

Bezegarowy przetwornik TDC (Time-to-Digital Converter) z sukcesywnym równoważeniem upływu czasu

Konrad Jurasz

Streszczenie

Praca jest rezultatem badań prowadzonych przez autora nad udoskonaleniem i praktyczną implementacją w strukturze monolitycznej samotaktujących, bezpośrednich przetworników STB-TDC (*Successive Time Balancing Time-to-Digital Converter*). Układy te są przeznaczone do pomiaru odcinków czasu metodą kompensacji wagowej. Jednym z najważniejszych obszarów ich zastosowania są aplikacje biomedyczne, w których wysoka sprawność energetyczna jest kluczowym parametrem. Rozwiązania samotaktujące umożliwiają uzyskanie takiej sprawności, ponieważ nie posiadają w swojej strukturze zegara, zarówno zewnętrznego, jak i w postaci lokalnego oscylatora. Algorytm STB-TDC dokonuje ponadto pomiaru interwału czasu w sposób bezpośredni, co jest rzadko spotykaną, choć bardzo pożądaną cechą przetworników TDC.

Opis przeprowadzonych badań poprzedzono klasyfikacją algorytmów sukcesywnej aproksymacji zaproponowaną przez autora pracy. Wyodrębniono tam trzy istniejące warianty: oscylacyjną sukcesywną aproksymację, monotoniczną sukcesywną aproksymację oraz pełnoskalową sukcesywną aproksymację. Szczególną uwagę zwrócono na zdolność poszczególnych algorytmów do bezpośredniego przetwarzania nieodejmowalnych wielkości fizycznych, takich jak czas. Stanowi ona cenną zaletę konwersji, która pozwala uniknąć stosowania wstępnej konwersji będącej źródłem dodatkowego błędu przetwarzania i zużywanej energii dynamicznej w pojedynczym cyklu pracy przetwornika.

Dalsza część pracy zawiera opis i wyniki badań nad przetwornikiem STB-TDC. W pierwszej kolejności przedstawiono skonstruowany model przetwarzania metodą sukcesywnego równoważenia upływu czasu STB (*Successive Time Balancing*). Jego zaletą jest możliwość odwzorowania upływu czasu zarówno interwałów referencyjnych jak i mierzonego odcinka czasu. Następnie przedstawiono schemat przetwornika STB-TDC składający się z idealnych elementów oraz podano wyniki symulacji dla tak skonstruowanego układu.

Jednym z najważniejszych parametrów charakteryzujących wydajność metody przetwarzania czasu jest jej czas przetwarzania wyrażony w funkcji mierzonego interwału czasu. W niniejszej pracy wyznaczono tę zależność dla metody STB w sposób analityczny i udowodniono, że czas

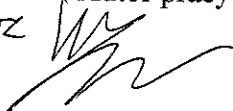
przetwarzania STB jest liniową funkcją mierzonego interwału czasu. Przeprowadzona analiza została dodatkowo zweryfikowana przy pomocy skonstruowanego w tym celu modelu behawioralnego.

Na podstawie idealnego modelu STB-TDC zaprojektowano i zoptymalizowano mikrostrukturę przetwornika czasu STB-TDC w technologii UMC 0,18 μm . Opis implementacji zawiera przede wszystkim wpływ nieidealności bloków składowych na charakterystykę przetwarzania oraz sposoby ich kompensacji.

W ostatniej części pracy przedstawiono wyniki pomiarów przeprowadzonych na serii próbnej mikrostruktury przetwornika STB-TDC. Uzyskane rezultaty wskazują, że zaprojektowany przetwornik STB-TDC spełnia postawione mu wymagania przetwarzając mierzone interwały czasu w sposób bezpośredni i asynchroniczny. Dla wytworzonej serii prototypów przedstawiono także wyniki statystyczne przeprowadzonych pomiarów.

24.06.2024r.

Konrad Jurczak Autor pracy



A clockless successive time balancing time-to-digital converter

Konrad Jurasz

Abstract

This work presents the results of research conducted on the improvement and physical implementation of a new *Successive Time Balancing Time-to-Digital Converter* (STB-TDC). These circuits are predisposed to measure time intervals using successive approximation method. One of the major fields the STB-TDC can be used is the biomedical applications in which high energy efficiency is a key performance parameter. Self-clocked solutions makes it possible to achieve it because they do not use a reference clock – neither external nor internal in the form of a local oscillator. Moreover, the STB-TDC algorithm converts the time intervals directly which itself is very valuable feature of the TDCs.

Description of the conducted research is preceded by a classification of the successive approximation algorithms, which has been proposed by the author of this work. Three variants have been distinguished: Oscillating Successive Approximation (OSA), Monotonic Successive Approximation (MSA) and Full-Scale Monotonic Successive Approximation (FSMSA). In particular the attention was paid to the ability of individual algorithms to direct conversion of the non-decremental physical quantities. This is a valuable conversion advantage that eliminates the necessity of using preconversion which is a source of additional conversion error and increased dynamic energy consumption.

The next part of this dissertation contains a description and research results of the STB-TDC circuit. Firstly, the successive time balancing STB conversion model is presented. Its advantage consists in the ability to present the time lapse of both the measured time interval and the reference time intervals. Next, the schematic of the STB-TDC circuit is presented as well as its simulations results.

One of the most important parameters that characterize the efficiency of the time conversion method is the time of the conversion expressed in the function of the measured time interval. In this study this relationship is determined analytically for the STB-TDC method and it is proven that the time conversion of the STB is a linear function of the measured time interval. The analysis is additionally verified by the dedicated behavioral model.

Based on the ideal STB-TDC model the real STB-TDC has been designed and optimized using the UMC 0,18 μm technology. This part mainly includes the description of the subsequent blocks, the impact of their nonidealities on the transfer characteristic and the compensation methods.

In the last part of this dissertation the measurements results of the STB-TDC prototype series have been presented. Obtained data proves that the designed STB-TDC meets the requirements set for it and converts the measured time intervals directly without any reference clock. In addition, a statistical analysis of the collected data was performed.

24.06.2024r. Konrad Jurusz 
Author