

Zabezpieczanie portów I/O przed wyładowaniami elektrostatycznymi, część 2

Kończymy prezentację zagadnień związanych z zabezpieczaniem układów scalonych przed uszkodzeniami wywołanymi udarami elektrostatycznymi. W tej części artykułu zostały przybliżone podstawowe metody testowania oraz opisy modeli elektrostatycznych.

Nowy test ESD dla portów wejścia/wyjścia

Port wejścia/wyjścia umożliwia komunikację z innym sprzętem komputerowym. Porty wejścia/wyjścia układu scalonego składają się z logicznych grup wyprowadzeń zapewniających urządzeniom zewnętrznym dostęp do systemu zawierającego ten układ. Wprowadzenia te doznają wyładowań statycznych i innych narażeń, gdy operator dołącza i odłącza kable do i od systemu. Dla wyprowadzeń wejścia/wyjścia układu interfejsu RS-232 lub RS-485 idealna metoda testu podatności na ESD powinna:

- Testować wyprowadzenia wejścia/wyjścia w sposób naśladujący narażenia przypadków ESD w rzeczywistym sprzęcie.
- Przykładać przebiegi testowe naśladujące wyładowania elektrostatyczne wytworzone przez ciało ludzkie. Inne modele układu zadają inne wartości amplitudy, czasu narastania/opadania i przenoszonej mocy.
- Testować układy przy włączonym zasilaniu i bez.
- Definiować uszkodzenia układu włącznie z zatrząskiwaniem, tj. chwilową utratą zdolności działania (*latchup*), jak również uszkodzeń katastroficznych i parametrycznych. Zatrząskiwanie (*latchup*) jest uważane za uszkodzenie, ponieważ jeśli pozostanie nie wykryte, może prowadzić do problemów z niezawodnością i wadliwym działaniem systemu.

Można zaobserwować wzrost stosowania dwóch metod, spełniających wymienione wyżej wymagania, przez producentów sprzętu do testowania podatności portów wejścia/wyjścia na ESD. Pierwsza jest modyfikacją Method 3015.7 MIL-STD 883. Wykorzystuje ona te same modele

układu i przebiegi, ale przykłada impulsy ESD tylko do wyprowadzeń wejścia/wyjścia układu. Jej intencją jest naśladowanie prądów zakłóceńowych, jakich doznaje układ scalony wmontowany w płytke i działający w systemie docelowym.

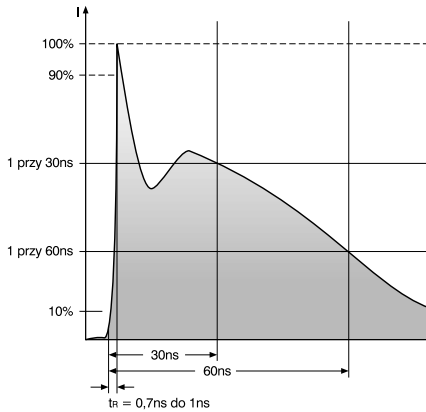
Tak jak pierwotna (Method 3015.7), metoda zmodyfikowana definiuje jedynie przebiegi ESD i kryteria uszkodzenia: po przyłożeniu przebiegu uszkodzony układ musi albo wykazywać zastrząskiwanie (*latchup*) albo nie spełniać jednej lub więcej specyfikacji danych katalogowych. Zmodyfikowana metoda nie wymaga żadnego szczególnego kodu działania układu w trakcie testu.

Zmodyfikowana metoda 3015.7 nie wymaga od wyrobów wytrzymałości na poszczególne poziomy ESD, jedynie definiuje klasy zabezpieczenia. Jednak nowe nadajniki Maxim generalnie zapewniają poziomy zabezpieczenia 15kV.

Model IEC 1000-4-2

Drugą, bardziej przekonującą metodą testowania układów scalonych zawierających wyprowadzenia wejścia/wyjścia jest IEC 1000-4-2. Pierwotnie przewidywana do określenia warunków dopuszczenia dla sprzętu sprzedawanego w Europie, gwałtownie zwiększyła swoją akceptowalność jako standardowe kryterium również w Stanach Zjednoczonych i Japonii. Chociaż pierwotnie nie przewidywana do charakteryzowania układów scalonych, ma dziś dodatkowe zadanie jako ich test ESD. Podobnie jak zmodyfikowana 3015.7, testuje tylko wyprowadzenia wejścia/wyjścia.

Modelem IEC 1000-4-2 jest układ z rys. 1, ale o innych wartościach elementów. Rezystor R2 reprezentuje człowieka trzymają-



Rys. 2. Parametry tego przebiegu ESD (czas narastania, prąd szczytowy, amplituda po 30ns i amplituda po 60ns) są wyspecyfikowane w IEC 1000-4-2.

cego wkretek lub podobny metalowy przedmiot, a C1 reprezentuje inne przybliżenie pojemności ciała człowieka. Układ ten dostarcza przebiegów prądowych (rys. 2) o bardziej stromym narastaniu niż wytwarzane w Metodzie 3015.7.

IEC 1000-4-2 specyfikuje testowanie ESD zarówno dla wyładowań poprzez styk, jak i wyładowań poprzez powietrze. Przypadki ESD spowodowane przez rzeczywisty styk są bardziej powtarzalne, ale mniej realistyczne. Wyładowanie poprzez powietrze jest bardziej realistyczne, ale podlega szerokim odmiennościom kształtu przebiegu - odpowiednio do zmian temperatury, wilgotności, ciśnienia atmosferycznego, odległości pomiędzy układem scalonym a elektrodą i szybkością jej zbliżania do wyprowadzenia układu scalonego. Zmiana kształtu wyładowania ma znaczący wpływ na zmierzony poziom odporności na ESD.

Wyładowanie stykowe czy przez powietrze?

Testowanie odporności na ESD za pośrednictwem IEC 1000-4-2 wymaga zastosowania „działa“ ESD, umożliwiającego testowanie wyładowaniem albo poprzez styk albo poprzez powietrze. Wyładowania stykowe wymagają fizycznego kontaktu działa ESD z wyprowadzeniem wejścia/wyjścia zanim wewnętrzny przełącznik doprowadzi napięcie testowe do działa. Wyładowanie powietrzne wymaga naładowania działa na

pięciem testowym zanim zbliży się do wyprowadzenia wejścia/wyjścia (prostopadle i najszybciej, jak to jest możliwe). Ta druga metoda wytwarza iskrę w pewnej odległości krytycznej od testowanego układu.

ESD wytworzone przez wyładowania powietrzne przypominają rzeczywiste przypadki ESD. Ale, podobnie jak w rzeczywistych ESD, niełatwo powtórzyć różnorodność wyładowań powietrznych. Zależą one od wielu czynników, które trudno kontrolować. Dlatego, dostrzegając ogólną potrzebę niezawodności testowania, IEC 1000-4-2 zaleca wyładowanie stykowe, a zmodyfikowana metoda 3015.7 wymaga wyłącznie wyładowania stykowego. W innym przypadku procedura testowania mówi o co najmniej dziesięciu wyładowaniach dla każdego poziomu testu.

Główną różnicą pomiędzy dwoma omówionymi tu standardami ESD jest prąd szczytowy, jaki wywołują w testowanym układzie. Różne wartości elementów mogą powodować, że te wartości szczytowe będą się różnić w stosunku większym od pięciu. Ponieważ prądy szczytowe wydzielają niepożądaną moc, którą układ musi rozproszyć, IEC 1000-4-2 jest zazwyczaj bardziej wymagającą metodą testowania ESD.

Duże prądy mogą uszkodzić układ scalony na różne sposoby, poprzez:

- Nadmierne lokalne nagrzewanie.
- Stopienie krzemu.
- Szpilowanie złącza, spowodowane przez zwarcie roztworem aluminium w krzemie (rys. 3).
- Uszkodzenie metalowych linii.
- Uszkodzenie tlenku bramki zbyt wysokim napięciem.
- Uszkodzenie tranzystora wskutek migracji termicznej (rys. 4).

Metody zabezpieczania

Aby zabezpieczyć układ przed ESD, konstruktor powinien albo wprowadzić zewnętrzne obwody zabezpieczające albo wybierać układy scalone o wyższym wewnętrznym poziomie zabezpieczenia. Obwód zabezpieczający obejmuje warystor metalowo-tlenkowy i krzemowe tłumiki powielania lawinowego. Układy te są skuteczne, ale kosztowne. Natomiast ze-

wewnętrzne zabezpieczenia przed ESD zajmują znaczną powierzchnię płytki i zwiększają pojemności linii wejścia/wyjścia.

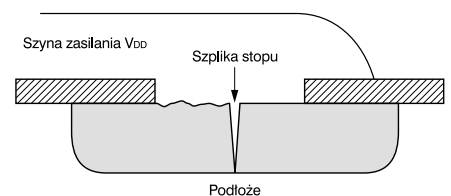
W celu przewyciężenia tych ograniczeń, producenci wielokrotnie podwyższali poziomy zabezpieczenia przed ESD swoich układów scalonych. Maxim, na przykład, zapewnia dziś układom RS-232 zabezpieczenie $\pm 15\text{kV}$ przy testowaniu zgodnie z IEC 1000-4-2 lub modelem ciała ludzkiego.

Zalecenia

Przebieg prądowy ESD charakteryzuje się skrajnie krótkim czasem narastania, stąd jego wnika- nie w układ scalony silnie ograniczają rozproszone pojemności pasożytnicze układu. Dlatego zwrócenie uwagi na zewnętrzny rozkład ścieżek zapewni maksymalną skuteczność obwodów wewnętrznych zabezpieczenia układu scalonego.

- Naśladuj standardowe techniki rozkładu analogowego, umieszczając wszystkie kondensatory bocznikujące (odsprzęgające) i pomp ładunku tak blisko układu scalonego, jak jest to możliwe.
- Wprowadź warstwę masy na płytce drukowaną.
- Minimalizuj pojemności i indukcyjności ścieżek.
- Umieszczaj układ scalony tak blisko portu wejścia/wyjścia, jak jest to możliwe.

W trakcie testowania zapewnij, że układ testowy spowoduje przepływ prądów ESD wzdłuż tych samych ścieżek, którymi płynęłyby w sprzecz. Przebadaj zadany zakres ESD krokami przyrostów po 200V i na każdym poziomie przykładaj odpowiednie



Rys. 3. Wysoki prąd wyładowania w układzie scalonym może „przeszpilować“ złącze poprzez częściowe rozpuszczenie aluminiowego kontaktu w krzemie, powodując trwałe zwarcie do warstwy poniżej.

napięcia obydwu polaryzacji po dziesięć razy, mniej więcej co sekundę. Napięcie powinno być przykładane w odniesieniu do wyprowadzenia masy układu scalonego. Uszkodzeń szukaj sprawdzając trzy parametry po każdym teście.

Prąd zasilania powinien pozostać stały (wzrost może wskazywać na zatraskiwanie - *latchup* - lub uszkodzenie wewnątrz). Napięcie wyjściowe nadajnika dla transmisji RS-232 powinno nadal osiągać poziomy minimum $\pm 5V$.

Po trzecie, rezystancja wejściowa odbiornika powinna pozostać pomiędzy $3k\Omega$ a $7k\Omega$ (idealnie, powinna pozostać na stałym poziomie w tym zakresie). Przykładaj napięcie, jak to opisano powyżej, i sprawdzaj układ we wszystkich jego trybach pracy: normalnej pracy, wyłączenia, odłączonego zasilania, wysokiego i niskiego stanu nadajnika i tak dalej.

Wskazówki dotyczące dobierania układów scalonych

Przed wybraniem układu scalonego (szczególnie nadajnika RS-232) należy odpowiedzieć na następujące pytania:

Jakiego poziomu wytrzymałość na napięcia ESD gwarantuje układ scalony i jaką metodą był określony ten poziom?

Różne metody dają różne wartości napięć. Zalecane obecnie podejście obejmuje zarówno IEC 1000-4-2, jak i zmodyfikowaną metodę 3015.7.

*Czy ESD spowoduje zatraskiwanie (*latchup*) układu?*

Zatraskiwanie jest problemem krytycznym. Jeśli ESD wywoła zatraskiwanie w układzie, to może on przestać funkcjonować. Wynikający stąd prąd zasilania (nawet do 1A) może zniszczyć układ scalony.

Czy zabezpieczenie przed ESD układu scalonego wpływa na normalną pracę?

Normalna praca może powodować zatraskiwanie (*latchup*) w wewnętrznej strukturze zabezpieczenia, jeśli jest źle zaprojektowane.

Czy stosując układ scalony musisz przestrzegać specjalnych zaleceń?

Bipolarne układy scalone mogą wymagać kosztownych kondensatorów o małej ESR (ang. Equivalent Series Resistor - zastępczej rezystancji szeregowej) lub warstwy masy o małej impedancji dla prądów zmiennych. Najlepiej na początku zdać sobie sprawę z tych wymagań.

Jaka jest deklarowana maksymalna szybkość narastania napięcia na wejściu układu scalonego?

Układ scalony podatny na zatraskiwanie (w wyniku swojej struktury zabezpieczenia przed ESD) może mieć niezwykle małą maksymalną szybkość narastania dla uniknięcia powstania warunków zatraskiwania *latchupu*.

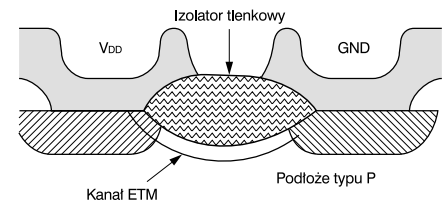
Jak układ scalony odpowiada na test ESD obejmujący cały zakres, dla którego jest gwarantowane zabezpieczenie napięciowe?

Mechanizm wyzwiania dla struktury zabezpieczenia przed ESD może zadziałać w innych zakresach napięcia, pozostawiając otwarte „okna“ bez zabezpieczenia. Taki układ może przeżyć $\pm 10kV$, ale na przykład uszkodzić się przy $\pm 5kV$. To dlatego zaleca się, aby test ESD pokrywał cały zakres napięciowy w krokach przyrostu po 200V.

EE

Artykuł publikujemy na podstawie umowy z redakcją miesięcznika "Elektor Electronics".

Editorial items appearing on pages 24..26 are the copyright property of (C) Segment B.V., the Netherlands, 1998 which reserves all rights.



Rys. 4. Migracja elektrotermiczna (ang. ElectroThermal Migration - ETM) w układzie scalonym pozwala określić stopień uszkodzenia dla przypadku ESD. Wypadkowy duży prąd i napięcie mogą spowodować ścieżkę zwarcia lub małej impedancji pomiędzy końcówkami tranzystora.