

# Automatyczne testowanie urządzeń elektronicznych

Wszędzie tam, gdzie produkuje się jakiegokolwiek urządzenia, muszą być przyrządy do ich testowania. W małych warsztatach produkujących w niewielkich ilościach są to zwykle stanowiska testowe złożone z kilku przyrządów pomiarowych, nie zawsze ze sobą sprzężonych. Na liniach technologicznych wielkich fabryk spotyka się natomiast skomplikowane urządzenia ATE (Automatic Test Equipment), których zadaniem jest wszechstronna kontrola produktów na różnych etapach ich wytwarzania.



## Agilent Technologies

Innovating the HP Way

## Część 1: Przegląd systemów ATE firmy Agilent Technologies

W artykule dokonano przeglądu metod testowania oraz systemów ATE opracowanych i wytwarzanych przez firmę Agilent Technologies. Przegląd ten obejmuje systemy inspekcji optycznej (AOI), testery rentgenowskie (X-ray), elektryczne testery płytek drukowanych, tzw. testery *in-circuit* oraz systemy przeznaczone do wykonywania testów funkcjonalnych. Pokróćce przedstawiono również różnego rodzaju oprogramowanie, które jest wykorzystywane w fazach projektowania testów, tworzenia czytelnych dla systemu testującego specyfikacji badanych układów, analizy wyników testów, jak również integracji systemów testujących opartych na różnych metodach.

### Wprowadzenie

Szczególnie modne ostatnio pojęcie jakości, występujące w rozmaitych kontekstach, jest ściśle związane ze stale wzrastającymi wymaganiami rynku. Producenci, którzy chcą być konkurencyjni, nie mogą pozwolić, aby do klientów trafiały niesprawne urządzenia. Jakość wyrobów jest ściśle związana z doskonaleniem procesów produkcyjnych, co prowadzi przecież do jej poprawy. Podczas produkcji konieczna jest również weryfikacja jakości.

Wiedza pozyskana podczas testowania wyrobów może być wykorzystana zarówno do zmniejszenia kosztów produkcji i serwisu, jak również do udoskonalenia

procesu produkcyjnego. Nacisk, jaki kładzie się obecnie na jakość sprawia, że procesy testowania stały się na tyle ważne, iż ich udział w koszcie produkcji urządzeń sięga 30%.

Testowanie urządzeń elektronicznych opiera się na wielu metodach przeznaczonych do wykrywania różnego rodzaju defektów, które powstają na wszystkich etapach produkcji. Oczywiście, uszkodzenia lub błędy jednego rodzaju zdarzają się częściej, a innego rzadziej. Wieleletnie doświadczenie pozwala na sporządzenie histogramu najczęstszych uszkodzeń, który fachowcy określają mianem spektrum defektów (*Fault Spectrum*) - rys. 1. Z tego histogramu wynika, że dwoma podstawowymi defektami wykrywanymi w układach elektronicznych są brakujące połączenia lutownicze oraz brakujące elementy (razem około 60%).

W artykule opisano sposoby wykrywania tych oraz innych defektów powstających na liniach technologicznych wytwarzających urządzenia elektroniczne oraz przedstawiono systemy przeznaczone do tego celu.

### Umiejscowienie różnego typu systemów ATE na linii technologicznej wytwarzającej urządzenia elektroniczne

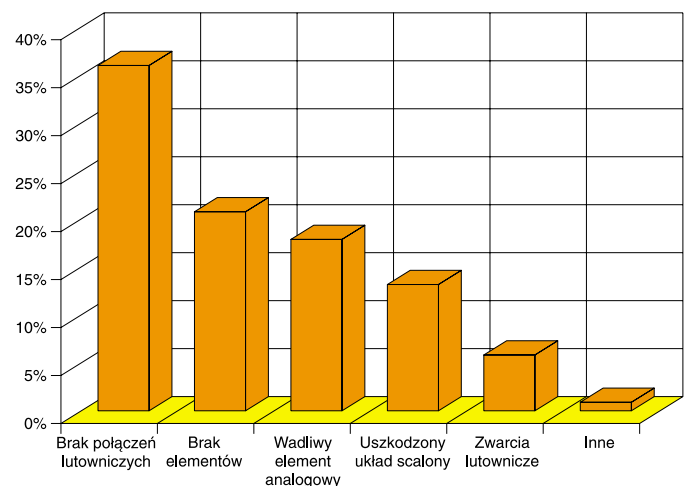
Jak już wspomniano, zautomatyzowane linie technologiczne produkujące urządzenia elektroniczne są wy-

posażane w różnego rodzaju podsystemy testujące, które za pomocą oprogramowania mogą być zintegrowane w pełny system testujący linię produkcyjną. Podsystemy te są rozmieszczone w różnych miejscach linii, w zależności od tego jakiego rodzaju testy należy wykonać na danym etapie produkcji. Na rys. 2 przedstawiono przykładowo rozmieszczenie poszczególnych urządzeń testujących na linii technologicznej, której zadaniem jest automatyczny montaż komponentów na płytkach drukowanych. Pierwsze testowanie optyczne wykonywane jest po procesach nakładania pasty lutowniczej i rozmieszczenia elementów. Drugie testowanie tego rodzaju wykonywane jest po procesie lutowania rozpliwowego. Inspekcja optyczna przeprowadzona przed lutowaniem pozwala wychwycić płyty ze źle rozmieszczonymi elemen-

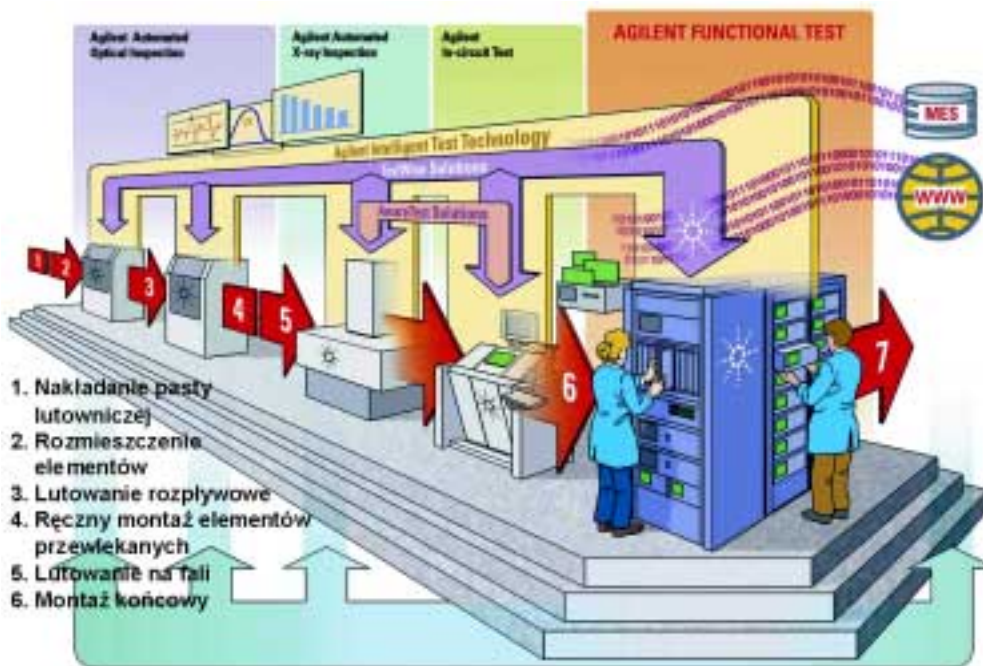
tami. Zadaniem drugiego testu optycznego jest zidentyfikowanie źle przylutowanych komponentów lub stwierdzenie ich braku w miejscach, w których powinny się znajdować.

Kolejne dwa etapy w procesie produkcji podzespołów elektronicznych to ręczny montaż elementów przewlekanych oraz lutowanie na fali stojącej. Po tych zabiegach wykonuje się test rentgenowski, czyli po prostu prześwietla się płytkę. Testowanie promieniami X pozwala na wykrycie szeregu poważnych defektów, takich jak rozwarcia i zwarcia lutownicze, źle rozmieszczenie elementów czy niewystarczająca lub nadmierna ilość lutowia.

Kolejny podsystem testujący umieszczony na linii technologicznej, to elektryczny tester płytek drukowanych nazywany krótko testerem *in-circuit* lub testerem ICT. Jego zadaniem jest we-



Rys. 1.



Rys. 2.

ryfikacja elektrycznej integralności urządzenia. Na testy ICT składa się wiele metod, które zostaną omówione w poświęconym tym testom punkcie artykułu. Cechą wspólną tych metod i jednocześnie wyróżnikiem testów *in-circuit* jest konieczność fizycznego dostępu do poszczególnych węzłów obwodu elektrycznego na płytce.

Ostatnim testem, jakiemu poddawana jest płytka drukowana jest test funkcjonalności, czyli sprawdzenie czy układ, który tworzą połączone na płytce podzespoły, wykonuje funkcje do jakich został zaprojektowany. Testery funkcjonalne to odpowiednio skonfigurowane i oprogramowane systemy pomiarowe, w których stosuje się zarówno przyrządy ogólnego przeznaczenia, jak również urządzenia dedykowane. W dalszej części artykułu, wszystkie wymienione dotychczas typy urządzeń testujących zostaną omówione na przykładach testerów firmy Agilent Technologies.

**Testery optyczne Agilent BV3000**

Testery optyczne typu AOI (*Automated Optical Inspection*) stanowią alternatywę dla dość szeroko rozpowszechnionego, szczególnie

przy małych skalach produkcji, manualnego sprawdzania płytek drukowanych przez ludzi. Systemy tego rodzaju składają się z odpowiedniego zestawu źródeł światła, jednej bądź kilku kamer oraz z oprogramowania. Pakiet oprogramowania zawiera dwie aplikacje. Pierwsza z nich - *Test Development Software* - stanowi półautomatyczne oprogramowanie służące do wprowadzania i translacji wzoru (*layout*) płytki do wewnętrznego, zrozumiałego przez system formatu. Druga aplikacja zawiera algorytmy analizy obrazów wykorzystujące wprowadzone wcześniej informacje o geometrii płytki PCB i widzialnych cechach komponentów na niej rozmieszczonych. Analiza polega na stwierdzeniu obecności lub braku charakterystycznych cech obrazu i podjęciu na podstawie tych informacji decyzji o całkowitej sprawności płytki lub też o jej defektach.

Test AOI pozwala na wykrycie następujących defektów:

- brak elementów, złe ich rozmieszczenie lub obecność dodatkowych niepożądanych obiektów,
- odwrócone lub obrócone komponenty,
- nadmiar lutowni i zwarcia lutownicze,

- podniesione lub wygięte ścieżki obwodu drukowanego.

Przykładem testera AOI jest system Agilent BV3000 (fot. 3). W obrębie rodziny BV3000 dostępne są dwa modele: pięciokamerowy tester 3500 E3251A przeznaczony do znajdowania poważnych błędów lutowniczych oraz tester 3100 E3250A, który wyposażono w jedną centralnie zamontowaną kamerę. Możliwości systemu

3100 ograniczone są do analizy położenia elementów oraz wykrywania grubych błędów lutowniczych.

Powracając do rys. 2 można stwierdzić, że pierwsze testowanie optyczne, po nałożeniu pasty lutowniczej i rozmieszczeniu elementów, mogłoby być wykonane za pomocą testera 3100, zaś po lutowaniu należałoby wykonać większe możliwości testera 3500.

System BV3000 może pracować w czterech trybach operacyjnych. Pierwszy z nich - *Operator Mode* - charakteryzuje się pełną automatyzacją procesu testowania z wykluczeniem ingerencji operatora systemu. Zamontowany w urządzeniu czytnik kodów kreskowych umożliwi identyfikację badanej płytki. Dokładnym przeciwieństwem tego trybu pracy jest *Audit Mode*. W tym trybie operator może dokładnie obejrzeć zarówno pełny obraz płytki, jak i poszczególne jej fragmenty. System *Alignment Mode* to tryb z rozbudowaną automatyką. W tym trybie wykorzystywane są siłowniki, które przemieszczają płytkę tak, aby dokładnie obejrzeć jej wybrane wcześniej fragmenty. Ostatnim trybem pracy jest *Technician Mode*, w którym dokonuje się diagnozo-



Fot. 3.





Fot. 4.

wania i kalibracji systemu, wybiera się odpowiednie algorytmy oraz ustawia się ich parametry. W tym trybie dokonuje się również generacji danych typu CAD.

Efektem pracy systemu AOI jest wykrywanie i lokalizacja pewnych typów defektów. Informacje, które zbiera system, muszą być jednak ujęte w pewne formalne ramy. Są nimi raporty. System BV3000 generuje trzy rodzaje raportów: *Defect Report*, *Real-Time Report* oraz *SPM Report (Statistical Process Monitoring Report)*. *Defect Report* zawiera nazwę elementu, typ defektu oraz nazwę płytki. Jest to raport tekstowy. Raport typu *Real-Time*, to po prostu przedstawienie na ekranie monitora obrazu płytki z zaznaczeniem miejsca wykrytego defektu. Ostatni z wymienionych rodzajów raportów to

*SPM Report*. Zawiera on dane statystyczne wykrywanych defektów, które mogą stanowić istotne informacje o słabych punktach procesu technologicznego.

### Tester rentgenowski Agilent 5DX

Działanie testerów rentgenowskich, podobnie jak systemów AOI, polega na analizie obrazu. Różnica polega tylko na tym, że obraz w tym przypadku pozyskiwany jest inną metodą - prześwietlenia płytki drukowanej promieniami X, a co za tym idzie pojawiają się możliwości lokalizacji innego rodzaju defektów, których nie można było wykryć stosując inspekcję optyczną. Testerów rentgenowskich używa się przede wszystkim do badania jakości połączeń lutowniczych, choć nie tylko.

System Agilent 5DX (fot. 4) pozwala na wykonanie zarówno ilościowego opisu każdego połączenia lutowniczego na płycie drukowanej, jak również na wyszukiwanie defektów takich jak: rozwarcia, zwarcia lutownicze, złe rozmieszczenie lub brak elementów, niewystarczająca lub nadmierna ilość lutowni. Do tych dwóch celów wykorzystywane są dwa algorytmy:

- Algorytm pomiarów ilościowych (*Algorithm Quantitative Measurements*) generuje na podstawie zdję-

cia rentgenowskiego wymiary poszczególnych połączeń (głównie chodzi o grubość), a dysponując ilościowymi opisami każdego połączenia jest w stanie wygenerować takie charakterystyki płytki, jak średnia grubość lutowni, rozkład grubości połączeń lutowniczych, powierzchnię miejsc lutowniczych nie pokrytą lutowniem, relacje geometryczne między nóżkami układów scalonych i elementów dyskretnych.

- Do wykrywania i lokalizacji defektów służy algorytm drugiego rodzaju - *Algorithm Feature Detection*, którego zasada działania jest identyczna, jak algorytmu zaimplementowanego w systemie AOI.

Na rys. 5 pokazano przekrój testera 5DX firmy Agilent Technologies. W górnej części urządzenia (kolumna) są zamontowane: lampa rentgenowska oraz próżniowa pompa jonowa. Tuż pod kolumną znajduje się miejsce, w którym umieszczona jest przeznaczona do testowania płytka PCB. Pod nią z kolei znajduje się detektor scyntylacyjny, który obraca się w celu wytworzenia metodą laminografii 3D obrazów zarówno jednej, jak i drugiej strony płytki PCB. Laminografia 3D jest metodą pozwalającą kontrolować płaszczyzną ogniskową, dzięki czemu dostajemy ostry obraz

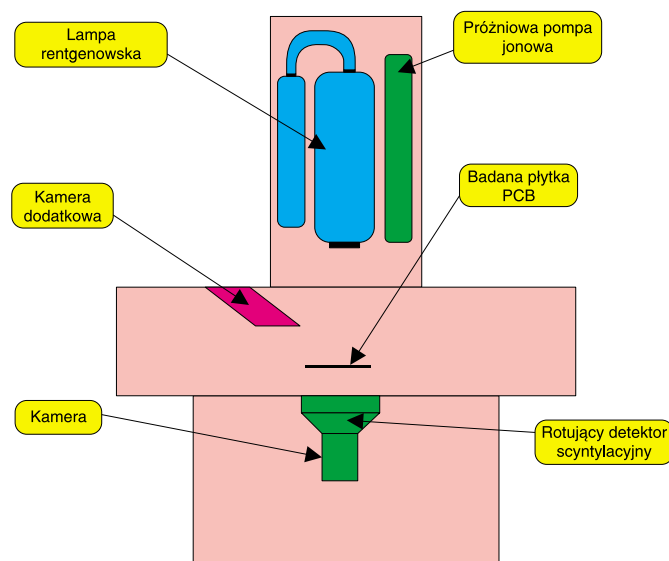
obiektów znajdujących się w tej właśnie płaszczyźnie. Pod detektorem znajduje się kamera, która przetwarza obraz z detektorów na obraz cyfrowy przeznaczony do analizy. W środkowej części urządzenia znajduje się jeszcze jedna kamera, której zadaniem jest dostarczenie zwykłego optycznego obrazu testowanego obiektu.

Testery wykorzystujące do inspekcji promieniowanie Roentgena są szczególnie chętnie stosowane - mimo ich relatywnie wysokiego kosztu - do badania gęsto upakowanych płytek PCB, w których wykorzystano technologię BGA (*Ball Grid Array*). Wynika to z faktu, że połączeń lutowniczych typu BGA nie sprawdzi się za pomocą testów AOI, a i testowanie *in-circuit* jest mocno utrudnione ze względu na niewielkie możliwości dostępu do kluczowych węzłów elektrycznych. Problem dostępu do węzłów obwodu elektrycznego poddawanego testom ICT zostanie szerzej omówiony w kolejnym artykule.

**Jacek Falkiewicz,**  
**AM Technologies Polska**  
 jacek.falkiewicz@amt.pl

#### Dodatkowe informacje

Dodatkowe materiały związane z tematyką poruszaną w artykule opublikujemy na płycie CD-EP1/2002B (ukaze się wraz ze styczniowym numerem EP).



Rys. 5.