

Abstrakt

Niskoszumowe scalone układy z szybkim interfejsem cyfrowym do obrazowania promieniowania

Detektory półprzewodnikowe stosowane są w różnych aplikacjach, takich jak obrazowanie (detektory pozycyjne promieniowania X) czy eksperymenty Fizyki Wysokich Energii. Rozwój fizyki eksperymentalnej związany jest z koniecznością projektowania coraz bardziej zaawansowanych technicznie systemów detekcyjnych. Tendencją w rozwoju badań w tej dziedzinie na przykładzie na przykład eksperymentów takich jak ALICE (*A Large Ion Collider Experiment*) w centrum badawczym CERN (Szwajcaria), czy CBM (*Compressed Baryonic Matter*) w ośrodku FAIR (Niemcy), jest zwiększenie rozdzielczości pomiaru wielkości ładunku zdeponowanego w detektorze półprzewodnikowym i czasu wystąpienia zdarzenia. Aby było to możliwe, konieczna jest poprawa parametrów zarówno samego detektora, jak i elektroniki odczytu. Wśród najważniejszych wyzwań stawianych projektantom elektroniki odczytu od strony części analogowej jest redukcja szumów (związanych z samą elektroniką, ale też elementami zewnętrznymi czy sprzężaniem zakłóceń od zasilania), zapewnienie pracy z dużą częstotliwością rejestrowanych cząstek (250 tyś. zdarzeń/s/kanał), uodpornienie na długotrwałą pracę w niekorzystnym środowisku (promieniowanie i związane z nim uszkodzenia radiacyjne, zmiany temperatury, prądy upływu). Wymagania dotyczące części cyfrowej to przede wszystkim umożliwienie transmisji bardzo dużej ilości danych (np. 40 milionów zdarzeń na sekundę, 320 Mbps na łącze) zawierających informację o zarejestrowanym zdarzeniu do nadrzędnego systemu akwizycji danych, co w praktyce oznacza zwiększenie przepustowości łącza oraz łączy się z szybszą pracą elektroniki (rzędu GHz). Oprócz tego wielokanałowe układy odczytowe, najczęściej zintegrowane muszą charakteryzować się niskim poborem mocy (rzędu 10 mW/kanał) i odpornością na efekty przesłuchów zarówno pomiędzy sąsiednimi kanałami jak i w obrębie kanałów, pomiędzy częściami analogowymi i cyfrowymi.

W niniejszej pracy Autorka przeprowadziła badania nad możliwością poprawienia parametrów pracy układów odczytowych bazując na wymaganiach stawianych elektronice przeznaczonej do krzemowych detektorów paskowych w detektorze STS (*Silicon Tracking System*) w eksperymencie CBM. Głównym celem przeprowadzonych badań było obniżenie szumów w systemie odczytowym, zapewnienie większej elastyczności w dostosowywaniu poszczególnych kanałów odczytowych do zmiennych warunków pracy związanych ze zmiennym udziałem kontrybucji szumowych od różnych elementów systemu odczytowego (zarówno wewnętrznych, związanych z elektroniką, jak i pochodzących od zewnętrznych komponentów), zmienną temperaturą, obecnością prądów upływu oraz zmiennymi parametrami pracy układu w związku z efektami wywołanymi przez promieniowanie. W pracy podjęty został również temat wykorzystania przetwarzania różnicowego w kanale odczytowym, który, chociaż charakteryzuje się wyższymi szumami, poborem mocy oraz zajmowaną powierzchnią niż

architektury typu „*single-ended*”, pozwala zredukować wpływ zakłóceń od zasilania i znacząco zmniejszyć sumaryczny poziom szumów toru przetwarzania ładunku. Inną istotną kwestią poruszaną w niniejszej rozprawie jest zapewnienie testowalności jednorodności parametrów pracy wielokanałowych układów scalonych, których w rozbudowanym systemie odczytowym może być nawet kilkanaście tysięcy, poprzez opracowanie zintegrowanego układu do pomiaru potencjałów oraz napięć zasilania wewnątrz układu.

Wymagania dotyczące zwiększania przepustowości transmisji danych, przy równoczesnym ograniczeniu na ilość linii transmisyjnych (przewodów) w systemach odczytowych detektorów promieniowania są przyczyną, dla której wielu projektantów elektroniki przeznaczonej do celów Fizyki Wysokich Energii rozważa możliwość wykorzystania nowszych technologii submikronowych (w których długość kanału tranzystora jest poniżej 100 nm) w celu przyspieszenia pracy nadajników integrowanych w części cyfrowej elektroniki odczytu. Autorka przeprowadziła również badania w kierunku wykorzystania nowszych technologii niż dotychczas używane w elektronice przeznaczonej do zastosowań w Fizyce Eksperymentalnej (najczęściej 0.35 μm , 0.18 μm lub 0.13 μm ze względu na dostępność, cenę, a także stabilność i dojrzałość procesu i weryfikację pod kątem zachowania w obecności promieniowania) do zaprojektowania nadajnika (*transceiver*) pozwalającego na Multi-Gigabitową transmisję danych. Badania skupiły się na możliwościach technologii 28 nm i zaprojektowaniu najważniejszej części układu transmisji danych, czyli pętli fazowej (*Phase Locked Loop, PLL*), z zapewnieniem odporności na uszkodzenia radiacyjne.

Praca zawiera opis kilku rozwiązań istotnych problemów występujących w układach odczytowych detektorów promieniowania, takich jak układ kompensacji prądów upływu, po raz pierwszy w połączeniu z szybkim resetem wzmacniacza ładunkowego, projekt układu do monitorowania wewnętrznych potencjałów w układzie scalonym, a także opracowane rozszerzone modele sensorów i innych elementów systemu, wykorzystywane w celu optymalizacji symulacyjnej elektroniki odczytu.

Rezultatem prac badawczych są trzy układy scalone. Dwa z nich to wielokanałowe, analogowe układy odczytowe o konfigurowalnych parametrach pracy (jak np. typ filtra kształtującego i czasu kształtowania), zawierające zarówno kanały o architekturze unipolarnej, jak i różnicowe. Zostały one zaprojektowane i wyprodukowane w technologii 180 nm CMOS. W układach tych zaimplementowane zostały opracowane metody kompensacji prądu upływu oraz kilka innych rozwiązań pozwalających poprawić parametry szumowe, jak również uodpornić układ na zakłócenia z linii zasilania oraz na efekty radiacyjne. Praca przedstawia i omawia wyniki pomiarów tych układów. Trzeci projekt to układ analogowej pętli fazowej zaprojektowany w technologii 28 nm CMOS, pod kątem wykorzystania w projekcie nadajnika przeznaczonego do pracy w obecności silnych pól radiacyjnych.