

Oponentský posudek na disertační práci Václava Krause „**Datové rozhraní pro řízení experimentu a čtení dat z pixelových detektorů**“

Pixelové detektory mají zásadní význam pro jadernou a částicovou fyziku a navíc nacházejí stále více aplikací v jiných oborech díky nízkému šumu při zobrazování. Aby se data naměřená detektorem dala využít, je potřeba podpůrná elektronika v samotném detektoru a datové rozhraní, které zajistí komunikaci mezi detektorem a řídicím počítačem. Toto datové rozhraní pro různé detektory rodiny Medipix vyvíjené konsorciem institucí s centrem v CERNu je právě tématem Václavovy disertační práce a má tudíž velký význam pro využití těchto detektorů. Jelikož různé detektory z této rodiny mají různé specifické vlastnosti a charakteristiky, bylo potřeba zvolit dostatečně flexibilní přístup, který by fungoval pro různé detektory a jejich různá uspořádání. Václav proto použil obvody FPGA v zařízení FITPix pro implementaci příkazů z nadřazeného software zvaného Pixelman a pro naopak převod dat z detektoru nebo detektorů do formátu srozumitelného příslušné sběrnici. Tento přístup se osvědčil a cíl vytvořit funkční datové rozhraní tím byl splněn. To prokázaly výsledky testů a pokusů: vysoká rychlost snímkování, koincidenční měření exotických rozpadů nestabilních jader, měření SEE a jejich lokalizace v integrovaných obvodech a dokonce vesmírná aplikace měření záření na oběžné dráze Země. Tyto dobré výsledky disertační práce ukazují, že Václavův přínos vedl ke značnému zlepšení funkčnosti detektorů rodiny Medipix.

Po formální stránce napsal Václav práci přehledně. Postupně se dostal od obecné diskuse ionizujícího záření a její detekce k polovodičovým pixelovým detektorům a stávajícímu řešení jejich řízení. Pak popsal zařízení FITPix, jeho hardwarové uspořádání a zejména jeho firmware, což je jádro práce. Závěr práce popisuje konkrétní testy a pokusy se zařízením, které jsem popsal výše. V práci jsem našel občasné překlepy, drobné gramatické chyby a drobné nepřesnosti, které uvádím v příloze, spolu s drobnými náměty, které asi zčásti plynou z mých malých znalostí elektroniky.

Závěrem práci doporučuji k obhajobě, během které bych rád položil tyto tři otázky:

1. Můžete vysvětlit funkci předzesilovače na obr. 12, str. 25? Jak tvaruje vstupní signál, kompenzuje klidový proud a jak se na něm nastaví rychlost odezvy? Jaká rychlost odezvy je optimální a jakými hodnotami parametrů obvodu se dosáhne? Jaké tranzistory jsou p a jaké n a jsou v depletion nebo enhancement módu?
2. V popisu obr. 34 na straně 50 píšete, že Enable Out je sestupná hrana, aby to mohl být signál Enable In dalšího detektoru v sérii. Na str. 44 ale píšete, že Enable Out je vzhledupná hrana. Co z toho je správně?
3. A nejvíc mě zajímá, co se z exotických štěpných kanálů můžeme dozvědět nového o jaderné fyzice, např. jaderných potenciálech, uspořádání do slupek, jaderném párování, jednočásticových a kolektivních excitacích, korelačních efektech za mean-field approximation, případně ještě na nižší úrovni o samotných silných interakcích.

Příloha: seznam překlepů, drobných gramatických chyb a drobných námětů

Str. 11:

- „Ionizující záření je neoddělitelná součást přírody, která je spjatá s vesmírem od jeho vzniku a studium těchto vlastností a struktury mikrosvěta nám umožňuje pochopit podstatu hmoty, její vlastnosti a interakce s prostředím.“ Má být čárka za „vzniku“.
- „V průběhu minulého století začalo být ionizující záření využíváno v mnoha oborech jak v aplikovaném výzkumu, tak i v základním výzkumu jako např. ve zdravotnictví a materiálovém průmyslu.“ Asi má být obráceno pořadí „aplikovaném“ a „základním“.
- „Tyto polohově citlivé detektory jsou založeny na principu detekce jednotlivých kvant ionizujícího umožňující jejich jednoznačnou detekci včetně registrace a vizualizace jejich stop v polovodiči.“ Chybí slovo „záření“.
- „Cílem mé dizertační práce bylo vyvinout elektronický systém, který bude plně ovládat pixelové detektorů Medipix2MXR, Timepix a Medipix3 vyvíjené v rámci konsorcia Medipix.“ Má být „detektory“.
- „Takové zařízení, které splňuje výše zmíněné požadavky, by umožňovalo provést různé typy fyzikálních experimentů.“ Opakování předchozí věty?

Str. 12:

- „Zdroj ionizující záření je charakterizován energií a intenzitou...“ má být „ionizujícího“.
- „Nepřímé ionizující záření je tvořeno částicemi, které nesou elektrický náboj (n , γ , záření X, ν).“ Fotony ionizují přímo.

Str. 13:

- * v rovnici (2) definovat veličiny. V rovnici (3) chybí „m“. Taky tam není započtená kinetická energie dceřiného jádra. Navíc dceřiné jádro může být v excitovaném stavu (jak se píše o dvě stránky dál v diskusi záření gama). V rovnici (4) má být N-4. V rovnicích (4) a (5) má být alfa místo a? Jaký je vztah veličin definovaných rovnicemi (3) a (4)? Nuttall se dvěma t. Místo logaritmu energie má být jedna lomeno odmocnina. Co je l v rovnici (5)?
- „Polarizace atomů látky je významná v případě relativistických částic a záchytem elektronů a jaderné brzdění se uplatňuje pro částice s energií menší než 1 MeV.“ Má být „záchyt“.
- * „Lineární dosah – R“ má být kurzívou, taky jinde v textu. Definovat tyto veličiny.

Str. 14:

- „Lineární dosah pro částice α ve vzduchu je vyjádřen empirickou rovnicí (6) a v prostředí s hmotnostním číslem A rovnicí (7).“ Má být „rovnici“.
- * V obr. 2a má být antineutrino a v 2b má být pozitron.

Str. 15:

- „Stopy částic β jsou křivočaré celková, délka trajektorie částice je delší než její dosah.“ Špatné rozdělení věty.
- * Proč jsou jednotky g/cm^2 v rovnici (12), (13); podobně taky (7) na předchozí straně? Mají být různé rozsahy energií v (12) a (13)? Některý exponent u E v (13)? Jak souvisí μ s R_e ?
- „K vytvoření záření gama často dochází po rozpadu jádra α nebo β rozpadem.“ Má být taky po β rozpadu?

Str. 16:

- „při absorpci elektromagnetické záření látkou“ má být elektromagnetického
- * „Comptonův rozptyl - při srážce fotonů s atomy dojde ke změně energie (vlnové délky) fotonu a část energie fotonu je předána atomu.“ Spíš elektrony než atomy.

Str. 18:

- * „Výsledné spektrum místo čárového spektra obsahuje gaussian o střední hodnotě H_0 a směrodatné odchylce σ .“ Proč zrovna Gaussian? Předpoklad součtu mnoha nekorelovaných náhodných procesů?

Str. 19:

- sjednotit psaní „čítač“ nebo „čítač“.

Str. 20:

- „Dalším zpracováním je možné zjistit velikost energie původního fotonu, jelikož intenzita scintilace je přímo úměrná energii fotonu a intenzita scintilace je přímo úměrná počtu fotoelektronů.“ Původní částice nemusí být foton? Lepší obrátit pořadí v druhé vedlejší větě, aby byl zachován sled příčina-následek?
- * „Scintilační krystal má velice krátkou mrtvou dobu cca. 10^{-9} s.“ Paralyzující nebo ne?
- * „Polovodičový detektor se principem detekce ionizujícího záření podobá ionizační komoře.“ Tak možná vysvětlit, proč ionizační komora nemůže měřit energii záření, kdežto polovodičový detektor může.
- * „Pokud ionizující záření vnikne do oblasti bez volných nosičů náboje, tak dojde ke vzniku elektron-děrových párů a diodou proteče proudový puls, který je převeden na napětí pomocí snímacího odporu.“ Takže málo pronikavé záření alfa se tím nedá detekovat, jestli se nedostane až do pn přechodu? Viz též na další straně: „Polovodičové detektory mají až 30x větší rozlišení ve spektru oproti scintilačním detektorům díky dokonalému sběru náboje z citlivého objemu detektoru.“ Ale jestli se částice do toho objemu nedostane? Navíc na obr. 9 na straně 23 to vypadá, že se náboje vytvářejí v samotné oblasti n, ne na pn přechodu—stálo by za to označit ochuzenou zónu. Formálně: Lepší použít křížek než x.

Str. 22

- „Další část práce je zaměřena zejména detektory z rodiny Medipix, jenž jsou vyvíjeny v rámci konsorcia Medipix v CERNu, které sdružuje mnoho univerzit a výzkumných institucí po celém světě (existuje samozřejmě více pixelových detektorů podobné struktury – Pilatus, CMS pixel detector a další, všechny jsou ale založeny na stejném principu).“ Chybí předložka „na“ a místo „jenž“ má být „již“.

Str. 23:

- * „Senzor se používá obvykle polovodičový materiál jako např. křemík, ale díky hybridní technologii je možné použít senzory z jiných materiálů (GaAs neb CdTe).“ Chybí předložka. Věcně: vysvětlit, jak hybridní technologie umožní používat tyhle jiné polovodiče.
- „Ačkoliv detektor Medipix2MXR není prvním detektorem z rodiny Medipix, který byl vyvinut a dnes je to již starší model, jenž byl nahrazen novějším modelem Timepix, na něm bude vysvětlen princip funkce detektoru.“ Má být čárka po „vyvinut“.
- * „Prvním detektorem byl Medipix1 s 4096 čtvercovými pixely o hraně 170 μm a s aktivní plochou 1,2 cm^2 . Každý pixel obsahoval 15b čítač pro registrování událostí detektoru. Medipix2 je následujícím detektorem, který již obsahoval 65536 pixelů o velikosti 55 μm \times 55 μm . Každý pixel obsahoval 13 bitový „pseudo-random“ čítač. Z tohoto detektoru vychází detektor Medipix2MXR. Detektor má rozměry 16,12 mm \times 14,111 mm . Aktivní plocha je rozdělena na 65536 pixelů o velikosti 55 μm \times 55 μm (aktivní plocha je 1,982 cm^2 , což je 87,35 % celkové plochy).“ Možná Mně vychází, že $1,982 / (1,612 \times 1,4111) = 87,13\%$. V čem rozdíl?
- * „Statická spotřeba detektoru je přibližně 550 mW.“ Možná říct, čím je tahle spotřeba dána.

•* „Detektor je vyroben 250 nm CMOS technologií (umožňuje použít přibližně 500 tranzistorů na pixel).“ Na str. 21 se píše o tranzistorech velikosti 20nm? Tady jsou víc než desetkrát větší? Proč? Též na str. 28—130 nm pro Medipix3 je méně než 250nm, ale pořád více než 20nm. $55\mu\text{m}/250\text{nm}=240$ a $(55\mu\text{m}/250\text{nm})^2=57600$, víc než 500, takže možná říct taky, jak je velký tranzistor v této technologii.

Str. 25:

•* „Další částí analogového obvodu jsou dva komparátory.“ Jsou to trojúhelníky DiscL a DiscH v obr. 11? Určují horní a dolní mez signálu? Pro okno?

•* Co je BWD v obr. 11?

•* „Posuvné registry jsou zřetězeny a tvoří jeden 3584 bitů dlouhý posuvný registr.“ Proč je na obr. 10 číslo 3328?

Str. 26:

•* „Po načtení 256 bitů do tohoto registru jsou data paralelně překlápěna do posuvných registrů od pixelů. Tuto činnost lze opakovat, až je matice konfigurována nebo dokud není přečten obsah jednotlivých pixelů.“ Je první věta jen pro konfiguraci? Pro čtení pixelů překlápění naopak?

•* Co jsou signály M0, M1, PS, Shutter a Reset jsou vysvětleny. Jak to, že to jsou vstupní CMOS signály, když výše na stránce se píše, že CMOS je jen pro output (možná říct přímo, že IO Logic blok na obr. 10 a 13 je CMOS)? M0 a M1 jsou definovány až str. 45, ale ani tam ne úplně jasně—možná by bylo dobré napsat explicitně, jaké jejich hodnoty odpovídají jakému módu detektoru. Možná vysvětlit, proč D/A převodníky a ne A/D. Též o stránku dál—„D/A převodníky slouží k nastavení parametrů analogové části každého pixelu.“ Možná dobře říct, co to je za parametry a jak se nastavují a co znamená, že signály jsou „po celou dobu operace stabilní“.

Str. 27:

•* „Načtení konfiguračních dat – data jsou pomocí FSR předána do konfiguračního registru PCR, který obsahuje každý pixel.“ Kde je PCR na obr. 11 a 14?

•* „Nastavení interních D/A převodníků – pomocí FSR jsou do D/A převodníků zapsány hodnoty.“ Nebo jsou pomocí D/A převodníků zapsány hodnoty do zařízení? Kam a jaké?

•* „Kalibrace pomocí testovacích pulsů – na vyhrazený pin je přiveden signál, který je připojen na vstup nábojových zesilovačů v každém pixelu. Pomocí tohoto signálu lze kalibrovat detektor bez přítomnosti ionizujícího záření.“ Vyhrazený pin neznámá pro daný pixel? Je vyhrazený pro každý pixel?

Str. 28:

• „Do pixelů byly přidány vazby se sousedních pixelů pro měření v módu CSM.“ Má být „se sousedními pixely“.

•* „Digitální část obsahuje dva 12 bitové čítače s nastavitelnou délkou. Lze nastavit délku čítačů (1 b, 4 b, 12 b) nebo spojit je do jednoho 24 bitového čítače.“ Podle čeho se nastaví délka čítače? Kde jsou dva čítače na obr. 15? Jsou to CounterA a CounterB (ty nejsou pro pixel A a B)? Možná dobře napsat, že zpětná vazba kolem čítače na obr.11 a 14 s multiplexery a xor hradlem je na obr. 15 zahrnuta v čítačích. Kde jsou na obr. 15 pixely C a G? Možná vysvětlit, co je Cluster common control a Arbitration na obr. 15.

•* „Zároveň je dostupná možnost nepřetržitého měření s nulovou mrtvou dobou (jeden čítač je čten, zatímco druhý měří).“ Je fyzicky možná nulová mrtvá doba? Nebo se tím myslí, že elektronika nezvyšuje mrtvou dobu samotného detektoru? Trochu by ji stejně asi zvýšila, protože přepnutí mezi čítači trvá nějakou dobu.

Str. 29:

• „CSM (Charge Summing Mode) - Díky sdílení náboje mezi pixely, které byly zasaženy jednou částicí a dochází ke zkresení.“ Chybí sloveso a čárka za „částicí“.

•* „CM (Color Mode) - Pokud je osazen sensor, kde jsou 4 pixely sloučeny do jednoho, tak

lze využít až osm komparačních úrovní pro tento pixel $110\mu\text{m} \times 110\mu\text{m}$.“ Možná vysvětlit, jak se dostane osm úrovní, že oba komparátory na obr. 15 jsou větší než.

•* Co jsou EoC, TpC a E-Fuses na obr. 16? Je Shutter a Shutter1 totéž co ShutterA a ShutterB na obr. 15? Ostatní symboly víceméně jasně.

Str. 30:

•* V obr. 17 proč enable in a enable out jdou stejným směrem na cmos a lvds straně, kdežto clock in, clock out, data in, data out jdou opačně? Proč jsou dvoje hodiny? Mají MISO a MOSI být naopak?

Str. 31:

•* „Celý systém disponuje malou spotřebou a lze bez potíží provozovat ve vakuu, což je významný přínos pro experimenty v oboru jaderné fyziky.“ Možná vysvětlit, proč by to nemělo jít ve vakuu.

• „S použitými komponenty a malými rozměry, ale nebylo možno dosáhnout velkého počtu obrázků za vteřinu.“ Má být „komponentami“ a je čárka navíc.

• „Tato nezbytná funkce je určena pro experimenty kde se měří koincidenční jevy.“ Chybí čárka.

• „Detektor Medipix3 je podporován pouze částečně a pro jeho další vývoj (je třeba přeprogramovat MCU jiným firmwarem).“ Závorky navíc.

Str. 32:

•* „Jelikož zdroj systémové frekvence je založen na laditelném RC oscilátoru s rozsahem 7 MHz až 40 MHz, tak tento systém není vhodný pro detektor Timepix.“ Možná vysvětlit, proč ne

Str. 33:

•* Obr. 20, co je extra I/O? Co jsou token in a token out?

Str. 34:

•* Možná trochu popsat bloky na obr. 22.

Str. 35:

• „Poslední článkem v řetězci zbývá vizualizace a zpracování dat.“ Lépe zformulovat.

•* obr. 23: Možná vysvětlit, proč jsou funkce dvakrát, jednou pro Medipix Manager a jednou pro Java, a proč je tu explicitně jenom Muros.

Str. 36:

• „Částicové pixelové detektory z rodiny Medipix lze použít v široké škále aplikací a vědeckých experimentech.“ Jsou aplikace důležitější než experimenty, že jsou první?

Str. 38:

• „Platforma FITPix je založena na obvodech FPGA, jenž umožňují precizní časování signálů pro pixelové detektory. Zároveň je možné díky obvodům FPGA dosáhnout mnohem vyšších datových přenosů, které by byly velmi těžko dosažitelné pomocí běžných mikroprocesorů a tím též zvýšit časovou rozlišovací schopnost detektoru.“ Má být „jež“. Chybí čárka za „mikroprocesorů“.

• „Ačkoliv jsem vyvinul standardní firmware, který je schopen pokrýt mnoho tříd aplikací a experimentů, vždy budu existovat speciální nároky na funkci firmware.“ Má být „budou“.

Str. 39:

- * „Tyto zdroje jsou určeny pouze pro napájení detektoru z důvodu snížení rušení od zbytku systému.“ Zbytek systému může rušit přes společné napájení? Ze stejného důvodu oddělené napájení analogové a digitální části v další větě?
- * „Dále USB sběrnice nejde využít, pokud je cílem integrovat zařízení FITPix do nějakého většího celku jako jeden z několika subsystémů.“ Proč ne? A kde je sběrnice na obr. 26?
- „Proto v případech kde není možno využít sběrnice USB 2.0, byly nasazeny sběrnice UART, SPI, SpaceWire a jiné.“ Chybí čárka.

Str. 40:

- * „A/D převodník slouží k diagnostice detektoru a FITPixu. Diagnostika detektoru spočívá hlavně v ověření interních D/A převodníků detektoru, které lze vyvést na jeden ze čtyř pinů, které jsou připojeny na A/D převodník.“ Možná vysvětlit, jak A/D diagnostikuje D/A převodníky.
- „FPGA obvod je srdcem FITPixu kde je realizována veškerá funkce zařízení.“ Chybí čárka.
- „Od verze 3.0 by použit FPGA obvod od firmy Altera, jelikož bylo zapotřebí větších hradlových polí s větším množstvím paměti.“ Má být „byl“.
- „Konektor obsahuje napájecí piny a osm digitální vstupů nebo výstupů.“ Má být „digitálních“.
- „První částí je komunikační rozhraní, které obsluhuje sběrnici a je zodpovědné příjem a odesílání dat.“ Chybí předložka.

Str. 41:

- „Třetí částí je řadič detektoru, který je zodpovědný za konfiguraci detektoru, ovládání, generování časově kritických signálů a akvizici dat.“ Má být množné číslo.
- * Možná by bylo dobré, aby obr. 27 byl víc konzistentní s obr. 26.

Str. 42:

- „Zejména fyzické vrstvě, která je tvořena modulem Detector Interface.“ Chybí sloveso.
- „... a dále do systému byly předány data bez redundantních dat, která jsou přidávána do protokolů sběrnice.“ Má být „předána“.
- * „Start, začátek příkazu je značen hodnotou 0x55“ Co se stane, když tam bude jiná hodnota? Co jsou Data0,1,2? Co dělají různé příkazy v tabulce na další straně?

Str. 44:

- * V čem je rozdíl mezi signály FCLOCK_IN a FCLOCK_OUT? Proč to není jeden signál?

Str. 45:

- * „POLARITY – Tento signál přepíná sběr elektronů a děr.“ Kdy a proč?
- „PBUS_ACCES“ mají být 2 S?
- „Jelikož paměti FIFO jsou použity ve firmware jako vyrovnávací paměti.“ Chybí hlavní věta.
- * „Rozhraní FIFO pro vstupní data, která slouží ke konfiguraci detektoru, jsou vždy osmi bitová.“ Kde je tohle FIFO na obr. 28 na str. 44?
- „Pomocí posuvného registru jsou tyto osmi bitová data převedena na jednobitová a zapisována do detektoru.“ Má být „tato“. Sjednotit psaní „osmi bitové“ a „osmibitové“.
- * „Jedno rozhraní je osmibitové, které je používáno pro čtení dat v sériovém módu. Druhé rozhraní je dvaatřicetibitové pro čtení dat v paralelním módu.“ Které je které na obr. 28 na str. 44?

Str. 46:

- psát všechny příkazy kurzívou.
- * „EXT_CLK_SEL – Výběr interní měřicí frekvence nebo externí měřicí frekvence.“ Co je interní a externí měřicí frekvence? Proč jsou obě řízeny příkazem EXT?
- * „MEASUREMENT_TIME – Tento signál obsahuje skutečnou dobu měření. Pokud je měřeno pomocí synchronizačního portu, tak se hodnota v tomto signálu nemusí rovnat hodnotě v signálu TIME_PRELOAD.“ Možná lépe vysvětlit.
- * „CLK_EN – Pomocí tohoto signálu lze povolovat zdroj taktovacího signálu pro detektor. Tato funkce je vhodná pro speciální třídy experimentů, kdy pomocí tohoto signálu lze po dobu měření zastavit činnost detektoru, ale zároveň měření nepřerušit.“ Co znamená zastavit činnost detektoru ale nepřerušit měření? Nebo se myslí neukončit?
- „Nastavení zdali je měření spuštěno z externího signálu pomocí naběžné hrany, sestupné hrany, signálu v logické hodnotě 0 a 1.“ Chybí sloveso a čárka.

Str. 47:

- * Obr. 29, proč HW Timer a FITPix Status jsou dva signály proti sobě? Zejména proč HW Timer má dvě hodnoty pro 0 na začátku a na konci? Také v obrázcích na další straně. Kde jsou tyhle signály a Clk In v seznamu?

Str. 48:

- * Třetí a čtvrtý mód měření: je 70ns taky při ukončení? Proč zrovna tahle hodnota? Nejmenší možná? V popisku obr. 32 se píše, že měření je spuštěno příkazem a ukončeno externí událostí. Jaký je rozdíl mezi příkazem a externí událostí? V textu je taky externí signál.

Str. 49:

- * Jestli je obr. 33 rozkresleným oranžovým obdélníkem FSM z obr. 28, tak jak se k němu připojují ostatní části Detector Interface?
- „Po uplynutí této doby dojde k přechodu do stavu Reset, kdy jsou inicializovány všechna rozhraní a hodnoty v modulu.“ Má být „inicializována“.
- „Nícméně tento počet je ve firmware omezen na 16 detektorů v sérii“ Možná trochu více vysvětlit, v čem je rozdíl funkčnosti detektorů, když jsou v sérii a když jsou paralelně. Příkaz pro počet detektorů na konci str. 46 by asi měl mít množné číslo v názvu.

Str. 50:

- „Jeli hodnota mimo rozsah 1 až 16, tak je zřejmé, že došlo k poruše na detektoru nebo na spojení s detektorem.“ Chybí pomlčka.
- „Na základě počtu taktů dojde rozhodnutí kolik je vloženo detektorů v sérii.“ Chybí čárka.
- * „Ve stavu Idle je možné provádět na základě příkazu z nadřazeného systému následující operace: Measurement1-4, Readout Serial, Readout Paralle, Matrix Erase, Write Matrix, WriteFSR, Test Pulse, Power On/Off.“ Chybí „l“ na konci „Parallel“. Proč zrovna 4 měření? Jak je možné něco dělat, když je idle?

Str. 51:

- * „Jednotlivé bity jsou přeházeny v datech vzhledem k funkci výstupní datové periferie detektoru.“ Možná trochu rozvést, proč to tak je.
- „Sériová data jsou postupně načítána do čtrnácti 256 bitových registrů první registrové banky.“ Má být „načítána“.
- * „Po načtení dat do první registrové banky je vstup přepnut na druhou registrovou banku, která ukládá data, zatímco z první registrové banky jsou data ve správném formátu odesílána do dalších stupňů.“ Možná trochu rozepsat, co je správný formát a jak se na něj data převedou.

Str. 52:

- * „Druhý způsob je velmi podobný, ale místo registrových bank, které zabírají velkou část FPGA obvodu jsou použity zabudované paměťové bloky FPGA obvodu.“ Chybí čárka. Věcně vysvětlit, proč registrové banky zabírají víc obvodu než paměťové bloky?
- * „Niméně vyčtení první paměti již není provedeno dříve, než dojde k zaplnění druhé paměti.“ Proč ne?
- V obr. 36 je Bit MUX vzhůru nohama.
- * „V žádném dostupném rozhraní nedochází k analýze dat ani rekonstrukci nekonzistentních dat čtených z detektoru.“ Co jsou nekonzistentní data?

Str. 53:

- * „Jelikož výsledná velikost je téměř osmkrát menší, tak není třeba velkého hradlového pole.“ Tady asi dobré dát odkaz na počet LE v Tabulce 2
- * „Byť jsou tyto moduly velmi užitečné, tak vzhledem k jejich velikosti byly nasazeny pouze pro vývojové účely.“ Lépe říct, co jsou moduly v této souvislosti.
- * „V případě použití jednoho z těchto bloků je třeba jako druhý stupeň začlenit blok, který převádí byť konzistentní hodnoty na hodnoty, které lze použít jako číslo.“ Opět, lépe říct, co se myslí slovem blok, že to nejsou paměťové bloky A,B na obr. 36.
- „Posledním volitelným stupněm je kompresní modul, který je možné použít jako pro nekonzistentní data nebo pro data předzpracovaná. Jelikož detektor se používá ve dvou základní režimech. V režimu snímkovacím a v režimu částicovém.“ Má být „jak-tak“? Chybí hlavní věta. Chybí sloveso.

Str. 54:

- „Druhým režimem jsou uvažována měření, při kterých se sledující stopy jednotlivých částic.“ Má být „sledují“.
- „V případě vesmírných aplikacích jsou komunikační kanály velmi pomalé a zároveň je nutno data po nějakou dobu ukládat v paměti zařízení.“ Má být „aplikaci“.
- „Vstupní data jsou kódována do dvou slov, kde první nese počet opakující se hodnoty, které nese druhá již hodnotu.“ Divně postavená věta.
- „Na obrázku číslo č. 37 je také znázorněn graf jenž vyjadřuje kompresní poměr RLE v závislosti na počtu částic ve snímku.“ Dvakrát „číslo“.

Str. 55:

- „Ve standardních verzích zařízení FITPix nejsou používány bloky pro předzpracování dat ani blok komprese, jelikož se vždy očekává, že je zařízení pomocí USB sběrnice spojeno s PC, kde odpadá potřeba těchto úkonů.“ Má být „verzích“.
- „Niméně verze FITPix 3.0 s detektorem, který má zapojen paralelní datové rozhraní je komprese použita.“ Špatná stavba věty.
- * Tady se píše Medipix3, kdežto na str. 43 je to konkrétně Medipix3RX. Proč ten rozdíl?
- * „Detektor Medipix3 se již neovládá externími signály, jako v případě detektoru Timepix. Každá operace, která je s detektorem vykonávána musí být předem nakonfigurována v registru OMR (Operation Mode Register – 48 bitů široký).“ Nemá být čárka v první větě a má být v druhém souvětí. Věcně, proč se neovládá externími signály?
- „Proto Detector Interface obsahuje registr, který jsou zrcadlen do registru OMR v detektoru a je vždy zkopírován do detektoru před započítáním vlastní operace.“ Má být „je“.
- „Tím se lze dosáhnout nulové mrtvé doby detektoru. Posledním rozdílem je možno rychlého smazání čítačů v každém pixelu, která je implementována pomocí signálu **MatrixFastClear**.“ Nemá být „se“. Má být „možnost“.

Str. 56:

- „Tato kapitola je věnována realizacím založených na platformě FITPix.“ Má být „založeným“.
- * „Prvním realizovaným hardwarem je FITPix verze 1.0 až 2.3, který byl navržen pro detektor Timepix a Medipix2MXR.“ FW v kapitole 10 byl pro kterou verzi?
- „Komunikace s nadřazeným systémem (nejčastěji PC), je implementována pomocí sběrnice USB 2.0.“ Má být bez čárky a „implementována“.
- * „Hardware dále obsahuje A/D převodník pro diagnostiku detektoru,...“ Jak převodníky dělají diagnostiku?
- * Je obr. 38a totéž co obr. 26 na str. 39? Pokud ano, proč je tu podruhé? Které obvody na b odpovídají kterým blokům na a? Je to verze 1.0 nebo 2.3 nebo něco mezi?
- „Tato rychlost je 18 × vyšší než v případě předchozího zařízení IEAP - USB 1.22 Interface, které bylo v ÚTEF ČVUT vyvinuto v minulosti a 2 × vyšší než konkurenční zařízení MUROS (Nikhef), které dosahuje až 45 snímků za sekundu.“ Chybí čárka.

Str. 57:

- „Detektor Timepix je též zařízením MUROS podporován, ale díky nízké stabilitě taktovacího signálu pro měření není pro detektor Timepix příliš vhodný.“ Použít „díky“ pro něco žádaného?
- „Rychlost zařízení lze demonstrovat na následujících obrázcích č. 39 a č. 40.“ Obrázcích?

Str. 58:

- * Co znamenají údaje v Tabulce 3? Kde je na ni odkaz v textu? Podobně Tabulka 4 na str. 61.
- „Tato deska obsahuje pouze napájecí obvody, A/D a D/A převodníky a případně zesilovače jsou-li požadovány.“ Chybí čárka.

Str. 59:

- * obr. 42 Proč číslo 2 uvnitř částí obrázku? V čem se liší (b), (d) a (e)? Jak jsou popsány v textu? Všechny v 11.2.1, kdežto (a) je v 11.2.2? Proč jsou čtyři Timepixy v (c) uspořádány šipkami zrovna takhle?

Str. 60:

- * „Niméně s touto modifikací jsou pro obsluhu potřeba pouze čtyři zařízení FITPix 3.0.“ Možná jasněji říct, že na každý kanál ještě může být připojeno 5 detektorů sériově. Podobně LAD na str. 65.

Str. 61:

- * „Cílem bylo vyvinout prototyp detektoru termálních neutronů (což je volný neutron s energiemi okolo 0,025 eV). Jelikož rozhraní FITPix se osvědčilo v mnoha aplikacích použitých jak na půdě ÚTEF ČVUT tak i na pracovištích zahraničních partnerů, proto jsme jej zvolili jako výchozí platformu pro tuto aplikaci.“ Má být „což jsou volné neutrony“. Druhé souvětí špatně postavené. Též dále na stránce „Abychom mohli pomocí pixelového detektoru měřit neutronové záření, proto musí být sensor opatřen speciální konverzní vrstvou.“ Věcně: proč jsou ve vesmíru termální neutrony na zemské pokojové teplotě? Měří se kvůli velkému absorpčnímu účinnému průřezu?
- * „Produktem reakce je α částice a triton, které jsou detekovány polovodičovým senzorem se 100 % účinností.“ Co když jedna z nich poletí pryč od detektoru? Nebo stačí, aby byl detekován jen jeden?

Str. 62:

- „SpaceWire je vysoce spolehlivá komunikační sběrnice, jenž byla vytvořena pro použití v kosmických lodích, satelitech a vesmírných sondách.“ Má být „jež“ a „lodích“.

- * „SATRAM je zkratkou názvu Space Application of Timepix Radiation Monitor. Jde o první nasazení detektoru Timepix ve vesmíru, kdy je detektor umístěn vně kosmické lodi a také je to první aplikace zařízení FITPix, která byla nasazena ve vesmíru.“ V 11.3 o stránku dříve se píše, že první aplikací bylo SATPix. Možná říct jasněji, že to byly dvě součásti téhož projektu?
- „Zařízení SATRAM je součástí satelitu ESA Proba-V, který byla vynesena na nízkou oběžnou dráhu (LEO - 820 km) 7. května 2013.“ Má být „byl vynesen“.
- * „Pro snížení vyzařovaného elektromagnetického rušení byly z návrhu vyňaty fázové závěsy.“ Možná říct jasněji, čím fázově závěsy vadí. Str. 63:
- * „Na obrázku č. 46 je znázorněna prostorové a časové rozdělení celkové absorbované dávky v $\mu\text{G/h}$, která byla změřena na oběžné dráze satelitu.“ Má být „znázorněno“. Věcně možná trochu diskutovat obrázek: Je to záření ze Země nebo z vesmíru? Pokud z vesmíru, tak to bude záležet na denní době (orientaci povrchu Země vůči zdroji)? Proč červená skvrna nad Jižní Amerikou?
- * „Rozdíl mezi nejnižší a největší hodnotou je větší než 10^6 .“ Má být podíl?
- Str. 64:
- „Výsledky a datové produkty mají formu toků částic, dávky záření, směrového rozdělení energetických nabitých částic smíšeného radiačního pole a spektrálního rozdělení energetických ztrát částic podle jejich typů, od lehkých a těžkých nabitých částic (elektrony, protony, ionty) a rentgenového záření.“ Má být od ... do ...?
- „Hardware byl firmou Jablotron a.s. upraven, pro potřeby výroby.“ Čárka navíc.
- Str. 65:
- „Pokud by každý tento modul, byl opatřen vlastním FITPixem, tak by jich bylo třeba dvacet pro obsluhu jednoho velkoplošného detektoru.“ Čárka navíc.
- „Každý kvadrant jak bylo zmíněno je ovládán jedním zařízením FITPix 3.0.“ Chybí čárky.
- * „Díky pěti detektorům v sérii je možno použít vyšší frekvence pro čtení dat (u jiných zařízeních, kde bývá zapojeno větší množství detektorů v sérii, je frekvence snížena z důvodu stability systému na 1 MHz až 10 MHz).“ Možná jasněji říct, jak víc detektorů v sérii zvýší frekvenci a proč to sníží stabilitu.
- * „Aktivní plocha detektoru je téměř 200 cm^2 a rozlišením 6,5 Mpixelu.“ Má být „s“.
- Str. 67:
- „Byť základní myšlenkou pro dva detektory je záloha, ale pokud nedojde k poruše na jednom detektoru, tak lze oba detektory využívat současně.“ Špatně postavené souvětí.
- „Ačkoliv RISESAT, jak bylo zmíněno, založen na rozhraní FITPix, tak došlo k několika úpravám pro použití v mikro satelitu RISESAT. Modul RISESAT obsahuje procesorovou jednotku μRTU , které přijímá povely z řídicího počítače satelitu.“ Chybí sloveso. Má být „která“.
- Str. 70:
- „Pro přesnou polohově citlivou detekci byla vytvořena měřicí aparatura pomocí čtyř detektorů Timepix ovládanými pomocí FITPixů a jednoho spektrometru.“ Má být „ovládaných“.
- Str. 72:
- „Ostatní částice jsou částice α jelikož nemají v protilehlém detektoru částici, která by dopadla ve stejný čas a také mají menší plochu v odezvě detektoru.“ Chybí čárka.
- Str. 73:
- * „První režim měření se vyznačuje nastavením detektoru v módu Timepix a dlouhou dobou měření. Druhý režim měření používá krátkou dobu měření, typicky $50\ \mu\text{s}$ až $100\ \mu\text{s}$ a v detektoru je nastaven mód TOT.“ Jak souvisí mód měření s dobou?
- Str. 74:
- „Tyto jevy mohou pro dnešní integrované obvody s miliardami tranzistorů, jako jsou moderní procesory nebo FPGA obvody znamenat velké nebezpečí.“ Chybí čárka.
- „Pro nasazení ve vesmíru, je již četnost chyb natolik vysoká, že musí být používány součástky odolné proti SEE nebo zařízení musí být schopno chyby odhalit a předejít chybné funkci systému. V současnosti je nejčastější metodou testování odolnosti integrovaných obvodů proti SEE používán svazek neutronů nebo protonů o průměru několik μm . Pomocí tohoto svazku dochází ke skenování povrchu integrovaného obvodu a k určení citlivých míst, které nejsou odolné proti SEE.“ Čárka navíc. Druhé souvětí špatně postavené. Má být „která nejsou odolná“.
- „Cílem tohoto projektu je vytvořit metodiku měření a prototyp měřicí stanice,...“ sjednotit psaní „měřicí“ a „měřič“ v práci.
- Str. 75:
- „SEE bude detekován v libovolném integrovaném obvodu pomocí testovacích stimulů, které jsou individuálně vytvořeny pro každý DUT.“ Má být „detekován“.
- „Jako DUT jsou myšleny elektronické součástky, jenž se vystaví ionizujícímu záření.“ Má být „jež“.
- „Pro první ověřovací testy byly zvoleny FPGA obvody od firmy Altera, které disponují funkcí kontroly konfigurační paměti a jsou vyrobeny 90 nm technologií, která je citlivá na SEE.“ Má být „technologií“.
- Str. 76:
- „Měření probíhalo na urychlovači Van de Graff, který je provozován Ústavem technické a experimentální fyziky, ČVUT.“ Má být „Graaff“.
- Str. 77:
- „**Obrázek 60.:** Četnost SEE po dobu měření na VdG urychlovači. Červený graf je vynesena z dat DUT, který byl nejbližší zdroji neutronů.“ Má být „četnost“.
- * s čím se srovnává měření SEE, abychom věděli, zda je výsledek správný?
- Str. 78:
- „Do vyrobeného rámu byly osazeny dvě zařízení FITPix 3.0, tak aby byly vůči sobě přesně usazena a bylo možné dopočítat pozici SEE v DUT.“ Má být „osazena“ a „byla“.
- Str. 79:
- „Úkolem je určit souřadnice kde se částice nacházela ve vzdálenosti O_{dist} od detektoru. Výpočet těchto souřadnic lze provést pomocí rovnic parametrického vyjádření pomyslné přímky neboli trajektorii částice.“ Chybí čárka a má být „trajektorie“.
- Str. 81:
- „Mimořádným úspěchem se dá také považovat to, že zařízení FITPix bylo zakoupeno pro vědecké účely také věhlasnými zahraničními vědeckými institucemi jako je CERN, JINR Dubna, University of Houston, DESY - Deutsches Elektronen-Synchrotron, University of Freiburg a mnoho dalších.“ Má být „za mimořádný úspěch“.

- „Na základě projektu SATRAM, který dokázal přínos pixelových detektorů pro nasazení ve vesmíru je plánováno několik dalších misí s detektory Timepix jako je projekt RISESAT.“ Chybi čárka.
- „Se zařízením FITPix bylo provedeno mnoho experimentů jak vědci na půdě ÚTEF ČVUT, tak i v mnoha zahraničních institucích, které vedly k velkému portu publikací. Publikace FITPix - fast interface for Timepix pixel detectors, která je základní publikací, jež prvně informovala vědeckou komunitu o zařízení FITPix má nyní šedesát devět citací.“ Má být „počtu“ a „jež“.

Oponentní posudek disertační práce:

Datové rozhraní pro řízení experimentu a čtení dat z pixelových detektorů

pana Ing.Václava Krause

a) Zhodnocení významu disertační práce pro obor

Význam disertační práce Ing.Václava Krause pro obor detekce ionizujícího záření je zásadní. Podařilo se vyvinout nový elektronický systém na bázi programovatelných logických polí, který ovládá pixelové detektory malých rozměrů i v aplikaci ve vakuu a radiačním prostředí.

b) Vyjádření k postupu řešení problému

Autor vychází z definice ionizujícího záření, jeho detektorů, kde se zaměřuje především na polovodičové detektory záření. Diskutuje jejich interface, datová rozhraní a různá technická řešení. Práce je také doplněna experimenty.

c) Stanovisko k výsledkům disertační práce a k původnímu konkrétnímu přínosu předkladatele disertační práce

Disertant vyvinul novou platformu pro polovodičové pixelové detektory ionizujícího záření, u kterých oproti předchozím typům významně zvýšil rychlost čtení, zmenšil rozměry, upravil pro práci ve vakuu a implementoval synchronizaci více detektorů. O kvalitě a vysoké úrovni tohoto zařízení svědčí také to, že našlo uplatnění v takových ústavech jako je CERN, univerzita v Houstonu, Heidelbergu, Freiburgu, v kosmu v rámci programu SATRAM, i v ústavu v Dubně. Komerční výrobu tohoto zařízení v české republice zajišťuje firma Jablotron.

d) Vyjádření k systematické, přehlednosti, formální úpravě a jazykové úrovni disertační práce

Disertační práce je napsána velmi přehledně, systematicky s dobrou formální úpravou na dobré jazykové úrovni. Několik málo překlepů, které neubírají na kvalitě práce, jsem označil v disertační práci.

e) Vyjádření k publikacím autora

Seznam publikací Ing.Václava Krause je značný. Obsahuje 5 publikací v renomovaných impaktovaných zahraničních časopisech a 21 článků ve sbornících, z nichž velká většina je publikována ve sbornících zahraničních.

f) Jednoznačné vyjádření oponenta, zda doporučuje disertační práci k obhajobě

Disertační práci **doporučuji** bez výhrad k obhajobě.

Kostka

12.3.2016 Ing.František Kostka,CSc

Západočeská univerzita v Plzni

Doručeno: 10.03.2016

ZCU 006302/2016

listy:4

přílohy

druh:



zcupes f 44304

Oponentský posudek disertační práce:

Datové rozhraní pro řízení experimentu a čtení dat z pixelových detektorů

Doktorand: Ing. Václav Kraus

Oponent: Doc. Ing. Radek Škoda, MSc, PhD

CÍLE PRÁCE:

S rozvojem polovodičových součástek je umožněno vytvářet pokročilé polovodičové detektory ionizujícího záření. Tématem disertační práce je posunutí možností takových detektorů; ve spolupráci s ÚTEF doktorand pracoval na vývoji elektronických systémů pro polovodičové pixelové detektory Medipix. Tyto detektory jsou založeny na principu detekce ionizujícího záření v polovodiči a díky nejmodernějším technologiím je možné na velmi malou plochu umístit tisíce nezávislých detektorů s velmi malými rozměry jednoho aktivního prvku.

Cílem disertační práce bylo vyvinout elektronický systém, který bude plně ovládat pixelové detektory vyvíjené v rámci konsorcia Medipix. Tento systém by měl umožňovat ovládání více detektorů najednou (například v dlaždicovém uspořádání), významně zvýšit přenosové rychlosti dat, či umožnit precizní synchronizaci mezi více detektory. Výsledné zařízení by mělo být malých

rozměrů a vhodné pro provoz ve vakuu, např. v družicích. Nové zařízení by tak splňovalo výše uvedené požadavky a umožnilo pokrýt větší škálu fyzikálních experimentů, které doposud nebylo možné provést kvůli limitům stávajících systémů.

ODEVZDANÁ PÍSEMNÁ PRÁCE:

Práce je členěna do 12 kapitol, závěru a příloh a seznamů. Je členěna logicky, psána přehledně a jazykově správně. Považuji se za erudovaného vyjádřit se ke kapitolám 1-5, 7, 8, 11, 12.

Ke kapitole 1 a 2 nemám výhrad.

Následné kapitoly 3 a 4 by, dle mě, snesly robustnější prostor a vědecktější přístup, např. chybějí odkazy a větší inspirace např. literaturou /2/ by nebyla na škodu.

Kapitola 5 by mohla zahrnovat více i jiné detektory než rodinu Medipix, možné by bylo i sloučení s kapitolou 6.

Popis GUI Pixelman v kapitole 7 je střídavý, ale není úkolem disertace být uživatelskou příručkou.

Obdobně aplikace obecných pixelových detektorů v kapitole 8 by bylo možné rozebrat na větším prostoru, ač by to odvádělo od hlavního přínosu práce.

Kapitoly 9 a 10 se zabírají návrhy elektroniky, na něž nejsem odborník.

Kapitola 11 ukazuje přehledně hlavní přínosy řešení a je těžištěm práce.

Kapitola 12 se zaměřuje na přímé aplikace. Zde je, obdobně jako v kapitolách 3 a 4, občas fyzikální stručnost na škodu kvality práce. Např. U235 se štěpí náhodně za vzniku diskrétního 0, 1, 2, 3, 4, 5 či 6 neutronů. Nikoliv, že “se uvolní 2 až 3 neutrony”, jak píše autor.

VÝSLEDKY PRÁCE:

V souladu s cíli práce byla vyvinuta nová platforma FITPix pro částicové pixelové detektory Medipix. Rychlost čtení dat je nyní pomocí zařízení FITPix až 170 × vyšší, zároveň je práce FITPix-u 19 × rychlejší než podobná zařízení. Dalším významným posunem je možnost synchronizace více zařízení FITPix, nebo synchronizace pomocí externího synchronizačního signálu s odezvou do 70 ns. Povedlo se i dostat na oběžnou dráhu zařízení SATRAM, které je založeno na zařízení FITPix.

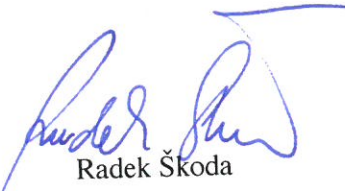
Sám jsem měl možnost s zařízením FITPix pracovat, testoval jsem jeho radiační odolnost na jaderném reaktoru TRIGA a použil jsem ho v neutronové kameře. Z tohoto pohledu je pro mě, ač jsem elektronik amatér, vědecký přínos zařízení pro detekci nabitých i nenabitých částic neoddiskutovatelný.

Doktorand je spoluautorem 5 impaktovaných článků a více než 20 statí ve sbornících. I když je zřejmé, že tímto naplnil pensum doktorského studia, v práci chybí autorům procentuální podíl na daných publikacích.

ZHODNOCENÍ:

Práce je významná pro daný obor, plní vytýčený cíl a doktorand má prokazatelné publikační i hmotné výsledky – t.j. zařízení FITPix. I když fyzikální část textu by snesla rozsáhlejší prostor, je text práce zpracován přehledně, formálně i jazykově dobře. **Jednoznačně tak doporučuji disertační práci k obhajobě.**

V Praze, 1.3.2016



Radek Škoda