płytek drukowanych.

Oprogramowanie

W mrokach historii powoli niknie powiązanie nazwy Racal-Redac z płytkami drukowanymi. A właśnie ta brytyjska firma, która

powstała w roku 1965, zaczęła prace nad wykorzystaniem ówczesnie dostępnych komputerów do projektowania płytek drukowanych, co zaowocowało pojawieniem się pierwszych rozwiązań programowych około roku 1970. Podobne prace prowadzono też na niektórych uniwersytetach.

Należy podkreślić, że ówczesne komputery na pewno nie były współcześnie znanymi pecetami, czyli komputerami osobistymi. Przypomnijmy, że IBM PC pojawił się w roku 1981, a lata 80. to rozkwit komputerów osobistych (personal computers), takich jak kojarzony z polskim imigrantem Jackiem Trzmielcem (Tramielcem) Commodore, a także Amiga i Atari. Wspomniane oprogramowanie Rascal-Redac zainstalowano w roku 1970 na wypuszczonym właśnie na rynek 18-bitowym komputerze DEC PDP-15/20 zrealizowanym na układach TTL (czyli na komputerze dużo mniej popularnym od znanego rówieśnika PDP-11 i minikomputera PDP-8).

Choć korzenie **CAD (Computer Aided Design)** i **EDA (Electronic Design Automation)** niewątpliwie sięgają zamierzchłej epoki przed-pecetowej, jednak początki współczesnych programów projektowych należy łączyć raczej z firmą, która została założona w USA w roku 1985 w Hillsboro, w stanie Oregon. Miała ona dostarczać oprogramowanie wspomagające projektowanie (CAD), przede wszystkim projektowanie elektroniki. Aby podkreślić pochodzenie ze stanu Oregon, firmę nazwano... OrCAD.

I właśnie OrCAD w roku 1985 wypuścił na rynek DOS-owy program do rysowania schematów, nazwany **SDT (Schematic Design Tools)**, który szybko zdobył uznanie i długo cieszył się ogromną popularnością. Nieco później zaprezentowano program do projektowania płytek. Starsi Czytelnicy pamiętają, że OrCAD szybko trafił także do Polski, upowszechnił się w postaci niezliczonych pirackich kopii i służył najczęściej tylko do rysowania schematów. Natomiast projektowanie płytek realizowane było w innym programie, najczęściej **Tango** albo **Autotrax**.

I tu trzeba przypomnieć następną kluczową firmę: australijski Protel. To Protel był twórcą **Autotraxa** i jego wersji zwanej Tango, sprzedawanej na amerykańskim rynku przez firmę ACCEL. Począwszy od późnych lat 80., dla wielu ówczesnych hobbystów i profesjonalistów standardem był komplet **OrCAD + Autotrax**.

Trzeba też odnotować, że niektórzy profesjonalści już pod koniec lat 80. wykorzystywali **pikada**, czyli pakiet **P-CAD**.

Ostatnie 30 lat przyniosło szereg zmian na rynku oprogramowania, czego dobrym przykładem są trzy wymienione programy i sprzedające je firmy. OrCAD nie tylko w Polsce stracił popularność, głównie na rzecz pakietu Protel. Zapewne nie tylko u nas przyczyną było wprowadzenie antypirackich kluczy sprzętowych, niezbędnych do pracy z OrCAD-em, podczas gdy DOS-owy Autotrax praktycznie nie miał żadnych zabezpieczeń, a Windowsowy Protel – bardzo słabe. Do dziś nie ma jasności, na ile była to celowa polityka Protela. OrCAD ze swoim ogromnym dorobkiem został przejęty przez Cadence Design Systems w 1999, a od 2005 jest częścią pakietu **Allegro (Cadence Allegro)**.

DOS-owy **Autotrax** został zastąpiony przez Windowsowy **Protel**. Najbardziej i bardzo długo popularna była bardzo słabo zabezpieczona przed piractwem wersja **Protel99SE**. Różnorodne informacje ze stron internetowych świadczą, iż jest wykorzystywana do dziś, choć sprawia poważne kłopoty na komputerach z nowymi wersjami Windows. Z czasem program, a raczej już potężny pakiet Protel został zastąpiony przez **Altium Designer**. Niepozorna australijska firma odniosła ogromny sukces, po drodze podlegając znaczącym przekształceniom, zmianom i rozwojowi. Kolejne wersje **Altium** oferowały coraz większe możliwości. Mnóstwo osób przyzwyczajonych najpierw do **Autotraxa**, potem do **Protela**, bez większego trudu przesiadło się na kolejne wersje potężnego pakietu **Altium**, którego zalety mogą docenić tylko profesjonalści. Aktualne możliwości wręcz prezentują hobbystów.

Warto wspomnieć, że po drodze zasłużony **P-CAD** stał się własnością Altium i właśnie tam są dziś dostępne ostatnie aktualizacje tego programu (<https://bit.ly/2JjQJ4k>).

ICAPE GROUP PRINTED CIRCUIT BOARDS



CENA



CZAS



JAKOŚĆ

NASZE KOMPLEKSOWE USŁUGI PCB SPĘLNIĄCĄCE TWOJE WYMAGANIA



22 MILIONY PCB
dostarczane co miesiąc



10 TECHNOLOGII PCB
żeby zaspokoić wszystkie potrzeby



115 MLN PRZYCHODÓW
ze sprzedaży w 2018 roku

YOUR EXPERT SERVICES PROVIDER IN CHINA*



www.icape-group.com

Racal-Redac pod koniec lat 80., stworzył program CADSTAR, który po różnych zakrętach z czasem stał się własnością japońskiego koncernu Zuken.

W latach 80. powstał też program PADS, który po licznych przejęciach trafił do Mentor Graphics, aktualnie Mentor, a Siemens Business i obecnie ma dość istotny związek z Polską.

Interesującą historię ma też program Ultiboard, który w latach 80. powstał jako **ULTiboard** w holenderskiej firmie Ultimate Technology i pod koniec lat 80. stał się dobrze znany w Europie (ale mniej w Polsce) dzięki umiejętnej i specyficznej kampanii marketingowej, nieprzypadkowo skierowanej głównie do studentów. Dziś **ULTiboard** jest promowany przez NI (National Instruments), nie tylko w związku ze sprzętem, ale też z uwagi na ścisłe powiązanie z popularnym wśród studentów symulatorem **Multisim**, następcą **Electronic Workbench**.

W ciągu ostatnich 30 lat powstało też mnóstwo innych programów i pakietów projektowych. Oprócz wyżej wspomnianych, należałoby wymienić niektóre z tych, które przetrwały i są wykorzystywane do dziś: popularny **EAGLE** (CadSoft Computer GmbH od roku 1988, obecnie Autodesk Inc.), bardzo chwalony przez niektórych **DipTrace** (Novarm, od 2002), darmowy obecnie **DesignSpark** (RS Components) oraz z zasady darmowy **KiCad** (Jean-Pierre Charras z IUT Grenoble od roku 1992).

Niektóre dostępne dziś programy/pakiety są bardzo kosztowne, co dziwi mniej zorientowanych. Inne są całkowicie darmowe, niektóre tylko na pozór. Interującym przykładem może być **DesignSpark**, który co najmniej zachęca do korzystania z szerokiej oferty dystrybutora podzespołów RS Components, co może być uznane jako istotna zaleta. Interujące może też być prześledzenie historii związku **EAGLE** i Altium z ofertą dystrybutora podzespołów Farnella.

Tu można też wspomnieć o ślepej uliczce, jaką dla wielu okazjonalnych projektantów są darmowe programy, takie jak **ExpressPCB**, które nie pozwalają wygenerować standardowych plików produkcyjnych i wymuszają wykonanie płytek w firmie producenta oprogramowania.

W każdym razie oferta narzędzi projektowych jest szeroka. Skończyła się epoka pirackich kopii programów. Dla przytłaczającej większości hobbystów kluczowym czynnikiem jest to, czy program jest darmowy. Stąd popularność **KiCada** oraz wersji free **EAGLE**. Kryterium ceny z konieczności ma też znaczenie dla wielu profesjonalistów, zwłaszcza pracujących w mniejszych firmach. Praktyka pokazuje, że bardzo istotnym czynnikiem jest też pomoc i opieka ze strony producenta oprogramowania.

Jednak przy dzisiejszych, rosnących wymaganiach, coraz większe znaczenie mają możliwości programu/pakietu projektowego i dostępne biblioteki. Coraz większe znaczenie mają też możliwości autorutera. A jak powszechnie wiadomo, proste autorutery niewiele pomagają. Nic dziwnego, że wielu konstruktorów doceniło droższe pakiety.

Jednak przyzwyczajenie jest drugą naturą – w Internecie można znaleźć informacje, że niektórzy projektanci nadal wykorzystują zaskakująco stare wersje programów. Są zadowoleni, bowiem przez lata praktyki nauczyli się obsługiwać program projektowy z zamkniętymi oczami. Problem pojawia się, jeśli trzeba zaprojektować płytkę zawierającą najnowocześniejsze elementy, pracujące przy dużych częstotliwościach lub wymagające optymalizacji pod względem termicznym. Wtedy możliwości posiadanego programu mogą się okazać niewystarczające. Problemem może się też okazać brak odpowiednich bibliotek, a jeszcze poważniejszym kłopotem może się stać brak umiejętności i przyzwyczajenia. Dlatego nawet najbardziej zadowoleni użytkownicy starych i prostych programów powinni zapoznać się z obsługą i możliwościami współczesnych narzędzi. Podkreślimy, że wszystkie „prawdziwe” programy do projektowania **PCB** pozwalają wygenerować standardową dokumentację.

Standardowa dokumentacja

Dawniej wszystkie drogi prowadziły do Rzymu, a dziś wszystkie programy do projektowania płytek prowadzą do **gerbera**: z każdego „prawdziwego” pakietu projektowego uzyskujemy **stare dobre gerbery** oraz **pliki owierty**. Choć niektórzy wytwórcy gotowi są przyjąć natywne pliki z niektórych pakietów projektowych, jednak generalnie do dziś standardową dokumentacją służącą do wykonania płytek drukowanych są rysunki poszczególnych warstw w postaci plików **gerbera** oraz pliki wierceń (**NC Drill** dla wiertarek numerycznych), najczęściej w formacie **excellon**.

Tu warto wspomnieć, że niekwestionowany standard **gerbera** został stworzony przez Gerber Systems Corp. już w roku 1980. W tamtych czasach drukarki były prymitywne i do realizacji rysunków wykorzystywano plotery (plottery). Do naświetlania klisz służyły fotopltery (m.in. produkowane przez Gerbera), które rysowały wektorowy obraz (ścieżek) za pomocą plamek świetlnych różnej wielkości. Dziś klisze/maski z reguły naświetlane są inaczej, niemniej **format gerbera** jest prostym, czytelnym nawet dla człowieka opisem **niezbędnych śladów plamek (apertur)**.

Plikami **gerbera** nazywa się otwarte pliki tekstowe realizowane według standardu oznaczonego **RS-274**. Początkowo była to prosta wersja **RS-274-D**, aktualnie jest to rozszerzona (eXtended) specyfikacja **RS-274X (GerberX)**, wprowadzona w roku 1991, dziś dostępna w Ucamco, wcześniej Barco ETS, która wchłonęła Gerber Systems Corporation.

Pliki **gerber** i **excellon** wystarczą do stworzenia płytek. Natomiast dla automatów montujących elementy na płytkach (**CAM – Computer Aided Manufacturing**) niezbędne są dodatkowe informacje. Ponadto pliki projektu zawierają też schemat ideowy (elektryczny) oraz informacje związane z symulacją i to nie tyle schematu, co symulacją konkretnej płytki i jej specyfiki. Podjęto próby, żeby ujednotwić **format informacji projektowych i wykonawczych**, jednak jak na razie z kilku powodów nadal trzeba konsultować z wykonawcami szczegóły dotyczące wymagań i ograniczeń oraz przygotowania dokumentacji. To odrębny, szeroki temat, który tak czy inaczej doprowadza nas między innymi do **IPC**.

Wiekowe formaty **gerber** i **excellon** są przyjazne dla człowieka, jednak mniej zorientowani obawiają się, czy prawidłowe są ustawienia stosowane przez nich podczas generowania takich plików (miara metryczna czy calowa, liczba cyfr znaczących). Obawiają się, czy aby przyjęte ustawienia nie wpłyną na jakość płytki. Ma to związek z faktem, że dawniej przy projektowaniu pytek wykorzystywano miarę calową i raster, skok siatki, był calowy (zwykle 50 milsów). Natomiast wszystkie nowoczesne układy scalone **SMD** mają wprowadzenia w rastrze milimetrym. Jest to pewne utrudnienie, ale tylko przy projektowaniu pytki, a nie przy generowaniu plików produkcyjnych. Choć poszczególne zakłady wytwórcze mają rozmaite preferencje, wspomniane ustawienia nie są problemem, między innymi dlatego, że generowane są otwarte pliki tekstowe, które łatwo otworzyć, sprawdzić i ewentualnie zmodyfikować/przekonwertować, albo stworzyć od nowa. Problem różnic i rozmaicie pojmowanej jakości płytek nie ma też żadnego związku z faktem, że format **gerbera** jest tak stary. O jakości finalnej płytki zadecydują dwie grupy czynników. Jedna grupa ma związek z faktyczną realizacją płytek w lepszym czy gorszym zakładzie produkcyjnym. Druga obejmuje zaawansowane możliwości pakietu projektowego związane z hasłami *signal integrity*, *power integrity* oraz właściwościami termicznymi. A na razie wspomnijmy o **IPC**.

Dylematy i błędy

Poszczególne wytwórcy płytek drukowanych wykorzystują rozmaite technologie, różny sprzęt, wykazują większą lub mniejszą staranność i dbałość o szczegóły, a to przekłada się nie tylko na możliwości i ograniczenia techniczne, ale też na uzyskiwaną jakość produkowanych płytek.

Oto prosty, a może nawet nadmiernie uproszczony przykład: w programie projektowym w komputerze można ustawić niemal dowolnie małą szerokość ścieżek, tylko kilka milsów (np. 6 milsów to 0,15 mm).

Jest to atrakcyjne dla mniej doświadczonych, młodych projektantów i nie budzi ich obaw. Powodem może być wygoda projektowania i upychania dużej liczby połączeń, ale być może niedoświadczony projektant wybrał takie ustawienia tylko dla sportu. Potem, z upływem czasu okazuje się, że urządzenia na tak zaprojektowanych płytkach wykazują zdecydowanie za dużą awaryjność, co dla producenta oznacza dodatkowe koszty i utratę dobrej opinii. Dopiero po żmudnym i kosztownym dochodzeniu okazuje się, że przyczyną są zbyt wąskie ścieżki, które ulegając podtrawianiu, nie mają jednakowej, nominalnej szerokości i w niektórych miejscach ulegają przerwaniu albo od razu, albo co gorsza, dopiero po pewnym czasie pracy w niesprzyjających warunkach.

Nie oznacza to automatycznie, że winę ponosi wytwórca płytek drukowanych. Nie jest też najważniejsze, jakie **parametry minimalne** podaje ten producent płytek w zakresie skrajnych, ale dopuszczalnych szerokości, odległości, odstępów, średnic. W grę mogą wchodzić dodatkowe okoliczności, choćby właśnie (niesprzyjające) warunki, w jakich pracują finalne urządzenia.

Inny znany i prosty przykład to łączenie pól małych padów lutowniczych i przelotek z wąskimi ścieżkami. Wiadomo, że wraz ze zmniejszaniem rozmiarów zaleca się, by miedź miała kształt lezki (**teardrop**), jak pokazują przykłady z **rysunku 1**.

Można podać wiele takich przykładów uściślenia wymagań. Oczywiście każdy konstruktor zna zasady projektowania płytek. Jednak czym węższe ścieżki oraz mniejsze pady i otwory, tym tego rodzaju problemy, ostrzeżenia i wskazówki są bardziej brzemienne w skutkach. Nieznajomość zagrożeń może się boleśnie zemścić. Tu widać ważny powód, dla którego projektanci płytek muszą uaktualniać swoją wiedzę.

Ale nie tylko projektanci płytek. Dość często konstruktorzy, a przede wszystkim autorzy pomysłów korzystają z usług nie tylko producentów płytek, ale też osób czy firm, projektujących płytki na zlecenie. Zasadniczo projekt jest powierzany w ręce fachowców, jednak zlecający zaprojektowanie i wykonanie płytek może mieć wątpliwości co do kwalifikacji i jakości pracy zleceniobiorcy, zwłaszcza gdy w grę wchodzi minimalizacja kosztów. Ktoś może wybrać firmę, która zleca wykonanie płytek w firmach odległych kilka tysięcy kilometrów od Polski, oferując mnóstwo opcji, niemal dowolny stopień skomplikowania i przystępne ceny dużych serii. Ktoś inny świadomie i z przekonaniem popartym doświadczeniami wybierze niewielkiego krajowego producenta, któremu można spojrzeć prosto w oczy i który dzięki solidności utrzymuje się na niełatwym rynku.

Problem wyboru producenta lub zewnętrznego projektanta też jest złożony, niemniej i ten aspekt prowadzi nas do **IPC**.

IPC i szkolenia

Przypomnijmy, że **IPC** to amerykańskie stowarzyszenie handlowe, które powstało w roku 1957 jako **Institute for Printed Circuits**, stąd skrót. Już w roku 1958 wydało ono książkę *How to Design and Specify*

Printed Circuits, która zawierała bogaty zestaw informacji i wskazówek nie tylko dla projektantów płytek drukowanych.

Dziś **IPC** to poważna światowa organizacja międzynarodowa, której oficjalna nazwa to **Association Connecting Electronics Industries**. Zrzesza kilka tysięcy członków. Nie tylko określa ona zalecenia i standardy, jakim powinny odpowiadać urządzenia elektroniczne, ale też wskazuje kierunki rozwoju.

Przynależność do **IPC** jest atutem producentów elektroniki, w tym głównie płytek drukowanych, ponieważ wskazuje, że spełniają oni wymagania (liczne) **standardów IPC**. Tak, ale istnieje mnóstwo mniejszych wytwórców, którzy mimo braku formalnych związków z IPC i jej publikacjami produkują wysokiej jakości płytki. Istnieją też producenci podkreślający, że ich wyroby nie tylko spełniają, ale przewyższają wymagania standardów **IPC**. Także i tu sytuacja jest złożona i nie ma prostych rozstrzygnięć co do wyboru najlepszego wykonawcy, niemniej **standardy IPC bez wątpliwości były i są punktem odniesienia w zakresie płytek drukowanych**.

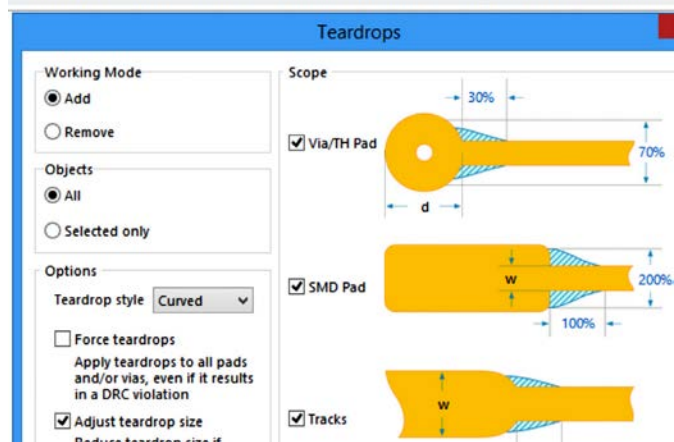
Jeden, oczywisty aspekt to stosowanie dobrych zasad i standardów przez projektantów oraz producentów płytek. Drugi aspekt, nie mniej ważny, a słabiej doceniany, to znajomość kryteriów oceny produkowanych płytek i finalnych urządzeń u zleceniodawcy przez osoby mające rolę decyzyjną i kontrolną albo w inny sposób związane z płytkami drukowanymi.

Dawnie postęp w elektronice nie był tak szybki. Wiadomości zdobyte na studiach i w pracowni pierwszym okresie zdobywania doświadczenia pozostawały aktualne przez wiele lat. Niestety, dziś jest inaczej. Gwałtowny postęp, a co ważniejsze, coraz bardziej restrykcyjne wymagania zmuszają do ciągłego dokształcania się. I to nie tylko projektantów płytek, którzy nie powinni utknąć w starych koleinach archaicznych programów i przyzwyczajęń. Problem postępu, rozwoju, konkurencji, często ostrej, a nawet morderczej, coraz bardziej zwraca uwagę na potrzebę wartościowych szkoleń nie tylko konstruktorów i projektantów. Dla firmy niewystarczające może się okazać zatrudnienie wysokiej klasy projektanta płytek i zapewnienie mu nowoczesnych, kosztownych narzędzi. Nie tylko w branży elektronicznej wiele firm decyduje się na kompleksową ucieczkę do przodu, co wiąże się z nauką i szkoleniami dla szerszego grona pracowników. Dotyczy to w szczególności właśnie zagadnień związanych z płytkami drukowanymi.

W drodze do HDI

Wbrew często powtarzanym przez purystów językowych opiniom, **jednostronne płytki drukowane istnieją!** To prawda, iż określenie **płytki dwustronna** generalnie trąci tautologią, jednak **nieprawdą jest, że nie ma płytek drukowanych jednostronnych**. Są, istnieją, i wielu producentów płytek potrafi takowe wykonać. Wielu, ale nie wszyscy...

//www.altium.com/documentation/16.1/display/ADES/PCB_Dlg-TeardropOptionsForm



Rysunek 1.

REKLAMA

OBWODY DRUKOWANE

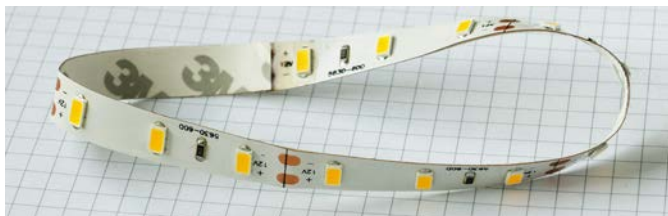
- płytki jednostronne i dwustronne
- płytki na podłożu aluminiowym
- testy elektryczne płytek
- pokrycia płytek: cyna lub cyna/ołów





Faldruk S.C.

Faldruk s.c., 05-462 Emów, ul. Wiązowska 2E
tel. +48 22 872 43 01, 612 67 76, +48 698 468 850
biuro@faldruk.pl, www.faldruk.pl



Fotografia 2.

Mianowicie elastyczną płytkę drukowaną o podłużnym kształcie można ukształtować w postaci **wstęgi Möbiusa**, która jak powszechnie wiadomo, jest **powierzchnią jednostronną**.

Oto rozstrzygający dowód, który albo zadowoli, albo rozżłości purystów: na **fotografii 2** masz prosty przykład **jednostronnej płytki drukowanej**. Autor artykułu wykonał ją w ciągu kilku minut, wykorzystując kawałek taśmy oświetleniowej LED. Czytelniczy, którym po tych rozważaniach (nie) zakręciło się w głowie, mogą się też bliżej zainteresować ewidentnie **jednostronną butelką Kleina**.

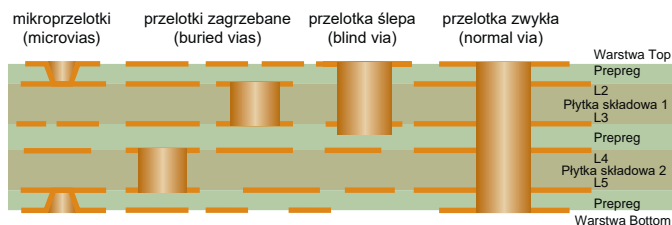
Wyjaśnwszy żartobliwie kontrowersyjną językowo kwestię płytek jednostronnych, możemy przejść do ewidentnie najpopularniejszych **plytek dwustronnych**, które najprościej biorąc, dzielą się na **jednowarstwowe**, **dwuwarstwowe** i **wielowarstwowe**, gdzie słowo **warstwa** dotyczy oczywiście liczby warstw miedzi (warstw przewodzących).

Płytki **jednowarstwowe**, nadal ze względu na cenę stosowane w najtańszych i prostych urządzeniach, mają podstawową wadę: brak metalizowanych otworów, przez co ścieżki i punkty lutownicze mogą się odklejać od laminatu. Niewiele dziś droższe płytki **dwuwarstwowe** z reguły mają metalizowane otwory, co eliminuje wspomnianą wadę, a za to pogłębia trudność przy demontażu elementów przewlekanych. **Dziś standardem są płytki dwuwarstwowe z laminatu znanego jako FR-4** (tkanina z włókna szklanego i żywica epoksydowa), a tańsze płytki jednowarstwowe zazwyczaj wykonywane są z laminatu fenolowego określanego jako **FR-2**, potocznie nazywanego **papierowym**. Grubość większości płytek to około 1,5 mm, ale spotyka się też płytki dużo cieńsze (np. 0,3 mm) i dużo grubsze (np. 6 mm).

Jak wiadomo, produkowane są też giętkie pytki na podłożach elastycznych (popularny przykład na **fotografii 2**) oraz połączenia płytek sztywnych (**rigid**) z elastycznymi (**flex**).

Jak wiadomo, proces technologiczny produkcji **plytek dwustronnych** polega nie tylko na wytrawianiu ścieżek i wywierceniu otworów, ale też na **metalizacji otworów**. Szczegóły procesu metalizacji mogą być różne, ale z reguły miedź jest nakładana nie tylko wewnątrz otworów, ale też na istniejące ścieżki i pola lutownicze, co korzystnie zwiększa grubość wszystkich ścieżek.

Laminat FR-4 jest bardzo popularny, nie tylko w wersji 1,5-milimetrowej. Wykorzystywane są arkusze cieńsze, także dużo cieńsze. Te dużo cieńsze zwykle służą do realizacji **plytek wielowarstwowych**. **Płytki wielowarstwowe** występują w używanym przez nas sprzęcie, ale nie zawsze mamy tego świadomość, ponieważ grubość i wygląd bywają identyczne, jak standardowych płytek dwuwarstwowych. Warto przypomnieć, że płytki wielowarstwowe są produkowane w sposób podobny jak płytki dwuwarstwowe, a podstawowa różnica związana jest z przelotkami. Mówiąc



Rysunek 3.

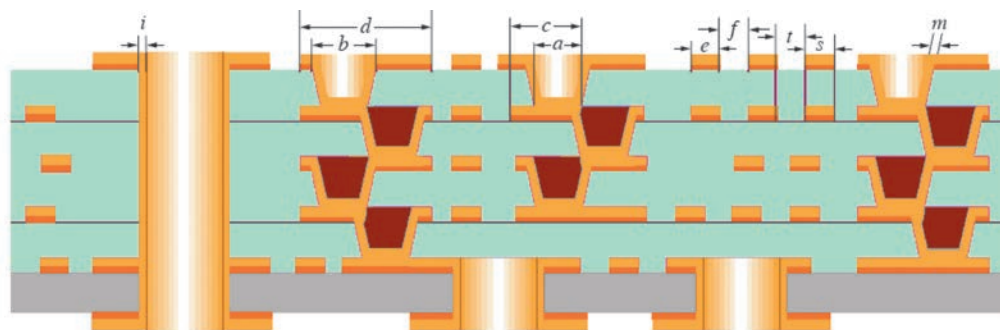
najprościej, **płytką wielowarstwową** to **kanapka sprasowana z cienkich wcześniej przygotowanych płytek dwuwarstwowych**, a dla oddzielenia sąsiednich płytek składowych stosowane są cienkie warstwy izolacyjne laminatu bez miedzi nazywane **prepregami** (**pre-preg** od ang. **pre-impregnated**).

W wersji prostszej przelotki (**vias**) są wiercone i metalizowane w finalnej płytce wielowarstwowej już po sprasowaniu warstw. W takiej płytce występują tylko zwykłe, „przelotowe przelotki”. Jeżeli otwór przelotki nie jest wiercony na wylot przez całą grubość płytki, tylko do pewnej głębokości, to późniejsza metalizacja połączy jedynie niektóre warstwy miedzi – wtedy mówimy o **przelotkach ślepych (blind vias)**. Jeżeli natomiast przelotki są wiercone i metalizowane wcześniej, w poszczególnych płytkach składowych przed prasowaniem, wtedy mamy płytkę z **przelotkami zagrzebanymi (buried vias)**. Ilustruje to **rysunek 3**.

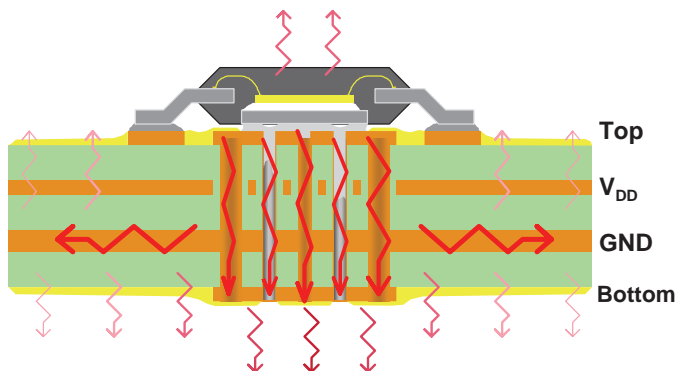
Z lewej strony rysunku 3 mamy **mikroprzelotki (microvias)**. Rozmiary współczesnych elementów są małe, a rozstaw ich wyprowadzeń coraz częściej wynosi 0,5 mm albo nawet tylko 0,4 mm. Gdy takich drobnych wyprowadzeń jest wiele, a to jest powszechne w coraz popularniejszych małych obudowach **BGA (Ball Grid Array)**, stosowanie płytek wielowarstwowych staje się absolutną koniecznością. A jeśli płytką wielowarstwową zawiera mnóstwo przelotek, to z konieczności muszą one mieć jak najmniejszą średnicę. I wtedy ujawnia się kolejny problem. Otóż trudne staje się wiercenie otworów o małej średnicy, rzędu 0,3 mm i mniejszej. Do realizacji przelotek w najbardziej upakowanych płytkach, właśnie z uwagi na mały rozmiar, zaczęto wykorzystywać laser zamiast wiertła, tworząc **mikroprzelotki**.

I tak doszliśmy do **plytek HDI PCB (High Density Interconnect Printed Circuit Boards)**. Zwykle wewnętrzne warstwy płytki HDI wykonywane są tak, jak klasyczne płytki wielowarstwowe, a odmienna metoda realizacji przelotek (m.in. z użyciem lasera) dotyczy warstw zewnętrznych z jednej lub obu stron płytki. Zależnie od szczegółów realizacji rozróżnia się kilka odmian płytek HDI. **Rysunek 4** pokazuje przykład **plytki HDI typu III**.

Przedstawione informacje mogłyby być niewiele znaczącą ciekawostką, obrazującą proces postępu w elektronice i miniaturyzacji. Jednak zagadnienie ma dwa dodatkowe bardzo ważne aspekty. Projektant płytek do współczesnych urządzeń staje przed dodatkowymi



Rysunek 4.



Rysunek 5.

wyzwaniami, które jeszcze niedawno dotyczyły tylko znikomej grupy konstruktorów najnowocześniejszego sprzętu wojskowego czy lotniczego.

Jedno z tych wyzwań to fakt, że współczesne urządzenia elektroniczne są coraz bardziej energooszczędne i mają coraz wyższą sprawność energetyczną. I z tego względu, i z uwagi na redukcję kosztów oraz rozmiarów, coraz częściej płytki drukowane pełnią też funkcję radiatorów rozpraszających ciepło.

Drugi aspekt związany jest z faktem, że współczesne urządzenia, także te powszechnego użytku, są coraz szybsze, często pracują przy częstotliwościach rzędu 1000 MHz i więcej. A wtedy dają o sobie znać zjawiska falowe. W szczególności odbicia i opóźnienia sygnałów mogą uniemożliwić pracę urządzeń na płytkach zaprojektowanych bez dogłębnej znajomości problemu. Wymaga to od konstruktora dodatkowej wiedzy i doświadczenia, których zapewne nie zdobył na studiach. Wtedy znakomitą pomocą mogą być też bardziej zaawansowane pakiety projektowe.

Problem zjawisk falowych i **signal integrity** na szczęście nie dotyczy wielu powolniejszych urządzeń. Natomiast rozszerzenie wiedzy o wykorzystaniu płytki w roli radiatora jest dziś koniecznością dla każdego konstruktora. Oba zagadnienia są obszerne, a w niniejszym artykule można je tylko króciutko zasygnalizować.

Chłodzenie

Sygnalizując możliwość odprowadzania ciepła z elementów zamontowanych na płytce, należy zacząć od faktu, że wszechobecny szkłano-epoksydowy laminat FR-4 ma bardzo słabe właściwości termiczne, a konkretnie bardzo słabe przewodnictwo cieplne, co obrazuje poniższy wykaz:

miedź	ok. 400 W/mK
aluminium	ok. 200 W/mK
woda	0,56 W/mK
laminat FR4	0,20...0,4 W/mK
prepregi	max 1...5 W/mK
powietrze	0,024 W/mK

Co prawda laminat przewodzi ciepło mniej więcej dziesięć razy lepiej niż powietrze, ale nie ma się czym cieszyć, bo powietrze jest jednym z najskuteczniejszych izolatorów termicznych. Laminat płytki ma przewodnictwo termiczne mniej więcej tysiąc razy gorsze od aluminium i około 2000 razy mniejsze od miedzi!

W sumie laminat płytki bardzo słabo przewodzi ciepło, jednak sytuację można znacząco poprawić, odpowiednio wykorzystując

warstwy miedzi oraz przelotki. W najprostszym przypadku płytki dwuwarstwowej już kilkanaście do kilkudziesięciu przelotek może skutecznie przenieść ciepło z grzejącego się elementu na drugą stronę płytki drukowanej. A tam może łatwo zostać przekazane do radiatora albo do warstwy/płaszczyzny miedzi, która spełni funkcję radiatora (rysunek 5 z materiałów TI). W takich zastosowaniach kluczową rolę odegra grubość warstw miedzi na płytce oraz wypełnienie przelotek, co jest odrębnym, szerokim tematem.

Jak wiadomo, standardowa jednouncjowa grubość miedzi na płytce to 35 mikrometrów (jedna uncja – 1 oz = 28,35 g miedzi nałożona na 1 stopę kwadratową laminatu). Z uwagi na różne procesy obróbki, trawienia i metalizacji, rzeczywista grubość miedzi „jednouncjowej” w finalnej płytce może być mniejsza lub większa nawet o kilkadziesiąt procent. Płytki z grubszymi warstwami miedzi 2 oz (70 μm), 3 oz (105 μm), a nawet jeszcze grubsze, stosuje się nie tylko z uwagi na gęstość prądu i grzanie ścieżek ciepłem Joule'a ($P=I^2R$), ale coraz częściej właśnie z uwagi na odprowadzanie ciepła z półprzewodników.

W niektórych płytkach wielowarstwowych celowo stosuje się niektóre warstwy miedzi grubsze wyłącznie w celu lepszego odprowadzania ciepła.

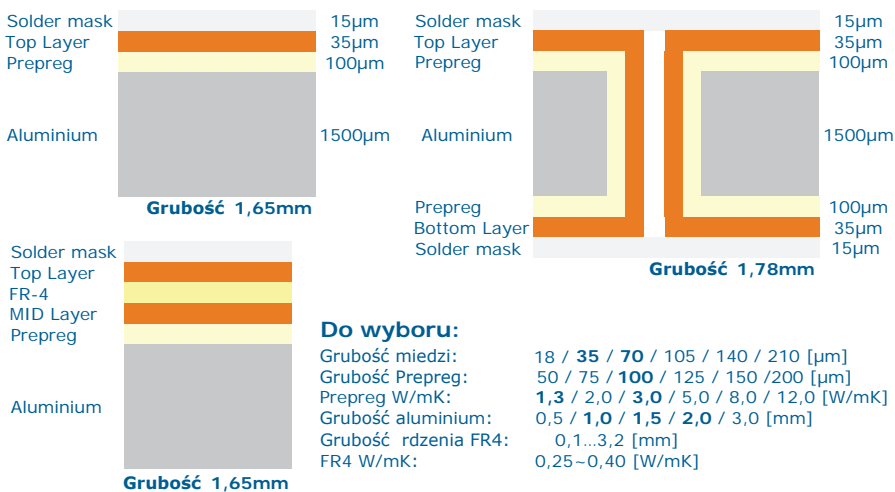
Drugim, jeszcze skuteczniejszym sposobem, jest wykorzystanie płytek IMS (Insulated Metal Substrate), nazywanych też MCPCB (Metal Core PCB). W najpopularniejszej wersji nie ma tu laminatu. Podłożem jest płytka aluminiowa, na której naniesiona jest cienka warstwa tworzywa zapewniająca dobrą izolację elektryczną i stosunkowo dobre przewodnictwo cieplne (do kilku W/mK). Na tej warstwie umieszczona jest warstwa miedzianych ścieżek, które zwykle pokryte są jeszcze maską izolacyjną (soldermaską).

To jest najprostsza, najczęściej spotykana odmiana płytek metalowych. Oprócz tego niektórzy wytwórcy oferują płytki IMS z więcej niż jedną warstwą miedzi, a nieliczni także płytki z warstwami miedzi z obu stron aluminiowego rdzenia i z... przelotkami (rysunek 6).

Jak widać z tego rysunku, istnieją też płytki IMS, które oprócz rdzenia metalowego zawierają również klasyczną płytkę z laminatu FR-4.

Współczesne płytki wielowarstwowe, a zwłaszcza metalowe IMS, w skuteczny sposób odprowadzają ciepło z elementów półprzewodnikowych. Jednak uproszczone hasło **płytki jako radiator** może okazać się nietrafne. Owszem, ciepło może zostać odprowadzone z elementu półprzewodnikowego, ale powstaje pytanie: jaka będzie jego dalsza droga do otoczenia?

Przecież ostatecznym celem jest niedopuszczenie do wzrostu temperatury półprzewodnikowej struktury powyżej temperatury dopuszczalnej, która dla krzemu wynosi zwykle +150°C, dla MOSFET-ów zwykle +175°C, ale dla triaków, tyrystorów i co ważniejsze dla diod LED nadal najczęściej poniżej +150°C. O temperaturze struktury decyduje wypadkowa rezystancja termiczna między złączem a otoczeniem R_{thja} , a przecież rezystancja R_{thja} jest wypadkową szeregu termicznych rezystancji składowych. Nawet jeśli skutecznie zmniejszymy rezystancję



Rysunek 6.

termiczną samej płytki drukowanej, nie możemy zapomnieć o pozostałych składowych, które mogą się okazać wąskim gardłem na drodze ciepła ze struktury do otoczenia.

Są to zagadnienia coraz bardziej dotyczące współczesnej elektroniki, zarówno różnych urządzeń mobilnych, jak też przede wszystkim diod LED mocy i oświetlenia. Co istotne, są to zagadnienia nowe. Wcześniej- sze doświadczenie konstruktorskie może w tych dziedzinach zawieść, a ratunkiem może się okazać nie tylko zdobywanie wiedzy, ale też wykorzystanie symulatorów termicznych wbudowanych w niektóre pakiety projektowe oraz sprzętu pozwalającego zmierzyć parametry termiczne (np. kamer termowizyjnych), co z różnych względów nie jest jeszcze rozpowszechnione.

Inne materiały

Powszechnie znany laminat FR-4 może być wykorzystywany także w urządzeniach z szybkimi układami cyfrowymi oraz w sprzęcie wysokiej częstotliwości. Każdy elektronik wie, że rozwiązaniem problemu zjawisk falowych jest zastosowanie dopasowanych rezystancji linii transmisyjnych o określonej rezystancji falowej. Problem opóźnień można minimalizować, dbając o jednakową długość poszczególnych linii przekazujących sygnały cyfrowe.

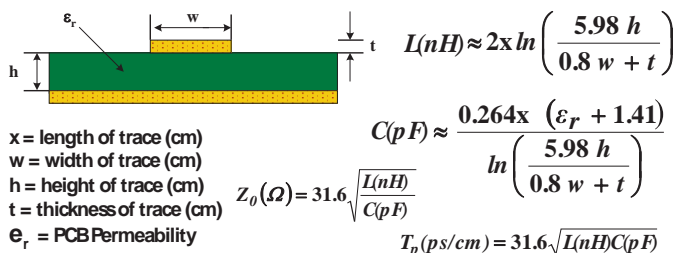
Powszechnie znane są wzory pozwalające zaprojektować linie transmisyjne o określonej impedancji (rezystancji) falowej na płytkach drukowanych. Najprostszym przykładem jest wykorzystanie płaszczyzny miedzi na jednej stronie płytki jako masy i poprowadzenie ścieżek sygnałowych po drugiej stronie płytki według rysunku 7 (wg materiałów TI – slyp173.pdf).

Impedancja falowa będzie jednak wyznaczona nie tylko przez rozmiary geometryczne, ale też przez wartość przenikalności dielektrycznej laminatu. Wprawdzie w katalogach podaje się wartość przenikalności laminatu, jednak w przypadku FR-4 często jest to wartość przybliżona, a rzeczywista przenikalność może być rozmaita nie tylko dla płytek różnych producentów, ale nawet dla różnych serii tego samego producenta. W przypadku urządzeń radiowych często ważnym parametrem jest też tłumienie sygnału wynikające z niedoskonałości dielektryka (laminatu płytki).

Dlatego w wielu zastosowaniach potrzebne są płytki drukowane o ściśle określonych i powtarzalnych właściwościach dielektryka. Na rynku oferowane są płytki drukowane na rozmaitych podłożach, które są polecane do układów w.c.z. i innych szybkich. Konstruktor dawniejszy od razu kojarzył to sobie z podłożem ceramicznym, rzadziej z teflonem (PTFE). Dziś dostępne są płytki z różnymi innymi materiałami podłoża, współczesny konstruktor coraz częściej ma z nimi do czynienia, a często kojarzą się one z nazwą rogers.

Płytki w.c.z. to odrębne zagadnienie, dotyczące w sumie niezbyt dużej grupy projektantów.

Ale w związku ze wzrostem szybkości układów cyfrowych, coraz więcej projektantów staje przed problemem zwanym **signal integrity**. O ile hasło **signal integrity**, przynajmniej teoretycznie, jest już dość znane, o tyle coraz częściej trzeba też brać pod uwagę pokrewny problem **power integrity**.



0.8mm (0.031") trace on 0.8mm (0.031") thick PCB (FR-4) has
 ~ 4nH and 0.8pF per cm
 ~ 10nH and 2.0pF per inch

ϵ_r = PCB material permeability (FR-4 ~ 4.5)

Rysunek 7.

Tu też duże znaczenie ma pakiet do projektowania płytek, bo coraz trudniej ogarnąć ludzkim umysłem wszystkie aspekty takich skomplikowanych zagadnień.

Sporo mówiliśmy o trudniejszych aspektach, które dotyczą nowocześniejszych płytek. Jednak nadal wiele, jeśli nie większość zamówień to typowe płytki dwustronne z metalizowanymi otworami realizowane na laminacie FR-4. A wtedy najważniejsza jest jakość ich wykonania.

Jakość płytek

Zleceniodawca często staje przed problemem znalezienia wykonawcy płytek. Od razu trzeba wspomnieć, że silna konkurencja oznacza presję cenową i konieczność redukcji kosztów, co może, ale nie musi niekorzystnie wpływać na jakość produkowanych płytek. Nie ma tu prostych zależności i recept. Prawda jest taka, że dawniejsi gwarantowali producenci albo wypadli z rynku, albo dostosowali się do współczesnych wymagań. Generalnie także niewielkie firmy oferują płytki dobrej jakości.

Niektórzy zleceniodawcy patrzą tylko na cenę i gotowi są zamawiać wysyłkowo u krajowych lub zagranicznych wytwórców. Ma to swoje zalety, ale i wady. Inni szukają producenta płytek w pobliżu z przekonaniem, że wcześniejsze zapoznanie się z realiami zakładu produkcyjnego oraz osobisty kontakt z wytwórcą będą sprzyjać jakości podczas dłuższej/stałej współpracy.

Odwieczny dylemat: cena czy jakość, jest nierozstrzygalny. Tym bardziej że aktualnie presja rynku wymusza i przywoiła jakość, i akceptowalne ceny. Nie ma też jedynie słusznej odpowiedzi na pytanie: **gdzie i jak znaleźć dobrego producenta płytek?**

Interesującym, a wręcz fascynującym zajęciem jest analiza wpisów o tej tematyce na forach internetowych. Jest to zajęcie nader pouczające, ale może się okazać stratą czasu, bo zamiast przybliżyć do odpowiedzi, prawdopodobnie zrodzi jeszcze więcej pytań i wątpliwości. Owszem, trzeba przyznać, że niektóre wpisy są merytoryczne i cenne, jednak prawdziwość większości jest mocno wątpliwa. Przede wszystkim są to bowiem opinie hobbystów, którzy dzielą się nie tyle długoterminowym doświadczeniem, a jedynie informacją o jednym przypadku. Najczęściej informacją negatywną, zgodnie z zasadą,

REKLAMA

Klub Aplikantów Próbek

to inicjatywa redakcji „Elektroniki Praktycznej”. W kontaktach z firmami redakcja często otrzymuje do przetestowania próbki podzespołów, modułów, a nawet całych urządzeń elektronicznych. Są to zwykle najnowsze typy/modeli produktów na rynku. Z chęcią podzielenia się z Czytelnikami tymi próbkami zrodziła się inicjatywa pod nazwą Klub Aplikantów Próbek.

Członkiem KAP staje się każdy, kto zgłosi chęć przetestowania próbki. Wykaz i krótki opis próbek, którymi dysponuje redakcja EP, można znaleźć na stronie www.ep.com.pl/KAP. Wystarczy wybrać rodzaj próbek i zwrócić się majlem (na adres: Grzegorz Becker, Szef Pracowni Konstrukcyjnej grzegorz.becker@ep.com.pl) z prośbą o przesłanie bezpłatnych próbek, podając ich nazwę i adres wysyłki. Warto dopisać jaki jest plan zastosowania tych próbek. Nie jest to konieczne, ale może mieć znaczenie przy podziale próbek w przypadku większej liczby zgłoszeń. Mile widziane, choć nieobowiązkowe, jest też przysłanie do redakcji EP opisu wykonanej aplikacji próbek, oczywiście po jej wykonaniu z zastosowaniem otrzymanej próbki. Autorom przysłanych opisów przyznamy punkty, które będą im dawały pierwszeństwo przy ubieganiu się o kolejne próbki. Najciekawsze opisy aplikacji opublikujemy na forum ep.com.pl lub na łamach „Elektroniki Praktycznej”.

Dla pełnej jasności jeszcze raz podkreślamy, że próbki przekazujemy bezpłatnie i nie trzeba ich zwracać do redakcji. Z uwagi na ograniczoną liczbę dostępnych próbek i niemałe zainteresowanie nimi, prosimy o opisanie swojego pomysłu na projekt na naszym forum internetowym, w dziale poświęconym Klubowi Aplikantów Próbek <https://forum.ep.com.pl/viewforum.php?f=80>.

Ponadto, by zwiększyć swoje szanse na bycie wybranym do realizacji projektu w oparciu o nasze próbki, należy polubić fanpage Elektroniki Praktycznej na Facebooku (<https://web.facebook.com/ElektronikaPraktyczna>) oraz udostępnić post, w którym opisujemy rozdawane próbki. W przypadku podobnie interesujących pomysłów na projekty, będziemy uwzględniać to jako dodatkowe kryterium wyboru.



www.ep.com.pl/kap

że szum robi klient niezadowolony. Owszem, liczba negatywnych opinii na forach może być wynikiem słabej jakości produkcji, jednak w grę wchodzi szereg innych możliwości i aspektów. Być może przekonanie niezadowolonego zleceniodawcy związane jest z pojedynczą wpadką solidnego skądinąd producenta, a raczej jego pracownika. Nie sposób też określić, które pozytywne opinie są wyrażane przez osoby związane z producentem, a które negatywne – przez osoby związane z konkurencją...

W wielu wypadkach sensownym rozwiązaniem okazuje się rozpoznanie walką, czyli praktyczne sprawdzenie ofert kilku wstępnie wyselekcjonowanych producentów (i tu przydałaby się znajomość kryteriów z dokumentów IPC).

Granice możliwości

Poszczególne wytwórcy płytek dysponują różnym parkiem maszynowym: sprzętem różniącym się możliwościami, w tym precyzją, dokładnością i powtarzalnością. Do tego dochodzi zwyczajna, ludzka (nie)staranność i (nie)dokładność pracowników, którzy faktycznie te płytki wykonują. Czynniki te nabierają coraz większego znaczenia wraz ze zmniejszaniem rozmiarów padów, otworów i szerokości ścieżek.

Praktycznie każdy producent płytek ma na swojej stronie internetowej wyszczególnione nie tylko możliwości, ale też ograniczenia.

Niektórzy wytwórcy zamieszczają na swoich stronach obszerne wskazówki, a wręcz poradniki. Inni jedynie zwięźle przedstawiają ofertę, określając dostępne materiały i formaty płytek, maksymalną liczbę warstw miedzi, graniczne wartości rozmiarów, w tym minimalne średnice otworów, minimalne szerokości ścieżek i odstępów, a także szczegóły dotyczące wykończenia powierzchni. Oprócz standardowego ołowiuowego i bezołowiowego cynowania na gorąco z nożem powietrznym (HAL, HASL: Hot Air Leveling, Hot Air Solder Leveling), oferowane są różne inne sposoby wykończenia powierzchni, w tym złocenie immersyjne na podłożu niklu (ENIG Electroless Nickel/Immersion Gold).

Najczęściej soldermaska, czyli maska (anty)lutownicza nie musi być standardowa, czyli zielona, ale może być czarna, biała lub mieć inny atrakcyjny kolor. Większość producentów oferuje też elastyczną maskę zrywalną (peelable mask) oraz inne dodatki.

I tu dochodzimy do kolejnego istotnego punktu.

Współpraca z wykonawcą

Płytki drukowane nadal przez wielu traktowane są jako oczywisty, a przez to mało ważny składnik urządzenia elektronicznego. Jednak w związku z postępem technicznym, zwłaszcza miniaturyzacją, właściwości i jakość płytek stają się coraz bardziej istotne. Bieżąca współpraca z producentem, stosowanie się do jego wskazówek i wykorzystywanie oferowanych możliwości może mieć ogromne znaczenie.

Z jednej strony chodzi o coś tak oczywistego, jak odsetek płytek z ewidentnymi błędami fabrycznymi, w tym zwarciami i przerwami, co zależy zarówno od projektanta płytki, jak i od wykonawcy. Podobnie jasne są leżące wyłączenie po stronie wykonawcy kwestie dokładności, jednorodności i powtarzalności wykonania, w tym

grubości warstw przewodzących i izolacyjnych oraz kwestie precyzji wykonania, w tym dopasowania warstw i masek oraz zachowania czystości i innych kluczowych parametrów procesu. Zaniedbania w tym zakresie mogą zaowocować kłopotami już na etapie montowania, lutowania i testowania układów. Pokrewną kwestią jest jakość podłoża (laminatu) i połączeń, skutkująca zwiększeniem awaryjności finalnych urządzeń, ale dopiero po dłuższym okresie pracy w trudnych warunkach. To są kwestie do rozważenia i zbadania dla wszystkich zleceniodawców, którym zależy na jakości finalnych urządzeń.

Bezpośrednia współpraca z producentem i wykorzystywanie wszystkich oferowanych przezeń możliwości ma też drugi ważny aspekt. Otóż nadal w przypadku większości zleceniodawców w zakresie zainteresowań leżą jedynie standardowe płytki dwustronne oraz prostsze jednostronne na laminacie FR-4 lub FR-2. Jednak coraz częściej aż prosiłoby się przynajmniej rozważyć wykorzystanie metalowych płytek IMS, a w innych konstrukcjach płytek wielowarstwowych, ewentualnie także elastycznych. Coraz więcej krajowych firm, ściślej krajowych producentów, ma takowe w swojej ofercie. Warto więc połączyć możliwości współczesnych programów projektowych, umiejętności konstruktorów i projektantów płytek oraz solidność i jakość wykonania płytek drukowanych.

Piotr Górecki

REKLAMA

Nie przegap! interesujących materiałów w siostrzanym czasopiśmie



www.elportal.pl

A może masz pomysły na ciekawy artykuł lub projekt?
Skonstruowałeś urządzenie,

które jest godne zaprezentowania szerszej publiczności?

Możesz napisać artykuł edukacyjny?

Chcesz podzielić się doświadczeniem?

W takim razie zapraszamy do współpracy
na łamach Elektroniki dla Wszystkich.

Kontakt: edw@elportal.pl

EdW możesz zamówić na

www.ulubionykiosk.pl

Do kupienia również w Empikach

i wszystkich większych kioskach z prasą.

W czerwcowym wydaniu Elektroniki dla Wszystkich między innymi:

MiniMeter

Bardzo starannie zaprojektowany i oprogramowany układ o miniaturowych rozmiarach, mający ogromne możliwości pomiarowe. Przeznaczony nie tylko do eksperymentów monitor, kontrolujący cyfrowe interfejsy i szyny zasilania.

Zaawansowana sonda logiczna

Ciekawy projekt sondy logicznej, mającej wiele dodatkowych możliwości, np... wbudowany oscyloskop.

Wzmacniacze klasy D

Artykuł prezentuje koncepcje, ale co jeszcze ważniejsze, także podstawowe problemy, wyzwania, ograniczenia i rozwiązania występujące we współczesnych wzmacniaczach impulsowych klasy D.

Odkrywamy schematy.

Zasilacz OTV LCD Funai LT5-S20BB

Artykuł pokazujący praktyczne podejście do serwisu współczesnych urządzeń, gdzie wymagane jest nie tylko odzyskanie schematu metodą „reverse engineering”, ale też dogłębna analiza działania układu.

Combo tester... pilotów

Zaskakujący pomysł, ponieważ układ służy do testowania nie tylko popularnych pilotów z diodą podczerwoną IR, ale też szerokiej gamy najrozmaitszych pilotów radiowych.

Ponadto w numerze:

- Akcesoria do częstotściomierza
- Infinity – system automatyki domowej. Protokół komunikacyjny magistrali RS485
- Czujnik smogu IoT, część 2
- LTspice łągodnie, ale po barbarzyńsku – skrót
- Analogowy regulator obrotów wentylatora
- Poznaj układy PLD, część 6
- Kurs Arduino, odcinek 16
- Książka o urządzeniach lampowych okiem starego praktyka
- Szkoła Konstruktorów – Układ elektroniczny przydatny w nocy
- Szkoła Konstruktorów – Zaproponuj wykorzystanie dowolnego gotowego, fabrycznego modułu albo lepiej kilku modułów