

Streszczenie
rozprawy doktorskiej
mgr. inż. Dominika Sondej

*pt. Pomiar odcinka czasu metodą kodowania wielokrotnego w niezależnych liniach
kodujących*

W niniejszej pracy przedstawiono projekt, implementację układową i wyniki badań licznika czasu dokonującego precyzyjnego pomiaru odcinka czasu upływającego pomiędzy dwoma zdarzeniami fizycznymi. W liczniku zastosowano autorską metodę kodowania wielokrotnego w niezależnych liniach kodujących. Metoda ta pozwala na eliminację technologicznego ograniczenia rozdzielczości właściwego dla często stosowanej metody konwersji bezpośredniej, dzięki czemu możliwe jest częściowe uniezależnienie parametrów metrologicznych licznika od technologii mikroelektronicznej w której został on zaimplementowany. Przedstawiona w pracy implementacja projektu licznika czasu w tanim i łatwo dostępnym układzie programowalnym Spartan-6 firmy *Xilinx* (CMOS 45 nm) umożliwiła powstanie kompletnego modułu pomiarowego o bardzo wysokiej rozdzielczości i precyzji pomiaru (odpowiednio < 1 ps, i poniżej 8 ps) w szerokim zakresie pomiarowym (do 1 s).

Do opracowania innowacyjnej metody pomiaru i projektu opartego na niej licznika czasu, konieczne było zrealizowanie szeregu zadań szczegółowo opisanych w niniejszej pracy. Pierwszym z nich było wykonanie analizy teoretycznej dwóch metod konwersji czasowo-cyfrowej, tj. metody wielokrotnych linii kodujących oraz metody kodowania wielokrotnego, na podstawie których powstała metoda stanowiąca temat wiodący tej rozprawy. Analizę skupiono na zasadzie działania, implementacji sprzętowej, sposobach identyfikacji przedziałów kwantowania oraz obliczania wyniku pomiaru. Kolejno przedstawiono realizację połączenia obu metod w formie projektu przetwornika. Z uwagi na ograniczoną długością linii kodujących zakres pomiarowy przetwornika zaproponowano zastosowanie go jako drugiego stopnia interpolacji licznika czasu realizującego metodę Nutta. W pierwszym stopniu interpolacji zastosowano zegar czterofazowy wytworzony z użyciem generatora bazującego na linii opóźniającej. W celu zapewnienia wysokich parametrów metrologicznych w szerokim zakresie mierzonych odcinków czasu, do taktowania licznika użyto zegara (500 MHz) o niskim rozmyciu zboczny i wysokiej stabilności krótkookresowej.

Osiągnięcie subpikosekundowej rozdzielczości w wybranym układzie programowalnym możliwe było po zastosowaniu przetwornika o trzech liniach kodujących oraz propagującego się w nich sześcioboczowego sygnału wzorca. W układzie programowalnym linie kodujące zostały utworzone z użyciem łańcucha szybkich przeniesień arytmetycznych (*carry chain*), charakteryzującego się najmniejszymi opóźnieniami jednostkowymi dostępnymi w układzie. Eliminację błędów bąbelkowych, pojawiających się w kodzie wyjściowym linii kodującej,

wykonano za pomocą opisanego w pracy asynchronicznego układu korektora. Do wytworzenia sygnału wzorca zaproponowano dwa typy generatorów, różniących się liczbą generowanych zboczy oraz ilością zasobów logicznych układu programowalnego wymaganych do ich implementacji.

Praca zawiera również szczegółową analizę błędów opracowanego licznika czasu. Na jej podstawie zaproponowano model niepewności pomiarowej, który następnie zweryfikowano w sposób empiryczny. W końcowej części pracy zawarto opis i wyniki przeprowadzonych badań eksperymentalnych, które potwierdziły zasadność stosowania zaproponowanej metody w celu poprawy głównych parametrów metrologicznych licznika czasu.

Uzyskane w pracy wartości rozdzielczości i precyzji potwierdzają sformułowane w pracy tezy, iż możliwe jest opracowanie metody pomiaru odcinków czasu zapewniającej osiągnięcie pikosekundowej precyzji i subpikosekundowej rozdzielczości pomiaru licznika czasu bazującego na tanich i łatwo dostępnych układach scalonych.