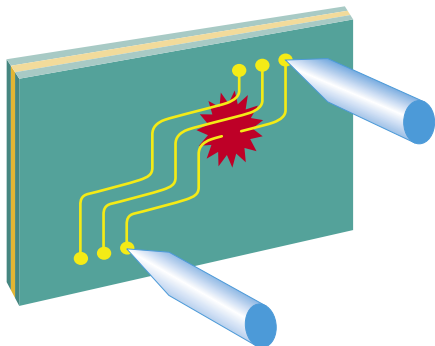


Testowanie płytek drukowanych

Przypuśćmy, że w paczce elementów przygotowanych do seryjnego montażu znalazł się wadliwy egzemplarz. Wykrycie go na tym etapie oznacza niewielką stratę w postaci konkretnego elementu, co nawet w przypadku zaawansowanego układu scalonego stanowi jedynie niewielki ułamek wartości finalnego urządzenia. Jeżeli jednak uszkodzony podzespół trafi do montażu to da o sobie znać dopiero podczas uruchamiania gotowej płytki. W tym momencie straty stają się już całkiem dokuczliwe. Uznając moduł za nienaprawialny i umieszczając go w koszu na śmieci, ponosimy koszt płytki, montażu, kompletu przylutowanych elementów i wreszcie zmarnowanego czasu osoby zajmującej się uruchamianiem. Decydując się na naprawę musimy uwzględnić dodatkowy nakład pracy zużytej na szczegółową diagnozę uszkodzenia i wymianę elementów. W przypadku gdy na module znajdują się np. układy w obudowach klasy BGA taka wymiana może się okazać wykonalna jedynie dla osoby dysponującej odpowiednim sprzętem i kwalifikacjami. Jeszcze gorzej, gdy uszkodzenie zostanie wykryte dopiero w gotowym urządzeniu zainstalowanym u docelowego użytkownika. Do listy strat trzeba wówczas dopisać koszty przestoju (jeżeli np. uszkodzeniu uległ sterownik linii produkcyjnej), obsługi gwarancyjnej a przede wszystkim trudną do wyceny utratę wiarygodności produktu w oczach klienta. Jak łatwo zauważyć straty spowodowa-

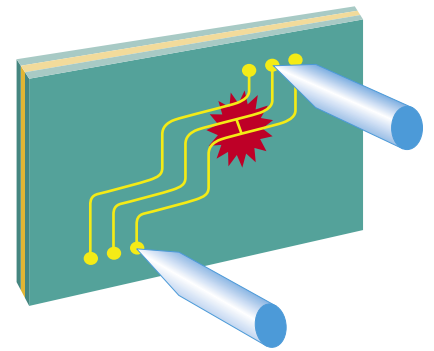


Rys. 1. Test ciągłości ścieżek

Znana zasada mówi, że o niezawodności urządzenia decyduje jego najłabszy komponent. Druga reguła – niestety łatwo lekceważona – podpowiada, że im wcześniej uda się go wykryć i wyeliminować, tym mniejsze będą straty jakie spowoduje.

ne wadliwym komponentem są tym większe im później usterka zostanie wykryta. Zarazem tempo w jakim przyrastają stanowi przekonywujący argument aby przygotowując produkcję nie zapomnieć o testach weryfikujących poprawność wykonania każdego etapu.

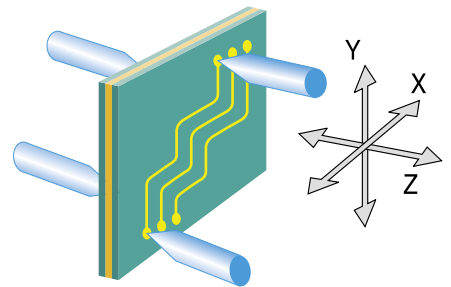
Zaopatrując się u wiarygodnego dostawcy zazwyczaj kierujemy się przekonaniem, że oferowane podzespoły pochodzą z oficjalnego kanału dystrybucyjnego producenta, przez co unikamy ryzyka podróbek (przypomnijmy casus szlifowanych procesorów) a przede wszystkim nabywamy produkt, który przeszedł przez wszystkie testy na linii produkcyjnej i z wysokim prawdopodobieństwem spełnia warunki określone w karcie katalogowej. Rzecz jasna, identycznym wymaganiom jakościowym jakie stawia się podzespołom powinny podlegać również płytki drukowane. Jednak w porównaniu z elementami wytwarzanymi w milionowych nakładach występuje tu pewna zasadnicza różnica. Otóż w realiach znanych większości z czytelników EP zajmujących się jednocześnie produkcją elektroniczną, płytki powstają na indywidualne zlecenia opiewające zwykle na kilkadziesiąt czy kilkaset egzemplarzy. Wobec szczupłości składanych zamówień często w ogóle nie bierze się pod uwagę możliwości przetestowania otrzymanego wyrobu, polegając jedynie na posiadanej ogólnej opinii o możliwościach technologicznych i rzetelności wykonawcy. Tymczasem w ofertach firm płytkarskich coraz częściej można napotkać pozycję dotyczącą automatycznego testowania. Niestety jej treść zazwyczaj sprowadza się do enigmatycznego sformułowania „100% testowanie elektryczne” lub wyliczenia marek testerów będących w dyspozycji firmy. Natomiast



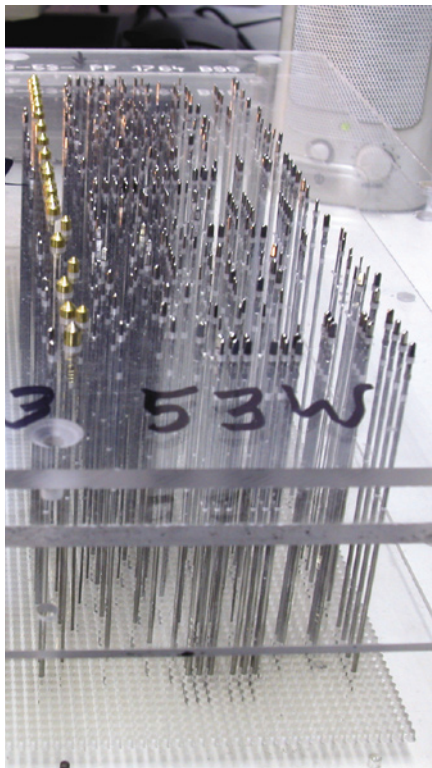
Rys. 2. Test upływności izolacji

z punktu widzenia potencjalnego zleceniodawcy, znacznie cenniejsze byłoby posiadanie informacji o stosowanej metodzie testowania. Od tego zależą bowiem koszty początkowe oraz minimalna wielkość serii uzasadniająca uruchomienie całej procedury. A także, co nie mniej istotne, lista wykrywanych defektów.

W artykule zaprezentuję kilka najważniejszych metod testowania płytek drukowanych. Będą to jednak informacje zebrane z punktu widzenia praktyka, na codzień stojącego na pozycji klienta firmy płytkarskiej. Nie zamierzam zatem prezentować konkretnych urządzeń ani ich producentów. Do tego znacznie lepiej nadają się przedstawiciele handlowi. Nie podam również cen konkretnych usług, gdyż takich informacji najlepiej szukać w miejscu powstawania.



Rys. 3. Zasada działania testera z ruchomymi sondami



Fot. 4. Ogólny widok adaptera z osadzonymi sondami

Natomiast postaram się pokazać techniczną stronę poszczególnych metod, zwracając uwagę na ich możliwości, wydajność, koszty początkowe a także skuteczność, gdyż nie ma jednego, uniwersalnego sposobu na wykrycie wszelkich możliwych uszkodzeń. Skoncentrujemy się na testowaniu „gołych” płytek drukowanych (*bare board testing*), tzn. płytek bez przyłutowanych podzespołów (co jednak nie wyklucza obecności elementów wykonanych bezpośrednio na laminacie technologią grubowarstwową). Warto jednak zdać sobie sprawę, że dziedziny testowania płytek i testowania zmontowanych pakietów (*loaded board testing*) w wielu punktach zająbiają się ze sobą, korzystając m.in. ze wspólnych możliwości pomiarowych oferowanych przez testery i podobnych akcesoriów (np. sprzężyste igły testowe).

Zanim przejdziemy do sposobów testowania zastanówmy się najpierw co kryje się pod pojęciem „dobra płytka”? Płytkę drukowaną pełni dwie podstawowe role – mechanicznego nośnika podzespołów oraz sieci połączeń elektrycznych. Nieco upraszczając, za poprawną uznamy płytkę pozbawioną przede wszystkim wad naruszających jej zasadnicze funkcje. Zatem pod wzglę-

dem mechanicznym, dyskwalifikacji podlegać będą wszelkie defekty utrudniające poprawny montaż, np. znaczące ubytki pól lutowniczych, niecentryczne otwory, przesunięcia soldermaski czy wadliwe pokrycia galwaniczne. Pod względem elektrycznym interesowały nas będą przede wszystkim odstępstwa od sieci połączeń zawartej w projekcie, tzn. niezamierzone przerwy i zwarcia. Trzeba jednak zdać sobie sprawę, że oprócz defektów katastrofalnych istnieją również wady subtelniejsze, niewykrywalne w prostych testach przejść i izolacji. Niedotrąwienia lub przewężenia ścieżek, nie powodujące jeszcze zwarć ani nie przerywające ciągłości obwodu, mogą obniżyć wytrzymałość izolacji na przebicie, zmniejszać obciążalność prądową czy wreszcie naruszać ciągłość impedancji falowej linii mikropaskowych. Widzimy zatem, że reklamowane „100% testowanie” może być w praktyce rozumiane dosyć dowolnie, gdyż lista wykrywanych defektów ściśle wiąże się z zastosowaną techniką testowania. Wybór metody zależy w głównej mierze od wielkości serii produkcyjnej oraz szczególnych cech samej płytki, np. obecności linii mikropaskowych.

Przeгляд rynku wskazuje, że techniki testowania nieobsadzonych płytek drukowanych rowinęły się przede wszystkim w dwóch kierunkach:

- kontaktowego pomiaru własności elektrycznych za pomocą sond ostrzowych przykładanych do płytki,
 - testowania optycznego, tzn. analizy zeskanowanego obrazu płytki i wnioski na tej podstawie o poprawności jej wykonania
- Najprostszy test elektryczny płytki, polegający na sprawdzeniu ciągłości ścieżek i jakości izolacji wymaga co najmniej:
- pomiaru rezystancji przejścia pomiędzy każdą parą punktów testowych należących do tej samej sieci (**rys. 1**),
 - pomiaru rezystancji upływu pomiędzy każdą ze ścieżek a wszystkimi ścieżkami znajdującymi się w jej bezpośrednim sąsiedztwie (**rys. 2**).

Wydawałoby się, że są to proste operacje możliwe do przeprowadzenia przy użyciu zwykłego omomierza. Jednak wrażenie prostoty przy-

ska, gdy zdamy sobie sprawę z faktu, że płytka o rozmiarach przeciętnej formatki produkcyjnej może zawierać kilka tysięcy punktów testowych (pól lutowniczych, przelotek, wydzielonych punktów pomiarowych), rozmieszczonych w różnych rastrach (a niekiedy w ogóle bez określonego rastra), w minimalnych odstępach wynoszących 0,5 mm lub mniej. Tym samym zasadnicze wyzwanie w testowaniu płytek polega nie tyle na samym pomiarze elektrycznym, co na konieczności dotarcia sondami, precyzyjnie i w sensownym czasie, do ogromnej liczby punktów.

Sposób operowania sondami dzieli testery elektryczne na dwie rodziny różniące się istotnie wydajnością i możliwościami pomiarowymi:

- testery palcowe z ruchomymi sondami (*flying probes tester*),
- testery ostrzowe z sondami sztywno osadzonymi w dedykowanym adapterze (*fixed probes tester*).

Testery z ruchomymi sondami (*flying probes testers*)

Zasadę działania testera palcowego najłatwiej porównać do płaskiego plotera pisakowego, w którym stolik zastąpiono płytką drukowaną a w ruchomej głowicy zamiast pisaka ulokowano ostrze sondy pomiarowej. Na tym jednak podobieństwa się kończą. Przeprowadzenie jakiegokolwiek pomiaru wymaga co najmniej dwóch sond, umocowanych i prowadzonych w taki sposób aby było możliwe jednoczesne, bezkolizyjne podejście do dwóch blisko sąsiadujących punktów testowych (**rys. 3**). W praktyce liczba niezależnych sond bywa jeszcze większa. Wszystkie produkowane obecnie urządzenia obsługują płytki dwustronne i posiadają od 2+2 nawet do 8+8, czyli łącznie szesnastu sond. Również dokładność i szybkość przemieszczania głowicy



Fot. 5. Sztywne sondy testowe

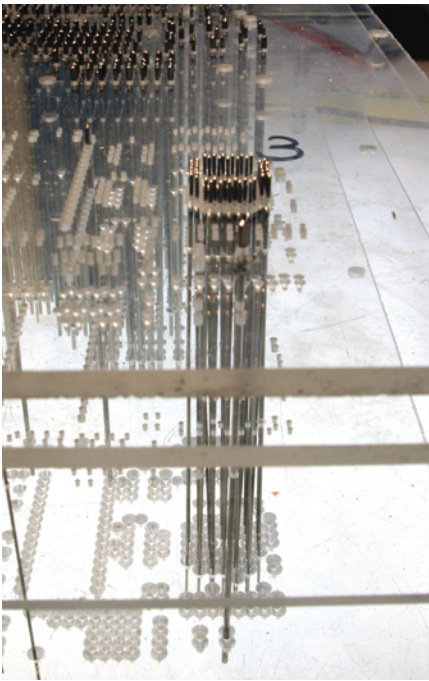


Fot. 6. Sprężyste sondy testowe

są nieporównywalne z jakimkolwiek ploterem. Niektóre modele testerów, przy rozmiarach pola roboczego przekraczających 0,5 m x 0,5 m osiągają bezwzględną dokładność pozycjonowania sond na poziomie 0,25 mils (6 μm). Tak duża precyzja pozwala na powtarzalne wycelowanie w pole kontaktowe o średnicy zaledwie 25 μm . Dzięki swobodzie pozycjonowania ostrzy, badana płytka nie musi spełniać żadnych specjalnych wymagań odnośnie rastra w jakim są rozmieszczone punkty pomiarowe.

Stosunkowo niewielka liczba kanałów pomiarowych pozwala na znaczną rozbudowę obsługującej je elektroniki. Współczesne testery palcowe umożliwiają zwykle pomiary:

- impedancji zespolonej (RLC),



Fot. 7. Budowa adaptera – sondy zgrupowane wokół jednego układu QFP

- upływności izolacji przy napięciach sięgających typowo 250 V lub 500 V, a w wybranych opcjach nawet 1000 V,
- bardzo małych rezystancji, metodą czteropunktową w układzie Kelvina za pomocą specjalnych sond dwuostrzowych.

Z ciekawszych metod pomiarowych warto przy okazji wspomnieć o oferowanej przez jedną z firm analizie zmian rezystancji ścieżek mierzonej przy wymuszonym prądzie rzędu setek mA. W czasie pomiaru rezystancja ścieżki rośnie na skutek nagrzewania. Przewężenie ścieżki np. na skutek podtrawienia powoduje, że temperatura lokalnie wzrasta bardziej niż miało to miejsce w czasie pomiaru płytki wzorcowej. Stwierdzona różnica w przebiegu zmian rezystancji może zatem służyć do zidentyfikowania defektu niewykrywalnego w zwykłym teście ciągłości.

Bogata oferta pomiarowa i jednocześnie dostęp do obu stron płytki wystarczają do wykrycia większości defektów elektrycznych, umiejscowionych zarówno na warstwach zewnętrznych jak i wewnętrznych w przypadku płytek wielowarstwowych a także w obszarze metalizacji otworów. Niestety poza zasięgiem testowania elektrycznego wciąż pozostają defekty „kosmetyczne” takie jak np. ubytek soldermaski lub zła jakość pokrycia galwanicznego.

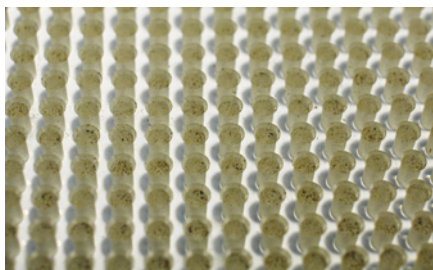
Na wydajność testera palcowego składa się kilka czynników. Oprócz prędkości przemieszczania głowic (sięgającej 10 cm/s) o szybkości działania decyduje także jakość oprogramowania optymalizującego kolejność testów i drogę przebywaną przez sondy. Z deklaracji producentów wynika, że typowa wydajność testerów palcowych mieści się w przedziale od kilkuset do kilku tysięcy punktów pomiarowych na minutę. Oznacza to w praktyce, że czas testowania jednej skomplikowanej formatki może sięgać kilku a nawet kilkanastu minut. Dlatego testery palcowe stosuje się przede wszystkim w produkcji prototypowej i małoseryjnej. Takiemu wykorzystaniu sprzyja także niski koszt uruchomienia gdyż przygotowanie procedury testowej odbywa się wyłącznie w sferze programowej i nie wymaga dodatkowych inwestycji sprzętowych.

Testery z sondami osadzonymi (*fixed probes testers*)

Testowanie dużych serii produkcyjnych liczących setki lub tysiące formatek wymaga skrócenia czasu poświęconego jednej płytce do kilku sekund. Wobec takiego założenia przepustowość testera z ruchomymi sondami okazuje się dalece niewystarczająca. Klucz do zwiększenia wydajności tkwi w zapewnieniu testerowi jednoczesnego dostępu do wszystkich pól kontaktowych na całej płytce. Przypomnijmy jednak, że mowa tu o liczbach sięgających kilku tysięcy. Zatem głowica testowa musi zawierać odpowiednią liczbę ostrzy połączonych z taką liczbą niezależnych kanałów pomiarowych.

Teoretycznie wystarczyłoby aby tester dysponował liczbą wejść nie mniejszą od maksymalnej spodziewanej liczby sond, czyli np. 5 tys. Jednak rzeczywistość okazuje się bardziej skomplikowana. Ponieważ rozmieszczenie sond musi odwzorowywać układ punktów na płytce, to każdy testowany projekt pcb wymaga zaprojektowania i wykonania indywidualnego adaptera (fot. 4). Ze względu na konieczność redukcji kosztów, konstrukcja takiego adaptera powinna być jak najprostsza. Wobec pokaźnych rozmiarów pola roboczego (rzędu np. 50x60 cm), połączenie sond z gniazdami testera wymagałoby zatem stosowania w adapterze długich i skomplikowanych połączeń krosujących. Ideałem byłoby skonstruowanie testera w taki sposób, aby każda osadzona w adapterze szpilka testowa trafiła dokładnie pionowo we właściwe gniazdo. Wobec dowolności rozmieszczenia pól kontaktowych na płytce osiągnięcie takiego stanu jest jednak niewykonalne. Rozwiązanie wymaga zatem kompromisu. Osiągnięto go dopuszczając niewielkie odchylenie szpilek od pionu i jednocześnie potężnie komplikując konstrukcję samego testera.

Stolik połączeniowy testera czyli miejsce gdzie umieszcza się adapter z sondami, składa się z szeregu gniazd rozmieszczonych w regularnej matrycy. Każde gniazdo ma połączenie z osobnym wejściem pomiarowym. W zależności od klasy urządzenia gniazda są rozmieszczane w rastrze 100 mils (*SD – Single Density*), 70 mils (*DD – Double Density*) lub 50 mils (*MD4*). Policzymy



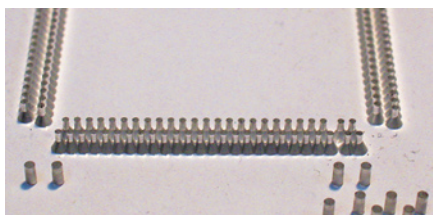
Fot. 8. Dolna płyta adaptera dopasowująca sondy do rastra gniazd z testerze

liczbę gniazd na przykładzie dwustronnego testera typu „9098” firmy ECT w maksymalnej konfiguracji:

- rozmiary pola roboczego: 25,6” x 19,2”,
- raster gniazd: 70 mils (DD) czyli ok. 200 szt./cal².

Po wymnożeniu dowiemy się, że łączna liczba kanałów wynosi... 196608. Tak! To nie jest ślad działalności chochlika. Liczba niezależnych wejść układu pomiarowego rzeczywiście sięga niemal 200 tys. Nie przypadkiem testery zalicza się do kategorii najbardziej skomplikowanych urządzeń elektronicznych. Z tej liczby każdy adapter wykorzystuje jedynie niewielką część, a ogromny nadmiar ma przede wszystkim za zadanie ułatwić dołączanie sond.

W konstrukcji adapterów współistnieją dwa podejścia – z sondami sztywnymi (*rigid probes*, fot. 5) i z sondami sprężystymi (*spring probes*, *PogoPins*, rys. 6). Najnowsze rozwiązania preferują stosowanie sond sprężystych. Konstrukcja niektórych z nich przypomina małe cuda mechaniki precyzyjnej. Dość powiedzieć, że dostępne są szpilki o średnicy zewnętrznej 0,3 mm przystosowane do rozmieszczania w rastrze 0,5 mm. Inne wersje, przeznaczone do pomiarów w.cz. posiadają specyfikację parametrów w zakresie sięgającym paru GHz. Sondy sprężyste produkowane w kilku długościach i wielu wersjach zakończeń



Fot. 9. Górna płyta adaptera dopasowująca rozmieszczenie ostrzy do pól na płytce drukowanej

Tab. 1. Wybrane firmy związane z dziedziną testowania płytek drukowanych

Nazwa	Adres internetowy	Testery „flying probes”	Testery „fixed probes”	Testery optyczne	Sondy sztywne	Sondy sprężyste (POGO pins)
ECT	www.ectinfo.com	+	+			+
ATG	www.atg-test-systems.com	+	+			
Luther-Maelzer	www.luther-maelzer.com	+	+		+	
Mania	www.maniagroup.com	+	+	+		
Testronics	www.testronics.com		+	+		
MicroCraft	www.microcraft.co.jp/en	+				
Lloyd-Doyle (AOT)	www.lloyd-doyle.com			+		
Emulation Technology	www.emulation.com					+
QA Technology	www.qatech.com					+
PTR-messtechnik	www.ptr-messtechnik.de					+

nadają się szczególnie do testowania gotowych pakietów. Jednak sondy tego typu są dosyć drogie a ponadto ich konstrukcja nie dopuszcza przenoszenia obciążeń prostopadłych do osi. Dlatego w testowaniu płytek drukowanych wciąż dominują sondy sztywne.

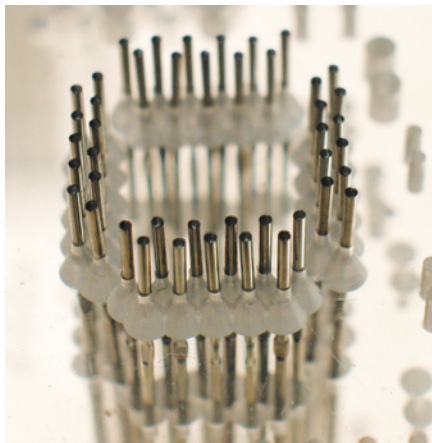
Budowa adaptera ze sztywnymi sondami jest stosunkowo prosta. Cała konstrukcja ma postać kanapki złożonej z kilku nawierconych płyt PMMA z przewleczonymi sondami (fot. 7). Wygląd zmontowanego adaptera budzi skojarzenia z łożem fakira, co zresztą znalazło odbicie również w jego angielskiej nazwie (*nail bed*). Każde ostrze może się przesuwac w pionie. Po dociśnięciu płytki drukowanej szpilki ulegają cofnięciu zagłębiając się w sprężystych gniazdach testera. Dolna płyta pozycjonuje szpilki w rastrze narzuconym przez rozstaw gniazd (fot. 8). Rozmieszczenie otworów płyty górnej (fot. 9) odpowiada położeniu punktów testowych na pcb i w ogólnym przypadku nie pokrywa się z rastrem otworów płyty dolnej. Obsłużenie układu scalonego o gęstym rastrze wymaga zgrupowania w jednym miejscu sond pochodzących ze znacznie szerszego obszaru. Dlatego niektóre szpilki wymagają nachylenia pod pewnym kątem (fot. 10), jednak na tyle małym, że ew. przemieszczenia ostrzy nie wpływają istotnie na dokładność pozycjonowania.

Dzięki uprzejmości warszawskiej firmy Elmax mieliśmy okazję przyrzeć się z bliska działaniu takiego

testera. Jest to urządzenie starszej generacji, wyposażone w jedną płytę z gniazdami w rastrze 100 mils i stosunkowo niewielką liczbę kanałów wynoszącą „zaledwie” 27 tysięcy. Pomiędzy stolikiem połączeniowym a zamontowanymi w stojakach kartami pomiarowymi biegnie potężna wiązka kabli (fot. 11) unaczyniająca stopień komplikacji urządzenia. W najnowszych konstrukcjach trudno o tak spektakularny widok. Dzięki miniaturyzacji udaje się upakować całą elektronikę pomiarową na pionowych płytkach umieszczonych bezpośrednio pod stolikiem. Przykładowo we wspomnianym testerze firmy ECT stolik powstaje w wyniku złożenia pakietu pionowych modułów, z których każdy dostarcza 256 gniazd rozlokowanych na obszarze o długości 6,4” i szerokości 0,2”.

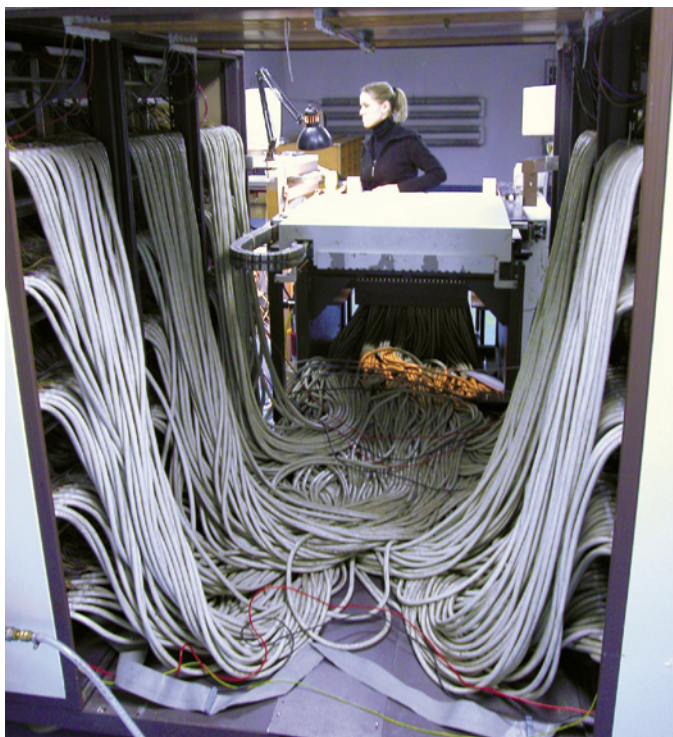
Znaczna rozbudowa bloku pomiarowego wymusza niestety jego uproszczenia. W porównaniu z testerami palcowymi, zakres możliwości pomiarowych jest w tym przypadku skromniejszy i obejmuje przede wszystkim pomiary rezystancji przejścia (10 Ω...10 kΩ) z indywidualnie zadawanym progiem akceptacji oraz rezystancji izolacji do 100 MΩ (opcjonalnie 500 MΩ) przy napięciu probierczym do 250 V.

Większość współczesnych testerów to urządzenia dwustronne. Możliwość jednoczesnego testowania pól z obu stron płytki zwiększa wiarygodność testów, gdyż włącza do pomiaru wszystkie przelotki należące do ścieżek kończących się po przeciwnych stronach płytki. Jednak



Fot. 10. Różnica w rozmieszczeniu otworów w płytach dolnej i górnej powoduje niewielkie pochylenie szpilek

warto przy okazji zdać sobie sprawę z nietypowego ryzyka jakie niesie ze sobą umieszczenie płytki pomiędzy dwoma adapterami. Zapewnienie dobrego kontaktu elektrycznego pomiędzy sondą i płytką wymaga pewnego docisku ostrza – zazwyczaj mieszczącego się w zakresie od ułamka do 1 N (10...100 G). Wydawałoby się, że jest to niewiele. Jednak po przemnożeniu przez liczbę igieł, uzyskujemy niebagatelne siły sięgające łącznie nawet 2 kN (200 kG). W przypadku testera jednostronnego,



Fot. 11. Ogromna liczba wielożyłowych kabli łączących adapter z układem pomiarowym obrazuje stopień komplikacji testera

płytką jest dociskana do adaptera za pomocą płaskiego ruchomego stolika napędzanego np. silownikiem pneumatycznym. Dzięki równej płaszczyźnie podparcia siły działające na płytkę ze strony ostrzy pomiarowych nie powodują jej deformacji. W przypadku testera dwustronnego, nacisk ostrzy działający z obu stron rozkłada się nierównomiernie (zależnie od rozmieszczenia punktów testowych) i w niekorzystnym przypadku może powodować niepożądane deformacje i ew. uszkodzenia płytki drukowanej.

Zasadniczym celem skonstruowania testerów z równoległym dostępem do wszystkich punktów testowych było osiągnięcie dużej wydajności. Faktycznie, w porównaniu z testerami palcowymi uwidacznia się tutaj jakościowa różnica. Szybkość testowania w testerach równoległych osiąga kilka tysięcy punktów na sekundę, co przekłada się na wydajności przerobu sięgające 1000 formatek na godzinę. Tak duże wydajności uzasadniają testowanie przede wszystkim dużych partii produkcyjnych zwłaszcza, że uruchomienie procedury testowania wiąże się z koniecznością poniesienia wydatków na przygotowanie adaptera (wynoszących orientacyjnie od kilkuset do ok. 2000 zł, zależnie od stopnia komplikacji).

Przygotowanie testowania wymaga także dostarczenia dokumentacji pozwalającej na zaprojektowanie adaptera i wygenerowanie danych dla programu sterującego testerem. Najczęściej będą to pliki Gerbera oraz plik wierceń wykorzystane wcześniej do produkcji płytek. Na podstawie plików Gerbera opisujących rzeczywisty wzór miedzi na płytce oprogramowanie narzędziowe dokonuje ekstrakcji listy połączeń służącej następnie do

wygenerowania zestawu testów. Druga, alternatywna metoda uzyskania danych sterujących polega na „nauczeniu” testera poprawnej sieci połączeń za pomocą bezbłędnej płytki wzorcowej.

Testowanie optyczne (AOI – *Automatic Optical Inspection*)

W odróżnieniu od testów elektrycznych, metody optyczne nie wymagają bezpośredniego kontaktu z płytką. Materiałem wyjściowym jest tutaj obraz płytki zeskanowany z rozdzielczością przekraczającą min. 10-krotnie minimalne wymiary obiektów odwzorowanych na płytce. W dostępnych obecnie urządzeniach rozdzielczości skanowania mieszczą się w zakresie od 2000 dpi do 5000 dpi, co odpowiada rozdzielczości od 0,5 mils do 0,2 mils.

Najprostsza metoda analizy polega na porównaniu bieżącego obrazu z obrazem płytki wzorcowej. Wszelkie odstępstwa w kształcie mozaiki przekraczające założone granice stanowią potencjalne źródło błędów i jako takie są raportowane operatorowi do podjęcia decyzji. Zaawansowane metody testowania optycznego (AOT – *Automatic Optical Testing*), dokonują porównania testowanej płytki ze wzorcem na kilku poziomach. Analizując obraz płytki, oprogramowanie testera najpierw dokonuje odtworzenia listy połączeń. W przypadku płytki bezbłędnej odtworzona lista połączeń będzie zgodna z netlistą uzyskaną z programu projektowego PCB. Wszelkie widoczne na płytce, niepożądane zwarcia lub przerwy znajdują swoje odbicie w liście połączeń i jako odstępstwa od listy wzorcowej zostaną uznane za defekt. Dysponując listą połączeń oprogramowanie dokonuje następnie analizy płytki wyszukując obszary nie spełniające zadanych reguł projektowych (m.in. minimalnych wymaganych szerokości ścieżek i izolacji). Dzięki temu możliwe staje się np. wykrycie niedotrąwienia niebezpieczne zbliżającego do siebie dwie ścieżki należące do odrębnych sieci (**rys. 12**). Również nadmierne przewężenie ścieżki sygnałowej (**rys. 13**) zostanie uznane za naruszenie reguł projektowych. Jednocześnie niewielki ubytek w obszarze masy, jako nieistotny z punktu widzenia wymagań projektowych, nie spowoduje odrzucenia danej płytki (**rys. 14**).

velleman

HPS 10SE OSCYSKOP PRZENOŚNY



Częstotliwość próbkowania 10MHz
Pasma analogowe do 2MHz
Czułość od 5mV do 20V/dz.
Podstawa czasu od 200ns do 1godz./dz.
Odczyt DVM
Obliczanie mocy audio (rms i peak)
Pomiar dBm, dBV, DC, rms...
Odczyt częstotliwości
Funkcja zapisu (tryb roll)
Zapis sygnału
LCD: 128x64 piks. niebieski podświetlany

Zamówienia przyjmuje
Dział Handlowy AVT
01-939 Warszawa, ul. Burleska 9
tel.: (22) 568 99 50
fax: (22) 568 99 55
e-mail: handlowy@avt.com.pl
www.avt.com.pl



Rys. 12. AOT – Nadmierne zwężenie przerwy izolacyjnej rozpoznawane jako defekt



Rys. 13. AOT – Przewężenie ścieżki sygnałowej również zostanie zakwalifikowane jako istotne uszkodzenie

Zaletą testowania optycznego jest niezła wydajność (kilkanaście... kilkadziesiąt sekund na płytkę) i możliwość lokalizowania defektów niewykrywalnych metodami elektrycznymi. W szczególności metody optyczne są w stanie wykryć m.in. nadmierne podtrawienia, zły kształt pól lutowniczych, przesunięcie otworów względem środków pól lutowniczych itp. Podstawowa wada metod optycznych polega na tym, że nie są w stanie zweryfikować obszarów niewidocznych, a w szczególności ścieżek ukrytych pod soldermaską, wewnętrznych warstw w płytkach wielowarstwowych a także poprawności metalizacji otworów.

Nietypowe metody testowania

Na zakończenie jeszcze kilka słów na temat nietypowych, ale interesujących technik testowania.

Pierwsza z nich polega na wykorzystaniu metody prądów wirowych (ECT – Eddy Current Testing) wykorzystywanej pierwotnie do defektoskopii w mechanice. Metoda prądów wirowych korzysta z prowadzonej bezpośrednio nad płytką głowicy pomiarowej zawierającej układ dwóch prostokątnych cewek. Prąd o częstotliwości kilku MHz płynący w płaskiej cewce o kształcie meandra ustawionego równoległe do płytki, wzbudza w miedzianych ścieżkach przepływ prądów wirowych. Nieregularny układ ścieżek powoduje pojawienie się rozproszonego pola magnetycznego oddziałującego na małą cewkę pomiarową. Skanując głowicą obszar całej płytki można uzyskać obraz charakterystyczny dla danego projektu mozaiki. Wszelkie zmiany np. ubytek miedzi lub zwarcie dwóch ścieżek zmieniając

rozkład pola uwidaczniają się jako zaburzenie na obrazie badanej płytki odróżniające go od obrazu wzorcowego.

Druga metoda ma na celu przyspieszenie działania testerów z ruchomymi sondami i opiera się na spostrzeżeniu, że rozproszone pojemności pomiędzy ścieżkami na płycie tworzą pewną niepowtarzalną mapę charakterystyczną dla danego projektu. Zwarcie dwóch ścieżek lub rozdzielenie ścieżki na dwie części zaburza rozkład pojemności odróżniając go od rozkładu wzorcowego. Do przeprowadzenia pomiaru wytypowuje się rozległą sieć pełniącą rolę masy odniesienia i na stałe przykłada do niej jedną z sond. Następnie pozostałymi sondami dokonuje się pomiaru pojemności względem masy odniesienia. Przyspieszenie w stosunku do tradycyjnego pomiaru rezystancji polega na użyciu tylko jednej ruchomej sondy do pomiaru pojemności w każdej z sieci. Uzyskuje się dzięki temu minimalizację ruchu głowic a tym samym skrócenie czasu badania.

Marek Dzwonnik, EP
marek.dzwonnik@ep.com.pl



Rys. 14. AOT – Niewielki ubytek w płaszczyźnie masy nie musi dyskwalifikować płytki