

Synchronizace časových událostí s velmi vysokým rozlišením

Pavel Broulím

Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

Fakulta elektrotechnická

Západočeská univerzita v Plzni

broulimp@kae.zcu.cz

Timestamp synchronization with very high resolution

Abstract – The paper describes a technique how to synchronize timestamps from several devices. The method is shown and the measurement system for desired resolution is mentioned. Results proving the functionality are discussed.

Keywords – High resolution; TDC; Time measurement; Timestamps synchronization;

I. ÚVOD

V současné době je velmi aktuální měření časových událostí (časových značek) s velmi vysokým rozlišením, které dosahuje řádů pikosekund. Některé metody pro získání tohoto rozlišení jsou popsány v [1] a [2]. Toto rozlišení vychází z potřeb experimentů v částicové fyzice. Jedná se zejména o urychlovače umístěné např. v CERNu. Při srážkách částic a průchodu částic různými detektorovými systémy je nutné zaznamenat časovou značku pro jednotlivé detektory. Tyto detektory se nachází kolem místa srážení a částice procházejí postupně skrze tyto detektory. Průchodem se vyvolá signál z detektoru, od kterého se odvíjí časová značka daného průchodu. Vzhledem k rychlosti částic, která se blíží k rychlosti světla, časoměrné systémy musí mít rozlišení dosahující již zmíněného řádu pikosekund. To odpovídá vzdálenosti milimetr až mikrometr. Při získávání těchto časových značek je dále nezbytné tyto značky synchronizovat ke stejnému referenčnímu času (tzn. společný start pro všechny detektory). Aby se rozlišení časových značek získané časoměrnými systémy nezhoršilo, tato synchronizace musí dosahovat rozlišení stejného nebo vyššího než rozlišení těchto značek

II. ČASOMĚRNÝ SYSTÉM

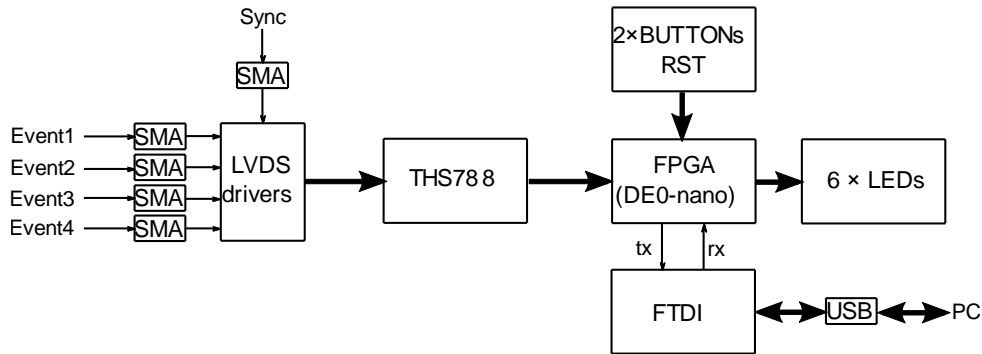
Časoměrné systémy pro získání binárního čísla, kde nejmenší bit odpovídá rozlišení daného měřicího systému, se nazývají Time-to-Digital Converter (TDC). Navržené TDC je založeno na měřicím obvodu THS788 od firmy Texas Instruments. Důležité parametry integrovaného obvodu THS788 jsou uvedeny v následující tabulce (Tabulka I).

TABULKA I. PARAMETRY THS788

Parametr	Hodnota
Počet kanálů	4
Rozlišení (LSB)	13ps

Dynamický rozsah	Až 7s
Četnost událostí	Až 200MHz

Za účelem vytvoření TDC bylo nutné navrhnout vlastní read-out systém. Blokové schéma celého zařízení je znázorněno na obrázku I.

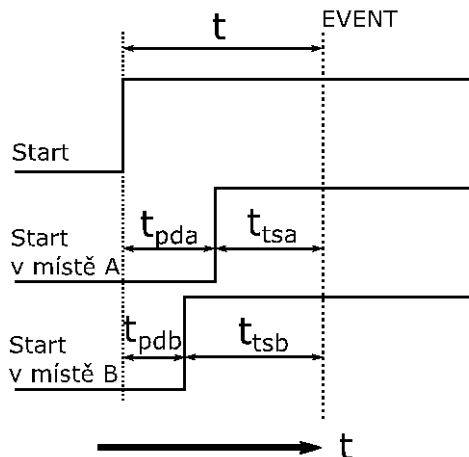


Obrázek I. Blokové schéma TDC

Měřicí činnost zajišťuje již zmíněný obvod THS788. Vlastní řídicí funkce (nastavení patřičných registrů v obvodu THS788, vyčítání dat z THS788, komunikace s tímto obvodem a s PC) je obstarána pomocí obvodu FPGA. Pro tyto účely byl zvolen vývojový kit DE-0 Nano od společnosti Terasic, tento kit je osazen FPGA řady Cyclone IV (EP4CE22F17C6). Spojení mezi tímto kitem navrženým plošným spojem je pomocí dvojice konektorů 2×20. Vzhledem k integrovanému indikátoru teploty v obvodu THS788 skrze hodnotu napětí, je také využit AD převodník obsažený ve vývojovém kitu. Pro komunikační část je vybrán produkt od FTDI, kde komunikace je založena na převodníku UART-USB. Dále jsou navrženy ovládací (tlačítka) a indikační (LED) prvky. Z důvodu LVDS událostních vstupů u integrovaného obvodu THS788 jsou použity převodníky, které zajišťují jednotlivé měřicí vstupy (událostní) a synchronizační vstup jako single-ended s impedancí 50Ω.

III. SYNCHRONIZACE

Detektory nacházející se v místě zkoumání mají s pohledu rozvodu startovacích signálů (reset, apod.) různé umístění, resp. doba šíření těchto signálů je různá. Generace startovacích signálů je zajištěna z jednoho centrálního místa.

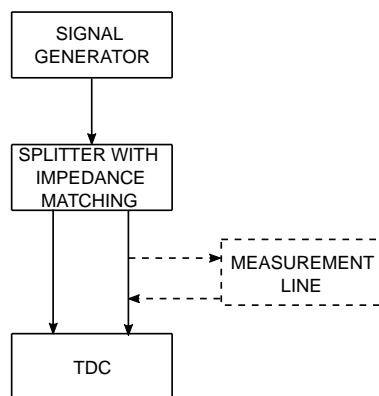


Obrázek II. Souvislost centrálního startu se vznikem události.

Z tohoto místa jsou signály dále vedeny do jednotlivých detektorů. Za tímto účelem je nutné měřit dobu šíření tohoto signálu. Toto měření lze provést v časové oblasti nebo ve frekvenční oblasti. V časové oblasti je použit např. časoměrný systém zmíněný v předchozí kapitole. Ve frekvenční oblasti probíhá měření fáze na několika kmitočtech. Tímto je spočteno skupinové zpoždění. Pro měření doby šíření je nezbytné mít zpáteční trasu pro měřicí signál. Proto výsledná naměřená doba je dvakrát delší. Na obrázku II. je znázorněna souvislost mezi startovacím signálem a vzniku události. Pokud je doba šíření známa (t_{pda} , resp. t_{pdb}), dále je známa časová značka (t_{sa} , resp. t_{sb}) z měřicího místa, je možné dopočítat výslednou časovou značkou (t) jako jejich součet.

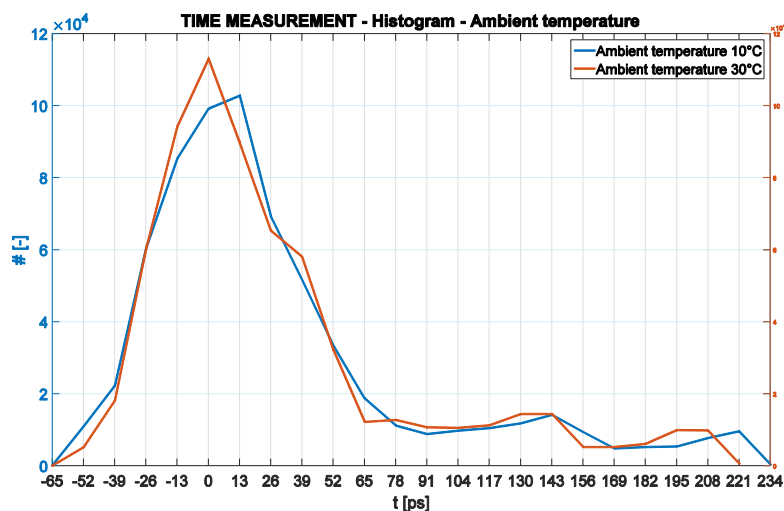
IV. MĚŘENÍ

Pro synchronizaci časových značek je nutné měření doby šíření signálu. Pro tento účel je sestaveno testovací uspořádání se stejně dlouhými kabely, které by měly zajistit, co nejmenší časový rozdíl průchodem signálu, tzn. naměřený čas by se měl blížit nule. Uspořádání je znázorněno na obrázku III (je zde naznačeno i vložení měřicí linky). Jak již bylo zmíněno, propojení je uskutečněno pomocí stejných kabelů (délka, materiál, atd.). Použitý splitter je impedančně přizpůsoben na 50Ω jak z hlediska vstupu, tak z hlediska výstupu.



Obrázek III. Testovací uspořádání.

Na následujícím obrázku (Obrázek IV) je znázorněn histogram z měření pro 2 různé okolní teploty.



Obrázek IV. Časové měření - histogram.

V. ZÁVĚR

Článek popisuje synchronizaci časových značek získaných z několika detektorů. Dále je zde popsán navržený časoměrný systém pro využití při zmíněné synchronizaci událostí. TDC systém (obě části – navržený plošný spoj a vývojový kit) je ukázán na obrázku V.



Obrázek V. TDC

Tento systém je plně provozuschopný a je možné jej použít pro měření. Maximální kontinuální četnost událostí je u navrženého systému 37,5kHz pro šířku datového slova 40b.

PODĚKOVÁNÍ

Tento článek vznikl za podpory interního projektu na podporu studentských vědeckých konferencí SVK-2016-006 a projektu SGS-2015-002: Moderní metody řešení, návrh a aplikace elektronických a komunikačních systémů.

LITERATURA

- [1] BROULÍM, P. Možnosti měření časových událostí s rozlišením v řádu desítek pikosekund v FPGA. In *Elektrotechnika a informatika 2015. Elektrotechnika, elektronika, elektroenergetika*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2015. s. 137-140. ISBN: 978-80-261-0514-5
- [2] BROULÍM, P., BROULÍM, J., GEORGIEV, V., MOLDASCHL, J. Very high resolution time measurement in FPGA. In *22nd Telecommunications Forum TELFOR 2014 Proceedings of Papers*. Bělehrad: IEEE, 2014. s. 745-748. ISBN: 978-1-4799-6190-0