

Oponentský posudek k disertaci **Rychlé výběrové obvody pro časový detektor částic** Jana Zicha

a) Zhodnocení významu disertační práce pro obor:

Objevení Higgsova bosonu bylo definitivním potvrzením Standardního modelu elementárních částic, který s přesností na mnoho platných číslic souhlasí s veškerými experimentálními daty. Jeden směr dalšího výzkumu je v hledání, zda se přece jen nenajde nějaká nesrovnalost, která by ukazovala k jevům mimo nebo za Standardní model. Druhý směr je hledání důsledků Standardního modelu, zejména do neporuchové oblasti kvantové chromodynamiky silných interakcí, což kvůli jejich asymptotické svobodě znamená na velkých vzdálenostech s přechodem na řádu fermi. Vznik nových kolektivních stupňů volnosti vlivem interakcí v jejich neporuchovém režimu je obecně důležitý problém ve fyzice a kvantová chromodynamika může do tohoto problému přinést nové vhledy studiem dopředných difrakčních procesů kombinujících poruchové a neporuchové chování. Jelikož tyto procesy jsou řídké, jejich pozorování a studium je možné pouze s použitím triggerů. Proto Honzova práce zaměřená na vývoj triggeru pro ToF detektor v rámci víceúčelového detektoru ATLAS má zásadní význam pro pokrok v pochopení dopředných difrakčních procesů v silných interakcích, a tím neporuchového chování kvantových teorií pole obecně.

b) Vyjádření k postupu řešení problému, použitým metodám a splnění určeného cíle:

Jan jako první řešení zvolil analogově-digitální návrh motivovaný zejména rychlostí použitých LVPECL obvodů. Ovšem nad výhodou rychlostí obvodů převládly nevýhody plynoucí ze základního principu porovnávání analogového součtu digitálních výstupů klopných obvodů s prahovou hodnotou: vysoká spotřeba vedla k velkým změnám teploty a ty zase ke změně prahových hodnot a snížení spolehlivosti. Proto Jan přešel k plně digitálnímu návrhu s vyšší spolehlivostí, nižší spotřebou, vyšší flexibilitou a s možností určit, kterým trainem Čerenkovových tyčinek ToF detektoru detekovaný proton proletěl.

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

Původním konkrétním přínosem jsou oba zmíněné návrhy triggeru, jejich realizace a testování, které prokázalo dostatečnou spolehlivost a rychlost digitálního triggeru. Tím byl Jan odměněn za odvahu dát se nejistým směrem a pak ten směr změnit, kterou výzkumník potřebuje pro kvalitativně nové výsledky.

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

Práce má přehlednou a logickou strukturu. Sestává ze dvou částí, přehledové a výsledkové, které jsou oddělené kapitolou 4 Motivace, cíle a metodika. V přehledové části Jan vyšel z obecného kontextu částicové fyziky a urychlovačů, který postupně zužoval až na vlastní téma triggerů a konkrétně triggeru pro ToF. Výsledkovou část tvoří dvě kapitoly věnované popsaným dvěma přístupům k ToF triggeru. Celá práce je shrnuta v kapitole 7 a přehlednosti pomáhá to, že detailní schémata jsou v přílohách. Při čtení mi pomáhal úvodní seznam symbolů a zkratk. Jan práci napsal čtivým jazykem s minimem chyb. V příloze jsem uvedl překlepy a náměty na možné zlepšení formulací a zejména na podrobnější vysvětlení některých míst pro čtenáře mimo obor, jako jsem já.

e) Vyjádření k publikacím studenta:

Seznam publikací na konci práce obsahuje 16 položek týkajících se výsledků v disertační práci a nadto další publikace, funkční vzorky a užitečný vzor. Tento seznam považuju za dostatečný.

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

Práci jednoznačně doporučuju k obhajobě, pro kterou mám tři doplňující otázky níže.

V Podolí, 3.6.2021

Šimon Kos

Otázky k obhajobě:

1. Na konci sekce 6.1.3.3 píšeš, že příprava asynchronního MCC iteračním procesem v prostředí Libero se nedá automatizovat. Můžeš popsat toto prostředí a důvody, proč se příprava nedá automatizovat?
2. Na str. 88, můžeš trochu rozvést diskusi dalšího vývoje dekodéru—vysvětlit rovnici (6.2), hodnoty v tabulce 13 a potřebné parametry dekodéru nové generace?
3. Můžeš uvést konkrétní příklad difrakčního experimentu, pro který bude použit Tvůj trigger?

Seznam překlepů a námětů na podrobnější vysvětlení

•Abstrakt

„Práce si klade za cíl přinést komplexní přehled výběrových obvodů používaných v částicových detektorech a vytvořit zcela nový systém výběru událostí pro časový detektor v oblasti fyziky elastického či difrakčního rozptylu v rámci projektu ToF AFP.“ V abstraktu vysvětlit zkratky? Projekt je ToF nebo AFP?

•str. 20:

„Samotným pojmem *částice* se přitom v tomto kontextu rozumí neredukovatelně malé, avšak stále detekovatelné částice a jejich fundamentální interakce.“ Taky se zkoumají složené částice, třeba protony právě na LHC.

„Moderní vysokoenergetické urychlovače částic typu velký hadronový urychlovač (LHC) či Tevatron mají za cíl prozkoumávat právě oblasti ležící za hranicí standardního modelu. Jeden ze směrů experimentálního výzkumu se zabývá srážkami typu proton-proton, při kterých sražené protony zůstávají po interakci intaktní. Tyto reakce se díky excitaci protonů do hadronického systému označují často jako hadronická difrakce.“ Možná zdůraznit, že difrakce se chce vysvětlit pomocí standardního modelu?

•str. 25:

„Silikonový pixelový detektor (též SiT – Silicon Tracker) s vysokým rozlišením je používán pro měření momentu hybnosti rozptýlených protonů.“ Proč zrovna moment hybnosti?

•str. 26:

„Z Obr. 2 je patrné, že obě části detekčního systému (SiT i ToF) jsou umístěny kolem interakčního bodu ATLAS symetricky ve vzdálenosti 205 m (první část SiT) a 217 m (druhá část SiT a ToF).“ Odkud se dostaly zrovna tyhle vzdálenosti?

•str. 27:

„Z důvodu nutného přenosu trigger signálu na delší vzdálenost (přibližně 300 m) je complementary metal-oxide-semiconductor (CMOS) signál převeden na standard NIM [13].“ můžeš důvody rozvést podrobněji?

•str. 28:

„Úhel θ [°] lze měřit a z jeho velikosti je snadné stanovit rychlost částice“ já jsem myslel, že rychlost dopředných protonů po difrakci je v podstatě c ?

•str. 29:

„Dlouhodobým cílem je dosažení časového rozlišení 10 ps, a tedy rozlišení pozice vertexu odpovídající 2,12 mm [12].“ odkud se bere požadavek zrovna na tuhle přesnost?

•str. 30:

Možná bys mohl lépe vysvětlit princip a účel CFD.

•str. 33:

„Problematika DAQ je dynamicky se rozvíjející heterogenní obor, jehož hranice nejsou přesně definovány. V praxi pak bývá tento obor s nadsázkou označován za alchymii kombinující znalosti z oblasti fyziky, elektroniky, IT, hackingu, síťování a empirických poznatků.“ Proč je potřeba hacking?

•str. 36:

„Periodický trigger je vhodný pro některé jednodušší typy experimentů, u kterých nedochází k prudkým změnám sledované veličiny a celkový datový tok bez selekce vybraných událostí není veliký. Vhodným příkladem tohoto typu aplikace je například měření teploty.“ Proč je pro měření teploty potřeba trigger?

•str. 39:

„Ve výchozím stavu je systém připraven na příchod události, což znamená, že signál READY v log. 1 aktivuje reset vstup KO. To umožňuje hradlu AND zpracování případného pulzu generovaného diskriminátorem.“ Znamená to, že set je v log. 0, ze které invertor udělá log. 1 na vstupu do AND?

„Při identifikaci události je spuštěn digitizér společně s blokem pro zpracování signálu. Výstup KO je nastaven do log. 0 a blokuje tedy AND hradlo pro příjem další události.“ Jestli jsem výchozí stav pochopil správně, tak bych čekal, že z log. 0 na výstupu KO udělá invertor log. 1 na vstupu do AND, tj. že jsi tady popsal stejnou situaci jinými slovy, takže chtěl jsi říct že log. 0 je zase vstup do KO? Proč vlastně bereš výstup z Q a invertuješ místo z \bar{Q} bez inverze?

•str. 41:

Dát oba indexy v rovnici (3.9) stojatě?

•str. 43:

Busy logika v obr. 19 nemá klopný obvod, kdežto v obr. 14 na str. 38 ho má. Proč ten rozdíl?

•str. 49:

„Přehled vědeckých metod, které byly v rámci realizace TM použity, je včetně rozřazení jednotlivých úkol uveden v kapitole 4.4.“ překlep úkolů?

•str. 50:

„Za hlavní cíl této práce, která je zaměřena na rychlé výběrové obvody pro časový detektor částic, lze označit vývoj rychlých výběrových obvodů pro ToF detektor projektu AFP.“ Trochu krkolomná formulace?

„Očekávaný typ výsledku bádání bude nabývat pozitivistické podoby.“ Co znamená pozitivistická podoba?

•str. 52:

„Elektronika uvnitř dvojitého boxu v NIM standardu je členěna na základní desku a čtyři moduly s vícekanalovými koincidenčními obvody (MCC).“ Možná vysvětlit, co je dvojitý box, a říct víc explicitně, jak 4x4 tyčinky odpovídají vstupům?

•str. 53:

„Bunch-crossing taktovací signál (40 MHz, 1:1 střída) může být zpozděn až o délku přesahující jednu jeho periodu (max. 30 ns), přičemž šířka je nastavitelná v rozsahu od 0,4 ns až do 10,4 ns za pomoci řízeného hazardu na AND hradlu.“ Co je délka a šířka a co je řízený hazard?

„Řízení zpoždovacích obvodů je realizováno s využitím I/O expandérů ovládaných přes I2C sběrnici.“ Říct explicitně, které obvody v obr. 22 jsou zpoždovací?

„Tab. 4 ukazuje, že pro konstrukci ADTM byla z důvodu rychlosti a odolnosti proti rušení použita převážně diferenciální signalizace, a to ve standardech LVDS, low-voltage positive emitter-coupled logic (LVPECL) a current-mode logic (CML).“ Kde je tab. 4 LVDS? Jak souvisí s rychlostí?

•str. 54:

„NAND hradlo, které se nachází poblíž fan-out obvodu na Obr. 22, rozhoduje o tom, zda bude pro zpracování CFD signálů ve MCC použito časové okénko odvozené od synchronizačního kmitočtu LHC či zda budou vyhodnocovány všechny příchozí signály bez časové kvalifikace.“ Jak se tohle rozhodne? Pro periodický vs. reálný trigger?

„MCC v ADTM používá pro vyhodnocení signálů v daném trainu analogový součet digitálních výstupů logických obvodů, který je následně komparován s referenční napětíovou úrovní.“ Možná říct explicitně, že tohle je vlastní jádro AD řešení?

•str. 55:

„Signálové spoje ve vnějších vrstvách jsou nakresleny s ohledem na diferenciální impedanci 100 Ω (přizpůsobení vhodné pro ECL obvody) a vybrané délky signálových spojů v obvodech pro úpravu taktovacího kmitočtu byly meandry vhodně prodlužovány za účelem dosažení požadovaného propagačního zpoždění.“ Jak je z nákresu vidět hodnota impedance?

•str. 56:

„V případě události zajímavé z hlediska fyzikálního programu projektu AFP přicházejí signály z CFD s časovým posuvem přibližně 100 ps vždy mezi $n + 1$ a n kanálem.“ Co se myslí kanálem a kolik jich je?

•str. 57:

„V případě, že součet napětí na sumačním obvodu (tzn. počet logických jedniček) přesáhne prahovou úroveň, dojde k překlopení výstupu komparátoru do logické jedničky.“ Odkud se bere prahový počet jedniček?

•str. 58:

„Zpoždění integrovaných obvodů uvedená v Tab. 5 se pohybují v relativně širokém rozsahu v závislosti na provozních podmínkách (napájecí napětí, teplota).“ Tyhle hodnoty jsi dostal od výrobce, nebo jsi je sám změřil?

•str. 59:

„Pro zpoždění train signálů o 2,4 ns bylo nutno navrhnout ve vnitřní vrstvě meandry o délce 350 mm, přičemž velikost delší hrany DPS je 140 mm.“ Takže byla potřeba plocha navíc, aby se na ni vešla dodatečná délka větší než rozměr DPS?

•str. 60:

„V horní části Obr. 28 jsou zobrazeny WCMP a RCMP komparátory společně s W fan-out obvody a výstupními zachycovacími obvody.“ Použít stejné zkratky v textu a v obrázku?

•str. 63:

„Výstupní signály z ADTM byly převedeny z LVPECL standardu na low-voltage CMOS (LVCMOS), jelikož je jednotka TMU THS788 zobrazená na Obr. 32 navržena pro signalizaci po jednom vodiči se společnou zemí.“ Můžeš líp vysvětlit?

„Do CLK IN vstupu sloužícího ke spouštění měření je zaveden dávkový signál z generátoru.“ Co je dávkový signál?

•str. 64:

Vstupní signál je první nebo třetí křivka na obr. 35?

•str. 65:

„Tento fakt, společně s problematickou uniformitou signálu sumarizovaného z výstupů D KO (jak napovídá Obr. 35), působí obtíže při vyhodnocování aktuálního počtu logických jedniček.“ Říct explicitně, která křivka obr. 35 ukazuje malou uniformitu? První?

•str. 67:

„I přes pečlivé zarovnání délek motivů signálových cest na DPS, a přípravě měřicí kabeláže se stejnou délkou, dosahuje největší rozdíl zpoždění mezi signály kanálů MCC přibližně 92 ps.“ Říct explicitně, jak se tahle hodnota dostane z obr. 36?

•str. 69:

„FPGA má navíc plně konfigurovatelnou adresu (rozsah 0 až 127) a DTM pak tedy zbytečně nezabírá velkou část adresového prostoru pro I2C sběrnici.“ Takže ADTM zabíral velkou část adresového prostoru?

„Zpracování TRAIN OUT CMP a TRAIN OUT MUX signálů je v případě DTM také řešeno v CTRL FPGA, čímž je dosaženo vyšší flexibility a redukce spotřeby.“ Jak se tím dostane vyšší flexibilita?

„Obvody pro vysílání příkazů do DAQ přes air-core koaxiální kabel byly v případě ADTM schopny vyslat vždy jen jeden pulz na základě zadaných kritérií (výběr jednoho ze čtyř MCC či dosažení prahové úrovně při součtu výstupů všech MCC).“ Jak počet pulzů souvisí s tím, jestli je systém analogový nebo digitální?

•str. 70:

„Potížím s kontaktováním MCC na základní desku a přední panel předchází jednodeskové řešení, na které jsou připájeny všechny potřebné součástky.“ Proč se nemohly připájet v ADTM?

„Vzhledem k redukované spotřebě je také předpoklad značného zjednodušené mechanické konstrukce“ překlep zjednodušení?

„Kontaktování výstupů MCC na přední panel je navíc realizováno vhodnějšími konektory bez nutnosti krimpování jednotlivých vodičů.“ Proč se tyhle vhodnější konektory nedaly použít taky pro ADTM?

•str. 71:

„Při identifikaci události relevantních pro daný experiment produkuje každý MCC signál TR, který je následně zaveden do CTRL FPGA.“ Překlep relevantní?

•str. 72:

„Přehled konektorů a signalizačních standardů DTM uvedený v Tab. 11 na rozdíl od ADTM nezahrnuje testovací konektory.“ Proč ne?

„Dále byl redukován počet výstupů pro vysílání příkazů do DAQ ze dvou na jeden, jelikož datové rámce vysílané DTM nesou veškeré potřebné informace.“ Můžeš líp vysvětlit?

•str. 74:

V obr. 40 data to slave jdou k masteru a from slave jdou od mastera a naopak data to master jdou k slave a data from master jdou od slave?

•str. 75:

„V případě, že je dosažena prahová úroveň (definovaný počet současných logických jedniček), a kvalifikační signál potvrdí platnost zpracovávaných dat, FPGA vygeneruje okénkový signál.“ Co je okénkový signál? Říct explicitně?

•str. 76:

„CFD signály ve firmware na Obr. 43 jsou zavedeny do CLK vstupů KO typu D.“ Proč je obr. 43 firmware ve MCC FPGA, kdežto analogický obr. 25 je architektura modulu MCC? Protože tady je všechno v jednom obvodu?

•str. 77:

„V druhé větvi je s využitím lookup table (LUT) vyhodnocena koincidence aktivních signálů.“ Co se vyhledává v tabulce?

„Resetovací signál je z FPGA vyveden pouze pro diagnostické účely v případě ladění firmware.“ Kde je vidět v obr. 43? Na výstupu TEST?

•str. 78:

„Vlevo se nachází vstupní CFD konektory doplněné o I2C rozhraní a vstup synchronizačního kmitočtu. Příkazy pro DAQ jsou vysílány posledním konektorem v levé části DPS.“ Proč synchronizační kmitočet nebyl v ADTM? Protože je pro FPGA? Poslední konektor je CFD2?

•str. 80:

„Pro simulaci zatížení součástek umístěných poblíž LHC v CERN byly vybrané součástky ozářeny protonovým svazkem v ÚJV Řež dávkou 200 Gy. Uvedená dávka odpovídá 4 rokům provozu DTM v cílové aplikaci na LHC.“ Je jedno, jestli tahle dávka přijde v průběhu 4 let nebo takhle najednou?

•str. 81:

Jak souvisí kodek s triggerem? Proč je až tady a nebyl už u ADTM?

•str. 83:

„Takto upravený signál je pak použit pro buzení VF tranzistorů doplněných o preemfázi.“ Co je preemfáze? Stálo by za to ji aspoň stručně vysvětlit?

„První tlačítko nastavuje s pomocí čítače vzorů datový vzor, který se má vysílat v rozsahu 0 až 15.“ Říct explicitně, co je datový vzor?

•str. 84:

„LVDS signál je přes LVPECL budič zaveden do obvodu VF tranzistorů napájených negativním napětím (přiváděným externě) z důvodu dosažení úrovně NIM.“ Překlep dosažení?

•str. 85:

„Případné chyby zjištěné při detekci jsou zavedeny do čítače chyb, který svůj aktuální stav postupně předává do bloku pro řízení vysílání dat do PC. Data následně prochází přes vyrovnávací paměť FIFO do entity UART, přes kterou jsou předávána do terminálového okna.“ Vynechal jsi popis TX CTRL?

•str. 87:

„Bezproblémová funkce firmware kodéru byla v průběhu testování ověřena společně s dostatečnou budičí schopností vysílače.“ Budičí schopnost je zesílení?

„Vzhledem k použití relativně nízkého kmitočtu s fázovým posunem mezi čtyřmi svými kopiemi o 0°, 90°, 180° a 270° pro vzorkování vstupního signálu se stává jeho následné zpracování a vyhodnocení netriviální záležitostí.“ Proč?

•str. 88:

„Počet vzorků datového rámce se pak řídí rovnicí:“ co jsou vzorky datového rámce?

Neměl by v rovnici (6.2) být součinn?

„Po dosažení rovnice 4.1 do 4.2 lze shrnout vliv frekvence přijímače na počet vzorků v každém datovém rámci do tabulky Tab. 13.“ rovnice 6.1 a 6.2?

„Proti tomuto požadavku jde však snižování počtu vzorků na bit s narůstajícím vysílacím kmitočtem.“ Kolik vzorků připadá na bit? Je snižování jejich počtu problém?

•str. 89:

„Předpokládaný form factor výsledného zařízení je jednonásobný NIM box.“ Co je form factor a odkud se bere jeho velikost?

„Z důvodu automatizovaného ověření parametrů DTM byl vyvinut tester založený na system on a chip (SoC) SmartFusion2 [36].“ proč nebyl vyvinut taky pro ověření parametrů ADTM?

„Použití IO kombinující hradlové pole a mikrokontrolér je velmi vhodné pro stavbu komplexního a flexibilního testovacího zařízení.“ Překlep kombinujícího?

„Samotná DPS testeru je osazena dvěma SoC, kde druhé SoC (DUT FPGA) je určeno pro testy parametrů SmartFusion2 v prostředí se zvýšenou radiací.“ Proč jsou pro testy bez radiace a s ní potřeba různá FPGA?

„DTM je řízena přes I2C konektor, nicméně v tomto případě jsou signály SCL a SDA použity pouze jako univerzální vstupní/výstupní piny (GPIO).“ Jak by mohly být použité jinak? Překlep řízen?

•str. 90:

„Tester umožňuje také generování synchronizačního kmitočtu ve standardu CML pro kvalifikaci CFD signálů v DTM. Vzhledem k obtížné implementaci testovací procedury účinnosti DTM s využitím kvalifikačního signálu není tento výstup prakticky využit.“ Synchronizační kmitočet simuluje hodiny CERN? Vadí to, že nebyl využit?

„V případě, že by se u některého z IO testeru projevil latch-up efekt, a došlo k výraznému nárůstu odběru zařízení, provede zdvojený ochranný obvod odpojení DPS od napájecího zdroje na definovanou dobu.“ Co je latch-up efekt? Stálo by za to vysvětlit aspoň stručně?

•str. 91:

„Výstupem bloku CLK GATE je pět identických kopií hodinového signálu.“ Taky z něj jdou signály TRAIN IN?

•str. 93:

„DTM byl krom standardních testů v laboratoři podrobena také provozu v rámci celého detekčního řetězce ToF.“ Překlep podroben?

„Blokové zapojení setupu pro ověření účinnosti a funkcí DTM v laboratoři je uvedeno na Obr. 60.“ překlep uvedeno?

„Funkce TDC při komunikaci s DTM byla simulována s pomocí Raspberry Pi.“ Proč už ne pomocí TMU jako pro ADTM?

•str. 94:

„CFD modul zpracovává signály z PMT jak je popsáno v kapitole 2.4.“ chybí čárka?

„Vstupní signály jsou sledovány osciloskopem SCOPE IN. Na výstupy je přes terminační desku připojen osciloskop SCOPE OUT.“ kromě toho je v obr. 62 ještě jeden osciloskop zobrazený značkou?

•str. 95:

„Podobna experimentu prováděného na urychlovači v DESY je zachycena na Obr. 63.“ překlep podoba?

•str. 96:

„Dle Obr. 64 je okénkový signál je na vstupu AND hradla s 800 ps předstihem proti CFD signálu.“ Na obr. 64 začíná jejich nárůst najednou?

Na obr. 65 to vypadá, jako že signál na cestě od testeru k AND hradlu se stal víc hranatým?

•str. 97:

„Obr. 66 porovnává zkreslený vstupní signál AND hradla s obnoveným signálem na výstupu.“ Jak se provede obnovení?

•str. 100:

Souvislost obr. 67 a 68?

•str. 101:

„Z naměřených hodnot je patrné, že se účinnost kvalifikace blízká 100 % vyskytuje pro interval zpoždění 40 ps.“ Jak tuhle 100 % účinnost při 40 ps vidím z tabulky?

•str. 107:

„(nízká latence, vysoká míra souběhu signálů v paralelních větvích, nízký jitter)“ překlep větví?

Posudek doktorské práce

„Rychlé výběrové obvody pro časový detektor částic“

autor: Ing. Jan Zich

Předložená doktorská práce se věnuje aktuální a důležité problematice návrhu a realizace rychlých spouštěcích obvodů s širokým uplatněním v komplexních detektorech částic. Práce má konkrétní návaznost na ToF detektor experimentu AFP (ATLAS Forward Proton), Hlavním cílem experimentu AFP je detekce protonů odchýlených pod malými úhly z interakčního bodu. Detekční systém AFP má dvě části, Si pixelové detektory pro měření momentu hybnosti rozptýlených protonů a ToF detektor (Čerenkovovského typu) pro měření doby letu částic (časové rozlišení je 20 ps). AFP systém je umístěn 2-3 mm od svazku ve vzdálenosti 205 m a 217 m od interakčního bodu.

Hlavním cílem předložené doktorské práce byl vývoj rychlých výběrových obvodů pro časový detektor ToF AFP. V zadání práce byly také stanoveny dílčí cíle - vývoj systému pro selekci řídkých událostí z difrakce, snížení počtu událostí zpracovávaných detekčním řetězcem ToF, zkrácení latence při formování signálů pro řízení sběru dat, identifikace aktivních částí detektoru pro danou událost (směr letu protonu) a tvorba flexibilního spouštěcího modulu (TM) s možností rekonfigurace vyhodnocovací logiky.

Doktorská práce je členěna na 7 kapitol, přehledu použité literatury, seznamu výsledků a ocenění autora práce a dalších 39 příloh s popisem součástí systému a výsledků testů. První tři kapitoly obsahují všeobecný přehled (např. popis experimentu AFP a popis detekčního systému, základní fakta týkající se spouštěcích systémů experimentů ATLAS či CMS a požadavky na parametry a funkčnost ToF systému detektoru AFP). Požadované funkce a parametry kladené na TM jsou uvedeny v kapitole 4.3.

Kapitoly 5 a 6 tvoří hlavní část doktorské práce. Kapitola 5 představuje první generaci spouštěcího modulu, který je založen na kombinaci analogové a digitální elektroniky. Následující kapitola popisuje plně digitální verzi spouštěcího modulu včetně vývoje a použití vytvořeného testovacího zařízení. Hlavní dosažené výsledky jsou přehledně sumarizovány v závěru disertační práce.

Analogový spouštěcí modul (ADTM) byl vytvořen ve standardu NIM. Skládá se z základní desky se čtyřmi koincidenčními moduly, měření teploty a dodatečně vytvořených zpožďovacích linek. Činnost obvodů je synchronizována frekvencí urychlovače LHS (četnost srážek protonových shluků, 40 MHz). Pro kontrolu funkčnosti spouštěcího modulu bylo vytvořeno měřicí pracoviště pro stanovení parametrů ADTM (průběhy signálů na koincidenčních modulech, prahové úrovně, účinnost ADTM v závislosti na teplotě, časový posun mezi jednotlivými kanály koincidenčních modulů a příkon celého spouštěcího modulu).

Po zhodnocení činnosti ADTM bylo rozhodnuto vytvořit sofistikovanější verzi spouštěcího modulu (DTM) na bázi digitálních součástek s vyšší radiační odolností. Pro testování účinnosti DTM byl rovněž vyvinut speciální tester. Autor práce provedl testy radiačního poškození vybraných součástek na protonovém svazku v ÚJV Řež dávkou 200 Gy (což odpovídá cca 4 rokům provozu DTM v cílové aplikaci na LHC). Výraznější změna parametrů byla zaznamenána pouze u operačního zesilovače Peltierova článku. Další pokročilé testy DTM v kombinaci s detekčním řetězcem ToF byly provedeny na urychlovači v DESY (průběhy signálů na MCC, účinnost, kvalifikace signálů pro MCC, teplotní závislost MCC FPGA, jitter jednotlivých kanálů a příkon celého modulu).


Výzkum byl prováděn na dvou pracovištích, především na FEL ZČU ve skupině pod vedením doc. Georgieva a částečně i v DESY. Výsledky jsou využity v rámci skupiny experimentu AFP na urychlovači v CERN. Jan Zich je uveden jako autor či spoluautor 12 výsledků ve WOS (8 článků, 4 konferenční příspěvky) za posledních pět let. Dále je autor či spoluautor pěti funkčních vzorků a jednoho užitého vzoru.

Autor v rámci práce vytvořil dva prototypy, provedl důkladné testovací měření pro charakterizaci spouštěcích modulů a to včetně praktických testů s ToF detektorem na urychlovači v DESY. Obecně je možné zdůraznit, že výsledky dizertační práce jsou praktické a jsou využitelná pro mnohá koincidenční měření. Formální úprava dizertační práce je v pořádku, (jsou zde pouze menší překlepy v jednotlivých slovech).

Mám k doktorandovi následující otázky:

- 1) Výrobce použitého obvodu udává maximální vzájemný časový posun mezi kanály pro buzení vstupu MCC 15 ps. Měření ukazují, že rozdíl zpoždění mezi signály kanálů MCC je přibližně 92 ps. Čím je možné tuto diskrepanci vysvětlit?
- 2) Jaká je finální kombinace prahových úrovní PMT signálů zpracovávaných v CFD a nastavení MCC FPGA navržená pro použití v AFP experimentu?
- 3) Minimální šířka kvalifikačního okénka potvrzujícího platnost zpracovávaných signálů je stanovena přibližně na 70 ps. Jak byla tato hodnota stanovena?

Závěrem konstatuji, že odborná práce doktoranda Jana Zicha při řešení dané problematiky je na vysoké úrovni, její zaměření je vysoce aktuální pro experimentální úsilí mezinárodního týmu AFP působícího na urychlovači LHC v CERN. Na základě výše zmíněných faktů doporučuji, aby mu byl po obhajobě přiznán titul Ph.D.



Doc. Ing. Ivan Štekl, CSc.

Posudek oponenta disertační práce
„Rychlé výběrové obvody pro časový detektor částic“
napsané Ing. Janem Zichem

Tomáš Vaňát

Deutsches Elektronen-Synchrotron DESY, Notkestrasse 85, 22607 Hamburg
tomas.vanat@desy.de

Zhodnocení významu disertační práce pro obor

Prostředí experimentu ATLAS, stejně jako řady dalších velkých experimentů v částicové fyzice, je velmi náročné na použité technologie. Na jedné straně je zde tlak na co nejvyšší rychlosti zpracování zpravidla velmi slabých signálů a následný rychlý přenos ohromného množství dat, a na straně druhé je tu nehostinné prostředí s vysokou úrovní radiace a silnými elektromagnetickými poli. To vše s vysokými požadavky na spolehlivost a energetickou nenáročnost použitých komponent. V naprosté většině případů je třeba pro tyto experimenty vyvíjet zařízení na míru a hledat nové způsoby řešení problémů, neboť žádné běžně dostupné zařízení není dostatečně vhodné. To je i případ trigger modulu pro projekt AFP, kterým se posuzovaná práce zabývá. Zařízení, které je výsledkem práce, bude použito pro výběr vhodných událostí z detektoru, čímž umožní výrazně snížit podíl šumu a objem zpracovaných dat v dalším článku řetězce. Tím umožní lépe zkoumat fyzikální procesy v oboru tzv. dopředné fyziky na experimentu ATLAS na urychlovači LHC v CERNu.

Vyjádření k postupu řešení problému, použitým metodám a splnění určeného cíle

Autor práce provedl analýzu problému, pro což bylo třeba porozumět principu funkce detektoru, podstatě detekovaných událostí ale také funkci řetězce následného zpracování dat. Definoval požadavky na systém a navrhl možné řešení. Toto řešení implementoval a výsledný produkt podrobil testům. Na jejich základě potvrdil správnou funkci algoritmů, ale také zjistil nedostatky ve způsobu implementace. Zvolil proto jiný způsob implementace a znovu zařízení otestoval. Druhá verze již splňuje veškeré požadavky pro nasazení v AFP detektoru experimentu ATLAS.

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

Efektivita ToF subdetektoru v detektoru AFP nebyla během periody LHC RUN2 příliš vysoká. Doba zpracování jedné události byla větší, než frekvence, se kterou události přicházely a tak docházelo k zahlcení systému zpracování dat. Jelikož většina událostí byla šum nebo z fyzikálního hlediska nezajímavá, je logické zařadit do řetězce zpracování dat trigger systém, který nezajímavé události eliminuje a k dalšímu zpracování propustí pouze ty potenciálně zajímavé. Tento trigger systém je výsledkem posuzované práce a bude instalován během odstávky LS2, aby byl připraven k provozu pro periodu RUN3, začínající v druhé polovině roku 2021. Dle provedených testů je velmi pravděpodobné, že systém splní svůj účel a poslouží k výraznému zvýšení efektivity detektoru AFP.

Vyjádření k systematicce, přehlednosti, formální úpravě a jazykové úrovni disertační práce

Práce je psána systematicky a přehledně. Místy používá autor možná až zbytečně mnoho zkratk, avšak všechny jsou řádně definovány a není problém dohledat jejich význam, pokud jej čtenář zapomene. Autor napsal práci v českém jazyce, což považuji za nevýhodu. Pokud by práce byla v angličtině, mohla by dobře posloužit jako dokumentace (nejen) pro ostatní členy mezinárodního experimentu ATLAS. Takto je okruh potencionálních čtenářů výrazně zúžen. Jazyková úroveň je velmi dobrá. V textu se přesto najde několik drobných chyb a překlepů, které ovšem nepředstavují překážku v porozumění textu.

Vyjádření k publikacím studenta

Seznam publikací autora disertační práce obsahuje řadu publikací na mezinárodních konferencích a v prestižních časopisech. Jsou mezi nimi jak publikace s menším počtem autorů, většinou tematicky související přímo s prací studenta, tak i publikace „kolaborační“, zpravidla z oblasti fyziky, kdy seznam autorů bývá obsáhlý a téma nesouvisí přímo s činností studenta, nicméně bez jeho příspěvku do kolaborace by takové publikace nemohly vzniknout.

Jednoznačné vyjádření oponenta, zda doporučuje či nedoporučuje disertační práci k obhajobě

Disertační práci doporučuji k obhajobě.

Otázky k práci

1. Je vám známo, jaká energie protonů byla použita při ozařování součástek v ÚJV a jak byla vypočtena dávka 200 Gy?
2. Zkoušeli jste po ozáření FPGA IGLOO2 tento obvod znovu naprogramovat, nebo jste jenom ověřili funkčnost již předem naprogramovaného FPGA?
3. Obvod v MCC FPGA je relativně malý. Je nějaký důvod, proč je pro každý kanál použito samostatné FPGA? Bylo by místo FPGA možné použít např. jednodušší CPLD?