



Ochrona podzespołów elektronicznych i maszyn przed wyładowaniami elektrostatycznymi

Uwzględnianie wyładowań elektrostatycznych (ESD) podczas produkcji sprzętu elektronicznego może wydawać się stratą czasu i zasobów. Jednak zaniedbanie tego aspektu może doprowadzić do poważnych problemów z jakością, które ujawnią się kilka dni, tygodni lub nawet miesięcy po sprzedaży. W tym artykule wyjaśniono, dlaczego uwzględnienie ryzyka i wyzwań związanych z wyładowaniami elektrostatycznymi może zapobiec usterkom w terenie oraz zwiększyć ogólną jakość procesu montażu.

Wyładowania elektrostatyczne mogą mieć wiele przyczyn, a niektóre z nich są zaskakujące. Na przykład: ładunki mogą zbierać się na rolkach lub dyspenserach taśmy i osiągać napięcie rzędu kilku tysięcy woltów. Głównym powodem jest to, że takie przedmioty są izolatorami, co umożliwia gromadzenie się ładunków. Nawet na torebkach foliowych z podzespołami elektronicznymi mogą gromadzić się ładunki o wartości od kilkuset do ponad 1000 V. Jeśli zostaną one rozładowane przez podzespoły półprzewodnikowe, może to prowadzić do kilku problemów.

Na przykład duży prąd rozładowania prąd może spowodować uszkodzenie złączy półprzewodnikowych, a ryzyko jest jeszcze większe w wypadku najnowszych, wysokowydajnych elementów produkowanych

w technologii 10 nm lub 7 nm. Elementy te mają bramki wykonane z tlenków o grubości kilku nm, które działają przy zasilaniu niskim napięciem i są przez to jeszcze bardziej podatne na uszkodzenia spowodowane impulsami wyładowań elektrostatycznych.

Nawet jeśli usterka nie wystąpi natychmiast, złącze może zostać osłabione, ponieważ impuls uszkadza warstwę tlenku. Może to zmniejszyć żywotność elementów i doprowadzić do usterek już podczas eksploatacji lub do zmiany kluczowych parametrów, takich jak szybkość przełączania czy zużycie energii.

Silne wyładowanie może przebić izolację i powodować zwarcia w metalizacji różnych podzespołów, nie tylko półprzewodników. Zmniejsza to średni czas między awariami (MTBF) modułu lub układu w porównaniu z wyliczoną wartością, co może prowadzić do przedwczesnych usterek.

Uszkodzenia mogą być także powodowane przez wyładowania elektrostatyczne wywołane przez maszyny. Ma to miejsce, gdy w trakcie produkcji nieuziemia część maszyny lub narzędzia styka się z elementem wrażliwym na wyładowania elektrostatyczne i nie zostaje to zauważone.

Trzecim źródłem, o którym trzeba pamiętać, są wyładowania elektrostatyczne wywołane przez same naładowane elementy (charged-device-model, CDM). Zachodzi to, gdy element lub podzespół sam wytwarza ładunek, który następnie styka się z powierzchnią przewodzącą. Następujące w wyniku tego szybkie rozładowanie może uszkodzić element wrażliwy na takie wyładowania.

Kluczowe normy, o których warto pamiętać

Pierwszym krokiem, który należy podjąć w celu ochrony przed wyładowaniami elektrostatycznymi, jest zapewnienie zgodności wszystkich podzespołów elektronicznych z najnowszymi normami międzynarodowymi.

Wymagania dotyczące ochrony przed wyładowaniami elektrostatycznymi są zawarte w normie IEC 61340-5-1, a metody w postaci instrukcji w normie IEC 61340-5-2.

Norma IEC 61000-4-2 opisuje testowanie symulowanych wyładowań elektrostatycznych o różnych poziomach wywoływanych przez ludzkie ciało w wyniku kontaktu lub przez powietrze.

Poziom	Napięcie testowe (wyładowanie stykowe)	Napięcie testowe (wyładowanie powietrzne)
1	2 kV	2 kV
2	4 kV	4 kV
3	6 kV	8 kV
4	8 kV	15 kV

Norma IEC 60749-28:2017(E), przeznaczona dla producentów układów scalonych, zawiera procedury testowania i klasyfikowania układów według ich wrażliwości na uszkodzenia wynikające z wyładowań elektrostatycznych wywołanych przez same naładowane elementy (charged-device-model, CDM). Wszystkie elementy półprzewodnikowe, układy cienkowarstwowe, elementy wykorzystujące akustyczne fale powierzchniowe (SAW), elementy optoelektroniczne, hybrydowe układy scalone oraz moduły multi-chip (MCM) zawierające dowolne z tych elementów muszą być oceniane zgodnie z tą normą i testowane w obudowach zbliżonych do zastosowań końcowych. Pozwala to zapewnić montażystów o niezawodności elementów, ale nie zwalnia ich z odpowiedzialności za ostrożną obsługę tych elementów.

W USA norma ANSI/ESD S20.20-2014 Protection of Electrical and Electronic Parts, Assemblies and Equipment (Excluding Electrically Initiated Explosive Devices) zawiera techniczne wymagania względem programów kontrolnych wyładowań elektrostatycznych przekraczających 100 V.

Przykłady skutecznych rozwiązań w zakresie wyładowań elektrostatycznych

Katastrofalne w skutkach usterki spowodowane przebiciem lub uszkodzeniem warstwy tlenku złącza w wyniku wyładowań elektrostatycznych w podzespołach elektronicznych są przeważnie diagnozowane w trakcie procesu kontroli końcowej. Jednak często to ukryte usterki mają większy wpływ na ogólną niezawodność układów i dlatego



powinno się stosować kilka metod minimalizowania ryzyka wystąpienia wyładowań elektrostatycznych w łańcuchu dostaw.

Głównym sposobem na uniknięcie wyładowań elektrostatycznych jest oczywiście korzystanie ze stanowisk roboczych. Umieszczenie taśm antystatycznych na obuwiu, stołach roboczych i sprzęcie oraz szkolenie pracowników w zakresie typowych przyczyn może zredukować ryzyko wystąpienia takich incydentów. Jednak, aby uniknąć problemów w zakładzie, wymagana jest wspólna powierzchnia uziemiająca. Natomiast głównym rozwiązaniem problemu z wyładowaniami elektrostatycznymi wywołowanymi przez maszyny jest uziemienie części maszyny lub narzędzia, ale może to oznaczać konieczność wymiany wielu narzędzi w linii produkcyjnej lub dodanie przewodów uziemiających do tych narzędzi.

Z kolei wyładowania w modelu CDM można zminimalizować poprzez wykorzystanie jonizatorów generujących strumienie dodatnich i ujemnych jonów, które zapobiegają gromadzeniu się ładunków na elementach. Ograniczenie przenoszenia części w zakładzie, posiadanie odpowiednio ekranowanych pojemników oraz wspólnej powierzchni uziemiającej także może pomóc w zredukowaniu wpływu takich właśnie wyładowań.

Ważne jest nie tylko uziemienie stanowiska roboczego, ale też przechowywanie. Woreczki antystatyczne mogą z czasem stracić swoje właściwości, a pojemniki na elementy i narzędzia także muszą zabezpieczać przed gromadzeniem się ładunków elektrostatycznych.

Jonizatory pozwalają na uniknięcie gromadzenia się ładunków na narzędziach i stanowiskach roboczych, ale należy pamiętać też o dopilnowaniu obu emiterów i równowadze między dodatnimi i ujemnymi jonami.

Jonizatory mogą także być źródłem informacji o warunkach elektrostatycznych i stanie sprzętu. Powiązanie pochodzących z jonizatora danych diagnostycznych i parametrów z systemami zarządzania fabryką – w ramach przemysłowego Internetu Rzeczy (IIoT) – może być źródłem wartościowych informacji, która pozwoli zwiększyć niezawodność i mogą zostać wykorzystane do oceny bezpieczeństwa i zarządzania ryzykiem.

Projektanci i konstruktorzy sprzętu biorą pod uwagę wyładowania elektrostatyczne na poziomie układowym i dodają elementy zabezpieczające, które chronią przed wyładowaniami, zwłaszcza w urządzeniach z interfejsami o dużej szybkości. Zabezpieczenia przed wyładowaniami elektrostatycznymi muszą być odpowiednio kategoryzowane pod kątem stanów przejściowych, a ponadto parametry elektryczne nie powinny powodować problemów z integralnością sygnału interfejsu danych. Skuteczna ochrona przed wyładowaniami elektrostatycznymi (możliwa dzięki dodaniu diod do układu) przeważnie cechuje się niezwykle szybkim czasem reakcji, niskim napięciem roboczym i przebicia, niskim prądem wpływowym oraz małą pojemnością.

Trzeba też pamiętać, że powyższe metody chronią przed wyładowaniami w terenie, w trakcie pracy sprzętu, ale podzespoły nadal mogą być narażone na wyładowania na poszczególnych etapach montażu. Dlatego też unikanie wyładowań elektrostatycznych powinno pozostać priorytetem dla konstruktorów maszyn oraz integratorów systemowych w trakcie całego procesu.

Wnioski

Istnieje wiele sposobów ochrony przed wyładowaniami elektrostatycznymi w ramach łańcucha dostaw elementów elektronicznych. Elementy należy dokładnie testować po wyprodukowaniu, a następnie transportować i montować, mając wyładowania elektrostatyczne na uwadze. Projektanci mogą także dodawać wysokowydajne diody bez negatywnego wpływu na wydajność urządzeń.

Jednak główne ryzyko jest związane z procesem montażu. Czynniki ludzki oraz szkolenie montażystów może zmniejszyć ryzyko nieprzewidzianych uszkodzeń elementów, a włączenie jonizatorów do zakładowego systemu zarządzania może zredukować to ryzyko jeszcze bardziej. Wszystko to gwarantuje, że niezawodność sprzętu w terenie będzie zagrożona w minimalnym stopniu.

Tom Westcott
Szef Działu Jakości i Legislacji w firmie Distrelec