
Oponentní posudek

na doktorskou disertační práci ing. Josefa Kopala

“Development of the TOTEM trigger system”

Doktorská práce ing. Kopala má celkem 114 stránek, obsahuje 4 kapitoly a je psaná v anglickém jazyce.

V první kapitole autor popisuje kaskádu urychlovačů CERN a diskutuje problematiku injekce částicového svazku do LHC. Následuje popis experimentů CMS a TOTEM. Kapitola druhá se věnuje popisu stavu TOTEM spouštěcího (angl. triggering) systému a také popisu elektronických obvodů, které s tímto systémem souvisí. Kapitoly 3 a 4 (str. 41 až 95) jsou jádrem disertační práce. V těchto kapitolách autor popisuje implementaci, a kalibraci spouštěcího systému. Na závěr disertační práce autor vložil seznam užité literatury a seznam jeho vlastní publikační činnosti.

1 Obecné poznámky a formální úprava disertační práce

Již v první kapitole je naznačen styl, jakým je práce sepsána. Autor si nedal práci s kontrolou syntaxe anglického jazyka, což je vidět např. v občasné absenci určitých a neurčitých členů (*a, the*), v nesprávném užití gramatiky (např. *bend/bent* na str. 17, 30), a překlapech (str. 17 *troug*, str. 34 *then/than*, str. 47 *it/its*, str. 55 *pas/pass* atd.). Autor používá příliš často k vysvětlení pojmů výrazy *'so-called'* a *'It means that'* a občas se uchyluje také k tzv. *'ich-formě'* výkladu (str. 15, 17, 24, 37, 76 ...). Některé výrazy, které autor používá jsou doslovným překladem z českého jazyka, přitom v technické praxi existují specifické výrazy pro dané odborné pojmy, např.:

- *cable* = 'conductor' případně 'transmission line'
- *box* = 'enclosure'
- *LHC clock* = 'bunch synchronous timing (BST)'

V průběhu čtení autorovy disertační práce jsem došel k názoru, že autor obtížně formuluje své myšlenky v psaném textu. Výsledný text je nelogický a občas nesrozumitelný. Spousta vět je formulována volně a nevědecky, a autor se vyhýbá popisu kvantitativními údaji. Jako příklad uvedu:

- str. 15: ... *a strong electromagnetic field is used ...*
- str. 17: *The bunches are injected in small numbers (not all at once).*
- str. 18: *As it was mentioned before a strong magnetic field ...*
- str. 25: *In comparison to T1, T2 is smaller in size but it has a better resolution.*
- str. 33: ... *leads to a significant reduction of the detector resolution ...*

Autor bohužel používá stejně vágní popis i v kapitolách popisujících jeho vlastní práci, a tedy jsem se např. vůbec nedozvěděl, jaký typ kabelů je použit pro přenos signálů LVDS. Autor je označuje pouze jako 'Thick' nebo 'Thin' cables, případně ještě s chybnou gramatikou jako '*thick the industrial cables*' (str. 58). Toto je naprosto nepřijatelné.

Autorovi také vytýkám, že disertace obsahuje obsáhlé pasáže s popisem konfiguračních registrů a seznamu instalovaných zařízení (tabulky 3.1-3.13, 3.15-3.30). Disertační práce nesmí být zástupným dokumentem pro technickou specifikaci projektu. Pokud je nutné se o mapě registrů zmiňovat, je možné citovat v disertaci odkaz na technickou specifikaci. Navíc autor na straně 41 připouští, že rozhraní VME a bloky registrů jsou převzatým dílem.

Autor při výkladu používá některé termíny a zkratky, které řádně předem nedefinoval, a které definuje v následujících kapitolách. Jako příklad mohu uvést např. str. 15, kde se hovoří o 'nějaké' kalibraci: '*... any system calibration should be done ...*', případně str. 30 definice slova '*prescale*' je uvedena až v poznámce pod čarou na str. 32. Definice '*logic Blocks*' (str. 30), '*S-link*' (str. 36), a '*UCS-S2*' (str. 52) chybí úplně, definice '*minimum bias trigger*' ze str. 47 je jen okrajově zmíněna na str. 31.

V práci se nachází celá řada prohlášení, které neslouží žádnému účelu, například:

- str. 14: *In the past, this place was used for number of experiments.*
- str. 17: *There are many important attributes related to the filling scheme.*
- str. 61 ... *the inconvenient environment had to be taken into account*
- str. 75 ... *calibration and commissioning was a challenging part of the development ...*
- většina komentáře obrázku 4.4 na straně 79

Autor, pokud uvede nějakou informaci, necituje dostatečně zdroje, ze kterých čerpá.

Po typografické stránce se autor dopouští chyby v třídění publikací: na straně 14 se nachází první citace, která se ovšem odkazuje na dokument [4]. Odkaz na citaci [1] se nachází v popisu obrázku 1.2. Ta samá chyba se vyskytuje na str. 17: citace [11] je použita před citacemi [8],[9] a [3]. První použití dokumentu [3] se vyskytuje až na straně 19.

Autor také postupuje nesystémově při zápisu tabulek. Tabulka 1.1 na str. 21 má v názvu prvního sloupce uvedeno '*Theta*', v ostatních sloupcích ekvivalentní symbol ' Θ '. Na straně 52 tabulka 3.14 má v záhlaví nevysvětlené zkratky '*Sec.*', '*USC*' a '*Sub-sec.*', přičemž první pravděpodobně označuje sektor LHC a poslední pod-kapitolu disertační práce.

Není mi také jasné, proč je sekce 1.4.1 *Electronics overview* zařazena mezi úvod sekce 1.4 *TOTEM Experiment*, ve kterém se popisuje skladba TOTEM experimentu, a sekce 1.4.2 až 1.4.5, ve kterých se popisuje topologie TOTEMu a jeho jednotlivé detektory. Dle mého názoru sekce 1.4.1 patří spíše do 'elektronické části' výkladu, tedy do kapitoly 2, popisující spouštěcí systém TOTEMu. Za pozornost také stojí fakt, že celá sekce 1.4 obsahuje celkem 4 citace (3, 6, 14, 21), z toho pouze **jedinou citaci** na konkrétní dokument (14). Další citace jsou pouze odkazy na obecné internetové stránky.

2 Shrnutí současného stavu problematiky

Současný stav problematiky relevantní k práci je autorem popisován v kapitolách 1 a 2.

Po technické stránce se autor v kapitole 1 dopouští následujících chyb:

- Na straně 11 autor definuje *bunch* následující větou: '*During the operation, the particles are orbiting in well defined groups - the so-called "bunches"*'. Na straně 15 pak tvrdí: '*Thus the bunch is 25 ns long.*'. Toto prohlášení není pravdivé. Shluk, jak jej autor definoval, má v podélném řezu v optimálním případě tvar Gaussovy křivky, a jeho 'délka' (standardní odchylka) je pouze $\sigma \approx 680$ ps, přičemž délka shluku se zmenšuje při urychlování až na $\sigma \approx 250$ ps.
- Definice *RF cavity* v první poznámce pod čarou na str. 15 je naprosto nevyhovující a zavádějící. Navíc pro toto tvrzení chybí věrohodná citace.
- Prohlášení *Only clock of 40 MHz is propagated to experiments.* je nepravdivé. Všem LHC experimentům je časování poskytováno tzv. telegramem, který se distribuuje po celém obvodu LHC optickým vláknem. Datový tok na tomto optickém vlákně používá hodinový kmitočet 160 MHz. Dekódováním signálu lze získat nejen 40 MHz hodinový kmitočet, ale také 11 kHz tzv. 'turn-clock' (informaci o tom, kde se nachází první shluk částic), aktuální energii svazku a další informace. Autor navíc na straně 36 tvrdí: '*Another important part of the board (TOTFed) is a Timing, Trigger and Control (TTC) block which receives LHC machine signals ...*', což potvrzuje, že TOTEM telegram využívá. Navíc autor nedává k dispozici žádnou citaci, ze které lze čerpat více informací.
- Prohlášení '*This limits their time resolution and it would be difficult to analyze more colliding bunches in one clock cycle.*' v téže poznámce pod čarou nedává v kontextu diskuse 40 MHz hodinového signálu smysl.
- Na straně 16 autor tvrdí: '*Considering the circumference of the LHC and the bunch length then 3550 bunches can fit in the LHC beam.*'. Toto je nepravdivé tvrzení. Počet tzv. 'bunch-slotů', tedy 25 ns intervalů je v LHC 3564. Autorovi zde chybí citace na věrohodný dokument, např. *the LHC design report*.

Kapitola 2 se detailně věnuje rozboru spouštěcího systému experimentu TOTEM. Považuji za chybu, že autor v rámci shrnutí současného stavu problematiky nerozebírá také vlastnosti a implementaci spouštěcího systému experimentu CMS. Zvlášť z toho důvodu, že část autorovy práce se věnuje návrhu elektrické přenosové linky, která je nutná ke zprovoznění původně nevyhovující přenosové trasy mezi TOTEM a CMS experimenty.

3 Cíle práce

V úvodu kapitoly 3 autor popisuje vykonanou práci na TOTEM spouštěcím systémem. Ačkoliv by tato kapitola měla přesně shrnout autorův konkrétní přínos a detailní rozpracování toho, na čem autor pracoval, nemohu zodpovědně prohlásit, že by tomu tak bylo. Autor v této kapitole rozvádí práce, které 'bylo nutné' vykonat:

- ... *trigger system developed from scratch ...*
- ... *develop and update the trigger system firmware continuously ...*,
- ... *the Roman Pot Optical trigger had to be replaced ...*

a také se zmiňuje o jeho příspěvku:

- .. *wrote the OptoRX trigger firmware ...*
- ... *to implement an electrical link called 'Electrical trigger' ...*
- ... *Electrical trigger related firmware*

Na druhou stranu ovšem připouští, že implementace VME a bloku registrů v obou firmwarech byla převzata od někoho jiného, přičemž jeho práce obsahuje z podstatné části pasáže tyto registry popisující. Dále se také zmiňuje o přispění k návrhu firmware pro LONEG, neuvádí však přesně, v jakém rozsahu tento příspěvek byl a o co přesně se jedná.

Autor v úvodní části práce uvádí: *Tato práce se zaměřuje na implementaci a optimalizaci triggerovacího systému pro experiment TOTEM.* V celé práci ovšem o optimalizaci systému není ani zmínka. Mám za to, že tou optimalizací autor myslí zkrácení latence spouštěcího systému kvůli problémům s přenosem spouštěcích dat mezi TOTEM a CMS experimenty. Autor evidentně považuje vyřešení tohoto problému za hlavní přínos této práce (věnuje mu celou kapitolu 3.2), nicméně **v práci chybí jakákoliv analýza toho, proč je latence přenosového kanálu tak kritickým parametrem.** V sekci 1.3 se autor věnuje popisu CMS experimentu, nicméně spouštěcí systém CMS není popsán ani jednou větou. Nevíme tedy, proč k problémům dochází, nevíme, co ovlivňuje kvalitu přenosového kanálu, a nevíme ani jaká je 'kritická' latence, při které systém ještě funguje. V celé práci jsem našel náznak celého problému až v závěru na straně 99(!): *... the size of local buffers inside CMS is limited and it was not possible to provide a trigger from TOTEM to CMS on time.* Dle mého názoru je nepřijatelné, že autor práce nevěnoval rozboru této problematiky dostatečný prostor.

4 Diskuse vlastního řešení problému

V sekci 3.1 se autor věnuje návrhu firmware pro optický spouštěcí systém. V úvodu sekce vysvětluje, že pro příjem spouštěcích signálů jsou použity hardwarové přijímače-vysílače (angl. transceiver), které používají jako zdroj hodinového signálu synchronní hodinový kmitočet LHC a popisuje re-synchronizaci na lokální hodinový kmitočet (tzv. mezochronní systém). Pro synchronizaci používá FIFO zásobník a stavový automat. V sekcích 3.1 a 3.1.1 **není činnost stavového automatu přesně popsána.** Autor na str. 43 tvrdí, že transceivery jsou nakonfigurovány do osmibitového módu a poté jsou data převáděna na 16-bitová a stavový automat synchronizuje pozici bajtů na základě prodlevy v signálu dlouhé jeden hodinový cyklus. Chybí detailní informace o konkrétní

implementaci a rozboru navrhovaného řešení. Tedy proč byla dána přednost tomuto řešení oproti jiným, např. instalaci dedikovaného optického kabelu, kterým by se přenášela informace o pozici bajtu v 16-bitovém slově. Takový dodatečný signál - pokud by bylo možné jej implementovat - by autorovi zjednodušil synchronizaci a zrychlil by odezvu systému, což je jeho primárním cílem. Chybí také diskuse o tom, proč nemohly být transceivery nakonfigurovány do 16-bitového módu. Můžeme se pouze domnívat, že Altera Stratix II (přesný typ je patrný pouze z obrázku 2.5(b)) nedovoluje při nízkých symbolových rychlostech použití 16-bitového paralelního rozhraní, nabízí se tedy otázka, zda autor zkoumal možnost zvýšení symbolové rychlosti sériové linky.

Autor řeší problematiku synchronizace hodinových domén, ale nezmiňuje se, jakým způsobem nastavil kompilátor aby ignoroval FIFO zásobník při časové analýze. V celém dokumentu není vůbec zmíněno, zdali se problémem časování a kompilace řízené časováním (angl. timing-driven compilation) vůbec zabíral. Vzhledem k tomu, že symbolová rychlost přijímaných dat je $800 \text{ Mbit}\cdot\text{s}^{-1}$, problémy s časováním mohou nastat. Přitom tyto problémy způsobují drastické zvýšení poruchovosti implementovaného obvodu (angl. snižují mean-time between failure, MTBF).

Autor dále pokračuje na str. 45 popisem implementace vyhledávací tabulky. Není vysvětleno jaká obsahuje tabulka data a jak se generují. Není také jasné, zda data použitá k naplnění tabulky jsou autorovou prací.

Sekce 3.1 je ukončená popisem čítačů monitorujících rychlost změn signálů přicházejících z detektorů. Autor zdařile využívá čítačů k implementaci funkcionality a správně poznamenává, že jich lze využít pro identifikaci kanálů, které mají vysoký šum pozadí. Autor ovšem v diskusi nepoužívá žádné kvantitativní údaje, takže se nelze dozvědět, jaké výstupy lze očekávat pro nezašuměný a zašuměný (vadný) kanál. Navíc s prohlášením, že plynové detektory v porovnání s křemíkovými detektory generují více šumu, vyvstává otázka např. kvantitativního porovnání vadného kanálu a kanálu zapojeného do plynového detektoru.

Sekce 3.2 popisuje návrh tzv. elektrického spouštěcího systému, resp. jeho hardwarovou implementaci. Autor navrhuje použít k přenosu informací z Římských hrnců LVDS fyzickou vrstvu a jako argument používá rozdílnou rychlost šíření signálu v optickém vlákne ($5.0 \text{ ns}\cdot\text{m}^{-1}$, chybí citace) a elektrickém kabelu ($4.2 \text{ ns}\cdot\text{m}^{-1}$, str. 51, chybí citace). Autor ovšem nespecifikuje typ kabelu, takže se nedá říci, zdali se údaj $4.2 \text{ ns}\cdot\text{m}^{-1}$ vztahuje ke konkrétně použitému kabelu. V úvodu autor popisuje, že při použití LVDS fyzické vrstvy je nutné zařadit každých cca. 70 m opakovač, který obnoví elektrické vlastnosti LVDS signálu. Opakovač předzkresluje signál, aby se na přijímací straně dosáhlo optimálního tvaru signálu, neobnoví však původní délku signálu, a tedy je potřeba následně vyřešit problémy se synchronizací dat na přijímací straně. Následuje popis izolačního modulu (sekce 3.2.2), který galvanicky odděluje signály spouštěčů na vzdáleném elektronickém systému. Autor chytře navrhuje izolační modul tak, aby se daly 4 izolační moduly spojit 'na sebe' (angl. stack-up) a docílilo se koncentrace 128 LVDS signálů do jednoho CMOS signálového svazku, který je přes konverzní modul (angl. patch card, str. 54) přiveden na sběrný VME modul TOTFed. Následuje sekce 3.2.4, která se věnuje implementaci opakovače a řešení problémů souvisejících s úpravou signálu.

Dle autora je délka kabelu 270 m (str. 51), tedy výměnou optických kabelů za elektrické se 'ušetří' 176 ns, ovšem za cenu 5 opakovačů na každý přenosový kanál (celkem tedy 120 kusů, 10 ns přidaného zpoždění na každý kanál), a celkem 788(!) spojů (394 LVDS párů). Z celé disertační práce jsem se nedozvěděl, o jaký typ kabelu se jedná. Pouze obrázek 3.16(a) naznačuje, že by se mohlo jednat o kabel s interním CERN označením NE48. **Tento kabel obsahuje 48 vodičů a jeho vlnová impedance a parametry přenosového vedení zrealizovaného z těchto kabelů jsou v MHz oblasti nedefinované.** Troufám si tvrdit, že tento kabel není vhodný pro přenos signálů se šířkou pásma nad 1 MHz, a tedy je pro 40 MHz LVDS signál naprosto nevhodný. To

ostatně naznačuje i autor na straně 55, kde **naprosto nesprávně** vyjadřuje domněnku, že 'kabel má "rezonanční" frekvenci 40 kHz'. Toto konstatování není technicky nijak podloženo. Vzhledem k tomu, že značná část práce se věnuje právě této problematice, taková tvrzení indikují, že se autor nedostatečně věnoval studiu vlastností vedení a jejich aplikací na přenos vysokorychlostních digitálních signálů.

Pomineme-li tedy fakt, že autor v předchozí větě k výše uvedené indikuje, že se kabely chovají jako nízko-pásmové propusti (velmi zjednodušeně) a v následující prohlásí, že mají rezonanční frekvenci, mám za to, že autor v tomto konkrétním případě mluví o jím použitém kabelu. To by také vysvětlovalo problémy s útlumem amplitudy signálu a celkovým jeho zkreslením, které autor také částečně přičítá nevhodnému návrhu 'Coincidence' čipu (opět bez rozboru situace, případně modelu přenosové soustavy). Oba tyto problémy jsou dle mého názoru následkem nevhodné volby přenosového média a autor je musí následně řešit použitím opakovačů.

V sekci 3.2 není provedena žádná odborná diskuse k problému. Není také uvedeno, proč autor zvolil LVDS standard pro přenos signálů. Je pravděpodobné, že to může být z důvodu kompatibility standardu s 'Coincidence' čipem. Tím se nabízí další otázka - zdali by bylo možné provést konverzi LVDS na vhodnější signální stavy (např. bez stejnosměrné složky přenášeného signálu), případně, zdali by bylo možné vhodným návrhem prvního opakovače provést konverzi na fyzické přenosové médium nevyžadující 2 vodiče na jeden signál, když je první opakovač nainstalován v blízkosti Římských hrnců, jak autor tvrdí na str. 60. Není také diskutována problematika impedančního přizpůsobení. Autor na str. 54 tvrdí: '*All signal lines are "tuned" to impedance of 100 Ω*', když mluví v souvislosti s konverzním modulem, ale v celé práci není zmínka o tom, že by autor nějakým způsobem kvantifikoval impedanci použitého kabelu, respektive jeho vodičů. Veškerá měření v tomto případě chybí (např. time-domain reflectometry celé přenosové trasy, případně pouze konverzního modulu). Na straně 58 autor řeší problém odrazů signálů vložením *aktivního prvku* mezi dva kabely. Problematika přeslechů mezi signály není diskutována vůbec. **Z toho důvodu mám výhrady k autorově argumentaci ohledně vhodnosti zvoleného řešení. Navíc autorovi vytýkám, že se v příloze disertační práce nenachází schémata autorem implementovaných modulů, a tudíž je velmi obtížné zhodnotit zvolená řešení.**

Pokles amplitudy přenášeného signálu autor řeší jeho obnovou použitím zákaznického čipu **LVDS_REPEATER rev. 4.0**, jehož diskuse není v práci provedena¹. Následná obnova tvaru signálu je řešena předzkreslením použitím výstupního filtru. Autor navrhuje použití RL filtru pro vytvoření předzkreslení a naznačuje, že použitím RC filtru nedosáhl dobrých výsledků. Opět nedochází k žádné diskusi problému. Není známo kolik konfigurací autor vyzkoušel, neexistuje model přenosové soustavy na kterém by autor simuloval vliv různých konfigurací filtrů. Autor nedává odpověď na otázku proč má RC filtr horší výsledky. Autor dokonce ani neuvádí, co je kritériem pro *best results* a *poor results* (str. 56), a jaká je definice *nominálních hodnot* ve větě *This is too far from the nominal values for our signal*. Naprostou záhadou je mi pak prohlášení '*It is not very convenient to use an inductance in the LHC environment (due to the large number of sources of the electromagnetic field)*'. Taková úvaha je úplně mimo realitu. Disertační práce neobsahuje v příloze schémata řešených obvodů, tyto se dají najít v CERN databázích (tabulka 3.14, sloupec CERN EDA ID). V schématu opakovače jsem našel, že autor implementuje předzkreslovací filtr sériovým spojením R-L-R, hodnoty rezistorů jsou 27Ω a indukčnost cívky je 2.7μH.

Od strany 63 se autor věnuje návrhu firmware pro elektrický spouštěcí systém. Autor popisuje implementaci vstupní vzorkovací logiky. Následuje popis spouštěcí logiky. Tato sekce obsahuje

¹Tuto informaci mám k dispozici pouze z toho důvodu, že jsem si v CERN databázích vyhledal autorova schémata, abych si vyjasnil o jaké řešení se přesně jedná.

také rozsáhlé popisy VME registrů. Sekci ukončuje popis implementace histogramu používaného při kalibraci přenosových vedení.

Jako v ostatních předchozích sekcích i v této chybí diskuse zvoleného řešení. Autor např. popisuje použití 4 různých fází hodinového signálu pro vzorkování vstupního signálu, a jejich výběru multiplexorem. Není např. jasné, proč autor nepoužil vyšší frekvence hodinového signálu (nabízí se 160 nebo 200 MHz, v extrémním případě i 320 MHz) a místo multiplexování hodin použil správně vygenerovaného tzv. clock-enable signálu, kterým by 'povoloval' 160 MHz hodinový signál v D klopných obvodech. Tímto by se zamezilo použití více hodinových domén² a odpadl by asynchronní multiplexor na hodinovém signálu. Navíc by se zrychlilo vzorkování signálu prvními dvěma registry (obr. 3.23), které mají pravděpodobně zamezit šíření metastabilit v FPGA. Autor bez diskuse navrhuje řešení, které se musí dobře ošetřit v tzv. Synopsis Design Constraints (SDC) souboru, který Altera Quartus používá při časově-řízené kompilaci. Jak se autor popasoval s tímto problémem nesděljuje i přes to, že se v abstraktu autorovy publikace [A2] nachází: *A time-critical-logic firmware is implemented inside FPGA*. Navíc autor na straně 88, v sekci 4.4.3, poskytuje jiné vysvětlení funkčnosti vstupní vzorkovací části. Tato ovšem není kompatibilní s obrázkem 3.23 na str. 64. Na obrázku 3.23 jsou všechny D klopné obvody řízené signálem z multiplexoru (*SPH_n*, *SPL_n*). Na straně 88 autor tvrdí: *An asynchronous multiplexer ... selects the clock source for a sampling synchronous D flip-flop to prevent the metastability. After this block the signal continues into a pipeline of a D flip-flops driven by the original clock*. **Z důvodu nejasnosti popisu zapojení tedy není zřejmé, jaké technické řešení autor zvolil!**

Autor pokračuje na str. 70 popisem implementovaného algoritmu výpočtu histogramu příchozích spouštěcích (triggering) dat. Implementuje histogram pro všech 128 používaných kanálů. Z důvodu nedostatku paměti v FPGA(?) je možné sledovat 64 bunch slotů. Tento histogram je pak používán ke 'kalibraci', která již byla v dokumentu na několika místech zmíněna, je však vysvětlena až na straně 75 v kapitole 4. Závěrečná sekce 3.4 z kapitoly 3 poskytuje doplňující informace o implementaci firmware pro LONEG a také naznačuje, jakým způsobem se rozhoduje o zajímavých spouštěcích schématech. Toto téma by bylo určitě dobré v práci více rozvést, přispělo by to k celkovému pochopení architektury spouštěcího systému. Co se týče poskytnutých informací o modulu LONEG, nelze určit, jakou formou přispěl autor k vývoji tohoto modulu.

Kapitola 4 se zaměřuje na výsledky měření a kalibrační provedených na spouštěcím systému TOTEM. Sekce 4.1 popisuje kalibrační proceduru, sekce 4.2 shrnuje první reálné naměřené výsledky experimentu TOTEM používajícím autorem implementovaný spouštěcí systém. V úvodu kapitoly 4 autor naprosto nesmyslně cituje dokumenty [26] až [33], které nemají nic společného s autorovou disertační prací a měly by být spíše součástí úvodu do problematiky. Prohlášení na str 75: *Radiation levels prevent power supplies to be safely operated locally* vyžaduje širší diskusi a mělo by být doplněno o informaci, o jakou intenzitu záření se v daném místě jedná. Vzhledem k tomu, že radiace klesá s kvadrátem vzdálenosti od zdroje, jsou i další možnosti řešení, jako např. provoz zdrojů lokálně a jejich ochrana použitím stínění složeného z vhodných materiálů.

Sekce 4.1 rozebírá problematiku nastavení časových zpoždění pro jednotlivé spouštěče a synchronizace s pozicí prvního shluku částic, který se nachází v 'bunch-slotu' 0. Z textu není patrné, zdali je k synchronizaci použit synchronizační signál z telegramu, či je synchronizace zajištěna jiným způsobem - a tedy je potřeba přenastavit posun při každé změně časování LHC. Není také jednoznačně vysvětleno, jak autor zjistil z histogramu 4.4, že je problém s *vyčerpáním náboje v GEM*, který v textu (str. 78) také označuje jako problém s *napěťovým děličem GEM fólií*.

Sekce 4.2 popisuje výsledky autorovy práce nepřímou konstatováním, že 'systém funguje'. Sekce

²dle popisu obr. 3.23, který autor používá na str. 88

4.3 popisuje studie efektivnosti spouštěcího zařízení. Na straně 83 se píše: *The trigger performance studies are done by the TOTEM physics analysis group*, a jak správně autor připomíná, nejedná se o výsledky jeho práce.

Sekce 4.4 popisuje postup počátečního startu spouštěcího systému. Zvláště zajímavé se mi jeví sekce 4.4.3 a 4.4.4, kde autor popisuje nastavení fází vzorkovacích obvodů. Pominu-li fakt, že autor popisuje znovu a jiným způsobem obrázek 3.23, je nastavení fáze vyřešeno promyšleným způsobem. Co zamrzí je fakt, že autor si dá práci s vývojem programu, který nastavuje vzorkovací obvody automaticky, ale implementaci algoritmu v této práci nerozvádí. Přičemž se jedná o poměrně důležitý autorův přínos k problematice. Totéž platí o metodě nastavování PLL a fáze hodinového signálu. Není také jasné, jakým způsobem se fáze PLL v FPGA nastavovala.

Kapitola 4.5 popisuje měření časových zpoždění optického a elektrického vedení. Autor tvrdí, že optická linka je o 400 ns pomalejší vlivem rychlosti šíření signálu po optickém vlákne, a konverzí signálu ze sériového na paralelní (a naopak). V závěru dodává, že elektrický spouštěcí systém, který je o 600 ns rychlejší než původní optický, je kompatibilní s CMS spouštěcím systémem. Následná kapitola 4.6 poukazuje na úspěšné vyzkoušení elektrického spouštěcího mechanismu v praxi.

5 Použitá literatura a autorovy publikace

Na straně 109 autor uvádí seznam literatury, kterou citoval v práci. Na první pohled se jedná o **velmi skromný výčet 38 titulů**. Tento seznam se navíc ještě snižuje o dvě položky, protože **položka 12 se shoduje s položkou 25 a položky 10 a 11 odkazují na stejné internetové stránky**. Autor používá velké množství odkazů na internetové stránky. Takové odkazy mají být používány pouze, pokud není k dispozici jiný, věrohodnější dokument.

Již jsem poukazoval na fakt, že citace [26] až [33] autor uvádí pouze jako příklad výsledků experimentu TOTEM (str. 75), a tudíž neslouží jako relevantní odkazy na další studium související s autorovou prací. **Některé dokumenty z autorova výčtu NEJSOU citovány v textu**. Konkrétně dokumenty 2, 10, 12, 13, 15 - 19, a 25.

Autor v úvodních kapitolách své disertační práce cituje reference 1, 3 - 9, 11, 14, 20 - 22, pomineme-li citace odkazující na obecné internetové stránky, tedy: 1 - 8, 10, 11, 18 a 19, a odkazy na obecné stránky, tedy 21 a 22, dostáváme se k tomu, že **autor pro shrnutí současného stavu problematiky použil celkem 3 dokumenty**, konkrétně 9, 14, 20.

Troufám si tvrdit, že takový výčet použité literatury není postačující ani pro vypracování diplomové práce, natož disertační!

Seznam autorových publikací obsahuje celkem 15 položek. **Položky A4 až A15 se shodují z položkami [26] až [33] z obecného seznamu literatury**. Ing. Kopal je na těchto článcích uveden jako spoluautor z titulu členství v 'TOTEM collaboration'. Seznam publikací s autorovou přímou účastí obsahuje položky A1 až A3. V dokumentu A3 je ing. Kopal uveden jako spoluautor.

6 Závěr

Není pochyb o tom, že autor této práce je vynikajícím inženýrem a praktikem. Toto se odráží na faktu, že implementoval funkční systém, který byl v praxi vyzkoušen.

Problém, který v celé věci spatřuji je, že není jasné 'jak dobře' byl systém navržen. Z celé práce je patrné 'proč se elektrická přenosová trasa navrhuje' pouze v náznacích, tedy že to 'má něco společného' s CMS spouštěcím systémem. Ten ovšem v práci není nijak popsán. Není tedy jasno, zdali autor tím, že nahradil optická vlákna cca. 800 vodiči a ušetřil 600 ns zpoždění, implementoval

systém, který není marginální. V celé práci není uvedena kritická latence, která se musí zajistit, aby přenos signálu z TOTEMu na CMS fungoval bezchybně, případně s akceptovatelnou chybovostí. Toto hodnotím jako neomluvitelnou chybu, protože znalost tohoto parametru by mohla dovolit jiný způsob implementace přenosové trasy, např. použití již instalovaných optických kabelů a užití vyšší symbolové rychlosti při přenosu spouštěcích dat. Dalším problémem této práce je naprostá absence rozboru možných jiných řešení, zvláště v souvislosti s implementací obou firmwarů, jež autor popisuje.

Z tohoto důvodu prohlašuji, že dle mého názoru, jsou cíle disertační práce splněny pouze částečně - tedy systém je implementován a "nějak funguje". Chybí důkladná analýza požadavků na přenosovou trasu a také kvantitativní zhodnocení kvality celého přenosového kanálu mezi TOTEM a CMS experimenty.

Práce po stylistické stránce obsahuje obrovské množství chybných a nepřesných vyjádření. V rozboru současného stavu problematiky se autor dopouští také terminologických a faktických chyb, které by si mohl ušetřit, pokud by práci před odevzdáním dal k dispozici ke kritické analýze svým spolupracovníkům, se kterými na projektu pracuje. Z tohoto bohužel musím vinit školitele v CERNu, který takovou recenzi nezajistil, a jako jediný měl také možnost na tyto faktické problémy ing. Kopala upozornit.

Shrnu-li všechny tyto výtky, nemohu s čistým svědomím prohlásit, že je tato práce vypracována na úrovni, která se očekává od studenta doktorského studia, a která odpovídá standardům CERN. Neopomím ovšem ani právo jednotlivce na obhajobu své činnosti a konstatuji tedy, že i přes uvedené nedostatky **doporučuji s výhradami práci k obhajobě.**

Ke všeobecné rozpravě přidávám následující dotazy:

1. Jaká je maximální povolená latence přenosu spouštěcího signálu, která zajistí, aby výměna spouštěčů mezi TOTEM a CMS ještě fungovala v 'přijatelných' mezích? Jak byl tento údaj získán?
2. Jaká přenosová linka byla použita při implementaci elektrického spouštěče. Jaké parametry přenosové linky byly naměřeny (vlnová impedance) a jak tyto parametry ovlivnily návrh předzkreslujícího filtru?
3. Vyhovují oba firmwary při kompilaci časové analýze? Jakým způsobem byly ošetřeny v SDC souboru přechody mezi jednotlivými hodinovými doménami?
4. Jakým způsobem bylo změřeno, zdali nedochází v CMS k chybnému příjmu spouštěcího signálu z TOTEM a jak autor zhodnotil kvalitu přenosového kanálu?

V Ženevě dne 18 prosince 2014

ing. David Bělohrad, Ph.D.
Division BE-BI
C.E.R.N. Site de Preveessin
F-01631 CERN CEDEX

OPONENTSKÝ POSUDEK DOKTORSKÉ DISERTACE

Autor : Ing. Josef Kopal – ZČUFEL v Plzni, Kat. aplik. elektroniky a telekomunikací
Název : Development of the TOTEM trigger system
Česky: Vývoj spouštěcího systému pro projekt TOTEM
Oponent : Prof. Ing. Lubomír Hudec, DrSc - emeritní profesor VŠCHT v Praze
Obor : Elektronika

Hlavní záměr této disertace, představující určitou úpravu výzkumné zprávy pro CERN, se týká spouštěcího systému pro analýzu dat na velkém hadronovém urychlovači, jeho implementace a optimalizace do několika experimentů, na nichž se autor podílel. Jde o integraci těchto systémů do náročného výzkumného programu. **Téma je aktuální a významné s hlediska výzkumu a patří do oboru disertace.**

Cíle nejsou v textu explicitě obsaženy, což je formální nedostatek, lze je však po přečtení práce charakterizovat. Co, proč a jak je vcelku vysvětleno v první kapitole od str. 11 do str. 27, již lze považovat za současný stav problematiky. Stručně lze shrnout čtyři výzkumné činnosti, kterými se autor zabýval v průběhu řešení. Patří sem zhodnocení současného stavu urychlovací soustavy a možnosti vyhodnocování dat z detektorů, vlastnost navrženého spouštěcího systému pro experiment TOTEM a jeho implementace, dále integrace systémů experimentů CMS a TOTEM a řadu jejich úprav pro umožnění kvalitní společné komunikace a ověření navržených metod a porovnání dosažených výsledků. Položky dvě a tři **jsou podle mého soudu disertabilní**, protože vykazují snahu o originalitu řešení. Z položky jedna se vychází a položka čtyři je hodnotící, nepředstavuje navržené cíle.

Použitá metodika zpracování je založena na postupu, který odpovídá cílům a charakteru zkoumání.

Formálně jde o text zpracovaný velmi dobrou angličtinou a ve velmi pěkné grafické úpravě. Vytknout lze jen nepatrné nedostatky (viz dále). Práce je rozvržena do čtyř kapitol, jež jsem popsal v odstavci cíle, a je opřena o 38 referencí (str.109 až 111). Kap. 4 představuje zásadní experimenty, výsledky a kalibrace s odbornou diskusí. Autorovy přínosy jsou v obecné rovině komentovány v závěrečných pasážích (Author's contribution...a Conclusions – str.97 až 99) a těží z 15 společných publikací, na nichž se uchazeč podílel – str.113,114. Stavba předloženého spisu je vcelku výstižná a srozumitelná.

Připomínky :

1. V disertaci chybí obor obhajoby.
2. Některé obrázky jsou malé, text špatně čitelný, např. obr. 1.9, 2.3, 3.11, 3.13, 3.24...
3. Chybí seznam použitých symbolů s fyzikálními rozměry veličin.
4. Popisy tabulek jsou podle mého mínění méně obvykle umístěny pod tabulky.
5. V českých disertacích je vždy anglický abstrakt, v anglické bych logicky očekával český.

Věcně : Hlavní výsledky disertace jsou založeny na náročných experimentech, výzkumu a vývoji náročných zařízení pro CERN, jež autor řešil a vyřešil, a to na unikátních měřicích pracovištích. Jde o podíl na devíti experimentech uvedených na str. 98, doložených spoluautorskými publikacemi, jak je v CERNu zvykem. Všechny práce i zprávy jsou kolektivní (až 75 spoluautorů). O množství a kvalitě vykonané práce pro obor a pracoviště není pochyb. Ze seznamu autorových publikací však neodhalíte podíl na prezentovaných výsledcích, což však vyžaduje náš právní řád.

Výsledky jsou přínosné pro obor a využití v praxi.

K vědeckému přínosu disertace: Disertant nepředkládá, ke své škodě, žádné úvahy o původnosti a o hodnocení svých výsledků ani výsledků jiných autorů. Já mezi původní vždy řadím příspěvky publikované v impaktovaném časopisu. Citace nejsou v práci uvedeny.

K publikační činnosti : Jde o spoluautorství v 15 zprávách, jak už bylo konstatováno dříve a o 3 vystoupení na mezinárodních vědeckých konferencích. Tyto počty představují dobrou publikační aktivitu uchazeče.. Výsledky obsažené v disertaci byly na potřebné úrovni zveřejněny.

Dotazy :

1. Rozveďte, co Vy sám považujete za originální vědecký přínos v návaznosti na odst. Výsledky práce a Závěry.
2. Jaký je váš věcný podíl na obsahu zpráv A3, A12, A14, A15.
3. Ve snaze vyhovět našemu předpisu, jenž vyžaduje vyjádření k vědeckému přínosu disertace uvádí autor v úvodu (introduction) stručně svůj podíl na devíti experimentech ze str. 98. Rozveďte podrobněji.
5. Navržené programové vybavení a jeho využitelnost.
6. Univerzálnost realizovaného spouštěcího systému.

Z Á V Ě R :

Ing. Josef Kopal předložil práci s požadovanými výsledky, doloženými publikacemi. Splnil proklamované záměry, má výborné znalosti svého i dalších oborů a je schopen samostatně vědecky pracovat. Prohlašuji, že jeho práce splňuje po doložení originality výsledků požadavky zákona č. 111/98 Sb., §47, odst.4.

-- Doporučuji disertaci k obhajobě. --

Odpovídá obecně uznávaným požadavkům k udělení akademického titulu.

V Praze dne 30. prosince 2014.



Oponentní posudek disertační práce disertanta Ing. Josefa Kopala na téma :
„Development of the TOTEM trigger system“

Oponent: doc. Mgr. Šimon Kos, PhD
KFY, ZČU v Plzni

Posudek

Nedávným objevem Higgsova bosonu se uzavřela jedna kapitola výzkumu elementárních částic, která vedla k pochopení základních pravidel chování částic se souhrnným názvem Standardní model. Tento výzkum byl tak úspěšný, protože se v něm neustále konfrontovaly nové experimentální výsledky a koncepční pochopení principů. Takto hned na začátku, ve dvacátých letech, Dirac pochopil, že spojení kvantové mechaniky a speciální relativity vede k nutnosti existence antičástice k elektronu a posléze k dalším částicím, a tyto antičástice byly také postupně objeveny. Ve stejném duchu Gell-Mann v šedesátých letech pochopil, že stále rostoucí množství pozorovaných hadronů je možno uspořádat do pravidelných schémat, jako jsou trojúhelníky a osmiúhelníky, a že tyto obrazce odpovídají vyšším reprezentacím grupy vůni $SU(3)$. To mu nejen umožnilo udělat záhy potvrzenou předpověď částice Ω^- jakožto chybějící roh v trojúhelníku deseti baryonů se spinem $3/2$ jako kuželek na bowling, ale též pochopit, že fyzikálně symetrie vůni $SU(3)$ znamená, že (do té doby známé) hadrony jsou složeny ze tří druhů kvarků, že narušení přesné symetrie je způsobené jejich rozdílnými hmotnostmi a že kvůli Pauliho principu musejí mít další kvantové číslo, barvu, spojenou s neabelovskou kalibrační symetrií, tentokrát přesnou a shodou okolností též $SU(3)$. Tak vznikla teorie silných interakcí, QCD, kvantová chromodynamika. O několik let později si Weinberg uvědomil, že neodstranitelná nekonečna v teorii slabých interakcí Fermiho typu jsou příznakem toho, že slabou interakci zprostředkovávají hmotné intermediální bosony a že jejich hmotnost vzniká v důsledku Higgsova mechanismu při narušení kalibrační symetrie $SU(2) \times U(1)$, která spojuje slabou interakci s elektromagnetickou. Tím byl před asi čtyřiceti lety vytvořen zmíněný Standardní model symetrie $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$, jehož všechny předpovědi byly postupně potvrzovány, od existence kvarků a intermediálních bosonů až do té poslední, zmíněného nedávného objevu Higgsova bosonu.

Takže teď všechno zapadá do sebe a otázka nasnadě je: co dál? Jediné, co nám říká, že platnost Standardního modelu je omezená někde na vysokých škálách, jsou nekonečna, která straší kvantovou teorii pole od jejích samých začátků. Jenže nekonečna Standardního modelu, na rozdíl od zmíněných neodstranitelných nekonečnen Fermiho interakce, jsou krotká, omezená jen na konečný počet amplitud, a navíc jen logaritmická pro všechny parametry modelu kromě Higgsovy hmotnosti, pro kterou je nekonečno kvadratické. Tím pádem se nekonečna dají vstřebat do renormalizovaných parametrů a umožňují dělat fantasticky přesné předpovědi na asi deset platných číslic, které souhlasí s touto přesností s experimenty. Cena za to je, že tato nekonečna neříkají nic o tom, kde ta omezující škála je. Pokud je někde na Planckově škále, jak se často předpokládá, pak jsme od ní o nějakých patnáct řádů vzdáleni experimentálně a tudíž za rozlišovací schopností současných experimentů (a pravděpodobně i budoucích). Takže snahy jít za perfektně fungující Standardní model, mi přijdou dosti jalové, protože jsou na rozdíl od popsaných kroků ke Standardnímu modelu vedeny spekulacemi, estetickými úvahami o tom, jak by věci měly být, nebo prostě samoučelnou snahou o nové výsledky za každou cenu. Tak například je pravda, že aby zmíněná kvadratická renormalizace neposlala Higgsovu hmotnost na onu vysokou škálu, možná teda Planckovu, je potřeba naladit parametry Standardního modelu na nějakých patnáct platných číslic. Je taky pravda, že supersymetrie by tu hmotnost ochránila, tak jako jiné symetrie chrání hmotnost všech

ostatních částic: chirální symetrie chrání hmotnost fermionů a kalibrační symetrie chrání hmotnost interakčních bosonů. Ale to pořád není argument pro supersymetrii se silou, která by se i jen vzdáleně blížila síle uvedených argumentů velikánů Diraca, Gell-Manna a Weinberga: to, že se nám symetrií nechráněná Higgsova hmotnost zdá divná, může být náš problém.

Je ale druhý možný směr dalšího vývoje, jaký se stal v jiných oblastech fyziky: když skončila etapa hledání základních pravidel, mohla začít etapa uplatnění těch pravidel. Zejména ve fyzice pevných látek základní pravidla, tj. kvantová mechanika v přítomnosti Fermiho statistiky a dlouhodobé elektrostatické interakce, vedou k fascinujícím novým jevům jako supravodivost, Kondův jev, spinová skla, kvantový Hallův jev, topologické izolanty,... Ve všech těchto jevech selhává započtení interakce poruchovým počtem, a proto jsou netriviální. U silných interakcí se vždycky vědělo, že s poruchovým počtem jsou problémy. Kromě zmíněných nekonečen je problém v tom, že už na úrovni Yukawovy interakce zprostředkované piony je vazbová konstanta silné interakce řádu 1-10. V šedesátých letech dokonce byly představy, že kvantová teorie pole je v samé podstatě špatný přístup a že chování silných interakcí je možné pochopit z analytických vlastností matice rozptylu zvané S-matice bez postulování existence bodových částic popsaných kvantovými poli. Dokonce toto byl většinový názor a redukcionisti-teoretici pole jako Gell-Mann a Weinberg byli v menšině. Po objevu QCD byl tento směr opuštěn, ale pak začal prožívat renesanci, když se ukázalo, že velká vazbová konstanta Yukawovy interakce je důsledkem toho, že pro QCD kvůli asymptotické svobodě přestává poruchový počet fungovat na škálách řádu fermi, tj. GeV. Myslím si, že je nanejvýš žádoucí najít neporuchové techniky, kterými by QCD dala a dále rozšířila ty krásné matematické teoremy, na něž pouze z obecných analytických vlastností S-matice přišla zase jiná plejáda velikánů typu Regge, Pomerančuk, Gribov, ale jež přesto prokázaly fenomenologický souhlas s experimentem. Ve výše popsané tradici úzké spolupráce experimentu a teorie, která nakonec vedla k triumfu Standardního modelu, mohou k tomuto přiblížení QCD a fenomenologie S-matice pomoci nová data na LHC škálách několika TeV, protože umožní se tvrdými TeV procesy podívat na měkkou neporuchovou GeV škálu tak jako v pevných látkách doufáme, že neporuchové chování vysokoteplotních supravodičů můžeme lépe pochopit použitím tvrdých sond jako jsou magnetická pole řádu 100T. V případě silných interakcí hlavním neporuchovým objektem je měkký fenomenologický pomeron jakožto hlavní singularita v Reggeho komplexní rovině momentu hybnosti a jedna z otázek je, zda je to jiný režim tvrdého pomeronu, který se poruchově dostane z QCD, nebo zda je to kvalitativně jiný objekt. TOTEM experiment má větší šanci než jakýkoliv jiný experiment na LHC přispět novými informacemi k objasnění těchto otázek, protože při tvrdé těžišťové energii \sqrt{s} řádu TeV zkoumá rozptyl s měkkou předanou čtyřhybností $\sqrt{|t|}$ do velmi malých úhlů, případně v kombinaci s tvrdou předanou čtyřhybností do velkých rozptylových úhlů detekovanou na CMS.

Omlouvám se za takto rozsáhlý úvod, ale považoval jsem za nutné zasadit práci do širšího kontextu, protože, bohužel, tento důležitý výzkum měkké stránky silných interakcí tvrdými prostředky stojí ve stínu spekulací typu zmíněná supersymetrie, další dimenze, temná hmota atd., dokonce o něm ani sám LHC nepíše v seznamu svých hlavních úkolů. Já naopak považuju za důležitější řešit problémy, kde jsou, než je hledat tam, kde nejsou, a proto považuju jakýkoliv příspěvek k experimentu TOTEM za vysoce důležitý. Jednou složkou experimentu je trigger, který je právě tématem doktorandovy práce. Experimentální rozptylová data je totiž potřeba spolehlivě a rychle vybrat z pozadí a to právě má zařídít trigger, který na základě hrubého vzorku dat rozhodne, zda vzít všechna data dané události

nebo je odmítnout. Toto dělá trigger pro jakýkoliv detektor. V případě experimentu TOTEM je dodatečná komplikace právě plynoucí z kombinace měkkých a tvrdých procesů: signály triggeru je potřeba kombinovat pro detektory Roman Pots vzdálenými asi 200m a tím pádem nejdůležitějšími pro měření rozptylu do malých úhlů s měkkou předanou čtyřhybností, pro teleskopy T1 a T2 vzdálenými asi 10m a konečně pro detektory CMS vzdálené jednotky metrů, což klade zvýšené nároky na synchronizaci kvůli rozdílným dobám putování částic od místa srážky k detektorům a rozdílným dobám putování signálu mezi detektory a řídicím centrem a kvůli různým řídicím centrům TOTEM a CMS. Toto tedy byla Josefova úloha. Potřeba co nejpřesnějších dat je pro studium měkké strany silných interakcí možná ještě větší než byla třeba při lovu intermediálních bosonů nebo Higgsova bosonu, protože tam jsme věděli, co chceme najít, kdežto tady je teorie pozadu za experimentem a naopak chceme experimentální data jako vodítko k novým nápadům.

Josef se svého úkolu zhostil dobře. Jelikož začal na problému pracovat, když už byl urychlovač LHC v provozu, musel nejprve využít stávajícího optického systému a k němu za provozu naprogramovat obvody FPGA součástí OptoRX a TOTFed. Jelikož pro vzdálené detektory Roman Pots byl optický systém příliš pomalý zejména pro spolupráci obou experimentů TOTEM a CMS, využil Josef následné odstávky, aby navrhl, nainstaloval a odzkoušel rychlejší elektrický trigger. Tady se musel vypořádat s řadou technických problémů jako různý elektrický potenciál detektoru a řídicí místnosti, degradace signálu podél vedení při použití signálu bez modulace a opakovačů bez rekonstrukce, pokles napětí podél napájecích kabelů, mechanická zátěž od tlustých kabelů. Kalibrační pak uvedl systém do provozu s impozantními výsledky: seřízení různých prodlev mezi detektory (obr. 4.2, 4.12) a účinnost přes 90% pro samotné detektory experimentu TOTEM (obr. 4.8) a předběžné výsledky společného měření TOTEM a CMS. To, že cíl práce byl splněn a že experiment funguje, ukazují kromě výsledků kalibrace hlavně publikované nadějně výsledky měření pro detailní studium účinného průřezu srážek proton-proton jako funkce \sqrt{s} a $|t|$. Procesy typu výměna dvou pomeronů na obr. 4.7 v disertaci mohou právě přispět k pochopení podstaty pomeronu, kterou považuju za velmi důležitou. Devět publikací s měřeními těchto účinných průřezů považuju za dostatečný, tím spíš, že k nim je ještě potřeba přičíst dvě vystoupení na konferencích. Při práci na triggeru byl Josef schopen zapojit vlastní výsledky (programování FPGA pro teleskopy T2 a detektory Roman Pots, návrh elektrického triggeru, kalibrace) do spolupráce s ostatními (další členové skupiny podle jeho vzoru naprogramovali FPGA pro teleskopy T1, instalaci elektrického triggeru prováděl s techniky, programování koncového stupně LONEG prováděl s dalšími členy své skupiny a spojení triggerů TOTEM-CMS společně s lidmi z CMS). Taková kombinace vlastního příspěvku a spolupráce s ostatními je nutná pro rozsáhlý projekt typu TOTEM a tím spíš LHC.

Samotnou práci napsal Josef logicky a přehledně až na občasné nevyhnutelné překlepy a drobné nepřesnosti a jazykové chyby, jejichž seznam spolu s drobnými podněty přikládám na konci. Při čtení mi byl užitečný seznam zkratk uvedený na konci disertace—často jsem se do něj díval. Do práce jsem se dobře začel, protože v první kapitole začíná ze široka, obecným popisem urychlovače LHC a detektorů CMS a TOTEM okolo společného interakčního bodu č. 5. Druhá kapitola popisuje jednotlivé součásti optického triggeru a jak jimi putují a postupně se redukuje triggerová data. Třetí kapitola je jádro práce popisující programování optického triggeru, součásti elektrického triggeru a technické problémy s nimi spojené a programování elektrického triggeru. V poslední čtvrté kapitole je pak popsána činnost triggeru a jeho kalibrace s dobrými výsledky a na úplném závěru jsou slibné předběžné výsledky ze společného měření TOTEM-CMS. Celkově se mi práce četla dobře. I při omezeném prostoru pro vysvětlení detailů a při mých omezených znalostech elektroniky jsem

celkově získal dobrou představu, jak trigger funguje. Jen prosím o podrobnější vysvětlení na několika místech:

- Můžete trochu rozvést přenos dat v kapitole 2? Z GOH odcházejí data rychlostí 800Mbit/s do OptoRx po 8-10 bitovém kódování, tj. do GOH tečou rychlostí 640Mbit/s. Je to tak? Jak jsou v tomto proudu poskládána triggerová a trackingová data? Kde se tato data zase spojí po té, co je rozdělí VFAT na své digitální straně? Jakou bitovou rychlost dat vytváří VFAT se 128 vstupními kanály? Proč jdou triggerová data do fast OR?

- V kapitole 3, můžete trochu rozvést, jak fungují trigger logic blocks v sekci 3.1.2 a scalers v sekci 3.1.3? V jiných místech práce byly dobré příklady, jako v sekci 2.2.6 o adresování registrů a v sekci 3.3 o hodnotách registrů pro elektrický trigger, tak můžete popsat i funkci trigger logic blocks a scalers na příkladu? Navíc mi nebylo jasné, jak se nastavují hodnoty registrů v tabulkách kapitoly 3, zda nějak při kalibraci a zda ručně nebo programem. Jediné místo, kde jsem v práci něco našel o zaplňování registrů, bylo na str. 89, kde píšete, že hodnoty registrů pro fázový posun v elektrickém triggeru vybere počítač. Předpokládám, že pro ostatní registry je to podobné.

- Jak je z histogramů trigger bitů v obrázku 4.4 vidět, že detektory T2 mají problém?

- Proč jste použil různé počáteční hodnoty napájecího napětí 2,5V a 3V pro sektory 45 a 56, když jste nakonec stejně použil stejnou hodnotu 2,75V pro oba sektory? Navíc, když v této sekci píšete, že power supplies jsou v service cavern, znamená to, že by na obrázku 3.5 měl být napravo a ne nalevo?

- Ještě, prosím, popište podrobněji tvorbu histogramů v sekci 3.3.4 a jejich použití pro kalibraci fázového posunu PLL v sekci 4.4.4. Opět bych uvítal příklad procesu popsaného v druhém odstavci na straně 70. U kalibrace PLL, co je peak, když data jsou digitální nuly a jedničky? Jak se stane, že mizící peak dá hodnotu jedna a více, kdežto nemizící peak dá hodnotu blízkou k nule? Jak to, že detektor něco naměří, když vzorkuje signál dřív, než částice projdou?

Celkově práci doporučuji k obhajobě a Josefovi a jeho spolupracovníkům přeju hodně zdaru v dalších experimentech. Budu se těšit na jejich výsledky a doufat, že nové vhledy do neporuchového režimu QCD pomůžou pochopit i další složité systémy, tak jako už mnohokrát neporuchové ideje cestovaly mezi elementárními částicemi a pevnými látkami: supravodivost-Higgsův mechanismus, Kondův jev-asymptotická svoboda, kvantové tečky-Wigner-Dysonova statistika atd. Samotná fenomenologie měkké stránky silných interakcí zatím mimo své hranice vedla hlavně k vytvoření teorie strun, podle mého názoru poněkud nešťastně, a tak se budu těšit na více konstruktivní vliv.

Závěr:

Na závěr konstatuji, že disertant prokázal schopnost samostatné tvůrčí práce podle zákona č. 111/1998 sb. §47, a proto předloženou práci doporučuji k obhajobě a po jejím úspěšném obhájení navrhuji udělit akademický titul doktor.

V Plzni dne 12.1.2015

Šimon Kos

doc. Mgr. Šimon Kos, PhD

Příloha: Seznam překlepů a drobných nepřesností, jazykových chyb a podnětů

Str. 11:

- „Each particle could reach an energy up to 4TeV per nucleus...“ Mělo by být „per nucleon“
- „consecutive data analyses“ – má být „subsequent“? Taky na dalších místech?

Str. 14:

- „accelerate complex“ by asi mělo být acceleration

Str. 15:

- Proton s rychlostí 95%c má kinetickou energii asi 2,1GeV, ne 1,4GeV. Na obrázku je pro PSB 99%c, což dá 5,7GeV
- 99,9%c na PS dá 20GeV, ne 25GeV
- „The buckets and bunches are determined by the radio frequency (RF) cavity's resonance frequency of 400MHz¹ [5] and an LHC clock of 40MHz.“ Možná bych přidal slovo „respectively“.
- „This configuration can be used for a precise detector clock phase optimization.“ Možná by stálo za to hned napsat jak.

Str. 16:

- „The maximum of populated bunches 2808.“ Chybí sloveso.

Str. 17:

- „They can be injected in consecutive bunch slots with well defined increments.“ Tady mi slovo „consecutive“ přijde správně.
- „This is very often used for system calibrations.“ Jak? Má být dvojtečka, že to vysvětluje další věta?
- „In this case there are two trains with six bunches and 50 ns spacing.“ Na Fig. 1.4 to vypadá, že spacing je menší než 2×délka bunche, tj. 2×25ns.
- „As charged particles travel through the magnetic field their trajectory is bent by the Lorentz force.“ Má být „through“, „bent“, „Lorentz“

Str. 20:

- „The relation is illustrated in Table 1.4.“ má být 1.1.

Str. 21:

- „There are four main tasks to be performed by the electronics: data has to be measured, transferred from individual detectors to a single place and processed.“ Jsou to jenom tři, ne čtyři? Ale pod obrázkem jsou čtyři části.

Str. 22:

- „accordingly to“ by asi mělo být „according to“. Taky na dalších místech.
- „Telescope 2 and (T2)“ má být „Telescope 2 (T2) and“
- „The particle of interest often leave IP5 almost parallel to the beam.“ Mělo by být „particle leaves“ nebo „particles leave“.

Str. 23:

- „Each quarter has five planes equally spaced in along the beam pipe.“ Možná bych vynechal „in“.
- „The CSC detector is a type of a multi-wire proportional chamber gas detector.“ Co znamená „proportional“?

Str. 29:

- „During the development of the Totem trigger system, the following assumptions had to be taken into account.“ Jsou to assumptions nebo requirements/features?

Str. 30:

- „The reduced sub-sample of data measured by individual detectors is sent continuously to one central place located in the CMS service cavern.“ Spiš bych řekl „is being sent continuously“. Taky dál je „send“ místo „sent“. Správně je to na str. 51: „Data are being sent as raw pulses.“
- Figure 2.1 Proč jsou první dva rámečky nalevo označeny různě (VFAT, Detector), když jsou stejné? Mají ty tři rámečky nalevo být T1, T2, RP (když z něho vedou dvě vedení, což by mohlo být optické a elektrické)? Ale T1 nemá CC. Co znamenají přeškrtnuté čáry se šipkami? Znamenají, že to je více čar? Drobnost navíc: tady i dál sjednotit označení OptoRx nebo OptoRX.
- „To do this, the trigger information enters individual logic blocks in parallel. The logic Blocks generate a bit-vector of individual triggers for each physics scenario separately.“ Psal bych stejné písmeno pro „block“.
- „This is an issue when DAQ starts to fill its band-width and rejects trigger requests (random events are lost).“ Co jsou random events?

Str. 31:

- „bunch crossing event“—proč je zajímavý? Jen pro kalibraci? Je to když populated bunch projde IP5 nebo když se tam potkají dva?
- „Multiple collisions can (and they do) occur during a single bunch crossing.“ Myslí se tím srážky více částic nebo více srážek jedné částice?
- „This is the so-called the "pile-up".“ Vynechal bych druhé „the“.
- Proč je (2.1) definice, kdežto (2.2) odhad? Navíc před (2.1) je napsáno, že se taky odhaduje během offline analýz.

Str. 32:

- „It is very difficult to optimize trigger efficiency and trigger purity in the same time.“ Řekl bych „...purity at the same time“.
- „On the other hand, any cut creates a bias in stored data. If the bias is well understood then it can be corrected and data can be normalized.“ Jak můžeme nerozumět biasu, když jsme ho sami zavedli? Nebo se tím myslí to, co se píše v další větě, tj. že DAQ je přeplněn a odmítá další trigger requests? Je tohle teda jediný případ, kdy bias není understood?
- „(b) Roman Pot detectors uses two orthogonal projections u and v with strips segmentation.“ Má být „detector uses“ a „segmentation“.
- „Each the 10 planes of a single T2 quarter are reduced to pixel matrix shown in Figure 2.2(a).“ Mělo by být „All the 10 planes...“ nebo „Each of the 10 planes...“
- „This reduction is done using the VFAT chips (Sub-section 2.2.1) coincidence chips (Sub-section 2.2.2).“ Chybí „and“.
- „In contrast to T2, individual Roman Pots are seen as two orthogonal planes divided to 16 strips each“ Nejsou kolmé roviny ale proužky na rovinách.

Str. 33:

- „The Very Forward Atlas and TOTEM (VFAT) chip [9] is a tracking front-end ASIC chip.“ Takže Atlas taky měří rozptyl do malých úhlů?
- „to process, amplify, shape and compare the result with programmed threshold values to produce digital tracking and trigger data.“ Co znamená to process navíc k těm ostatním činnostem?
- „Once the read out request is received, the corresponding data from SRAM1 are copied to the transmitter buffer SRAM2 and transmitted out“ Proč se to kopíruje? Je to kvůli tomu, co je na konci 2.2.1 na další straně?, tj. „The read out pointer for SRAM1 is programmable. This allows us to compensate different signal propagation delays (latency) for individual detectors. Once stored in SRAM2, those data are automatically sent out from the chip and collected by DAQ.“
- I/P, O/P znamená input, output?

Str. 34:

- K čemu je fast OR? Je to mezi vstupy z různých detektorů? Může být taky slow OR?

• „In fact particles produced by showers inside the LHC beam pipe are incoming mostly under large angles and they are rejected by this mechanism.“ Nemá to být „outside“, protože všechno od „inside“ přijde pod malým úhlem? Nebo showers jsou jinde než IP5?
Str. 35:

• „GOH is based on an ASIC chip GOL [22] (Gigabit Optical Link) which is designed as a radiation hard circuit thus it can operate inside detectors while exposed to high radiation levels.“ Dvě věty.
• Proč 6 a ne 16 bit ve Figure 2.6? Odkud se bere 12 dedicated hardware receivers? Proč 12? Dáno výrobcem nebo volba uživatele? Souvisí se starým 12-channel carrier system?

• Figure 2.6: co je tx_enable?
• „The OptoRX module (Figure 2.5(b)) was designed as a TOTFed card mezzanine“ Co to znamená? Co je mezzanine i dále?
Str. 36:

• „To reduce the development time, the DAQ VME interface and internal registers blocks are used. This part allows writing and reading register values via the VME interface thus those registers are used for the system configuration and the data readout.“ Co to znamená? Co je development time? Formálně: zase poslední věta jsou dvě věty.

• „The fourth FPGA is called “Merger” and it is dedicated to combine three 64 bit wide buses from each Main FPGA.“ Jak je zkombinuje?

• „It also provides an S-link mezzanine connectivity.“ Co to je?

• „there is the Level One trigger output“ Co je level one? Je taky level two a výš?

Str. 37:

• „an usage“ má být „a usage“.

• „This computer is connected to the CMS technical network and allows the remote access from multiple machines in the TOTEM control room.“ Room?

• „These scripts give full control over the system and allow modify individual parameters during the physics measurement.“ Má být „allow to modify“ nebo „allow modification“.

• „It's directly addressed register space is limited and indirect addressing had to be used in most cases.“ Asi má být Its místo It's. To je i dále.

Str. 39:

• Table 2.4: proč jsou některé registry RO a jiné RW? Co je max. reg.?

• V Table 2.5 je register address 101, ale to už pak není v result. Asi 101 má být v result, protože pak to souhlasí:

$$2^{29}+2^{27}+2^{25}+2^{20}+2^{19}+2^9+2^4+2^2=2 \times 2^{28}+(8+2) \times 2^{24}+1 \times 2^{20}+8 \times 2^{16}+2 \times 2^8+1 \times 2^4+4 \times 2^0 \\ =2 \times 16^7+10 \times 16^6+1 \times 16^5+8 \times 16^4+0 \times 16^3+2 \times 16^2+1 \times 16^1+4 \times 16^0=2A180214$$

Str. 41:

• „However, the LONEG card is the core of the TOTEM trigger system thus it's firmware is briefly described in Section 3.4.“ Dvě věty vedle sebe. „it's“ má být „its“.

Str. 42:

• „Located in the OptoRX mezzanine, the optical trigger firmware was developed to receive and process trigger information from the T2 and Roman Pots detectors.“ Není od T1? O stránku dřív se ale píše „(the firmware for the T1 was developed in parallel by other members of the group, by modifying author's firmware)“ Takže T1 tam taky nějak je.

• „... transmitted by the individual detectors by their GOH modules.“ První „by“ asi má být „from“.

• 192 bit input=2x8x12 v Figure 3.1 vs. 12x6 bit v Figure 2.6 (str. 35) vs. 2x12x16 bit v Figure 2.1 (str. 30). Co z toho je správně? Jak s tím souvisí 8 to 10 bit encoding? 2x8 bits dělá deserializer z přichozího signálu? Je to tedy počet bitů během jednoho clock cycle?

• Co je high multiplicity cut?

Str. 43:

• „Normally, the optical link is in the idle state which is detected and signaled by the receiver block.“ Asi má být „signaled“.

• „A difficulty of the TOTEM trigger system is that optical links have to transmit trigger data continuously. For a proper operation, the transmitters are put in the idle state for a single clock cycle about every 100 ms (such operation is not standard).“ Proč musí přenášet data continuously? Proč je not standard dát je do idle state? A jak to, že to vůbec jde, když musí přenášet data continuously?

• „Thus a final state machine (FSM) is present and detects this idle state signal and then starts to toggle between two states to identify the high and low byte and data are copied to the 16 bit output bus accordingly to the FSM state.“ Nemá být FSM finite state machine?

• „It also checks that the idle state signal arrives when the FSM is in the high byte state.“ Proč? Jenom dohoda? Mohlo by se stejně dobře zavést, aby FSM byla v low byte state?

Str. 44:

• „The digital reset also affects other blocks inside the firmware except the VME and register blocs thus the register content is unaffected.“ Myslí se všechny registry?

• „Ease each register is used for one optical fiber and each bit in the register represents the corresponding trigger bit.“ Asi nemá být Ease.

Str. 45:

• „Output trigger bits from the individual blocks are multiplexed...“ Jak jsou multiplexed?

Str. 47:

• „In the TOTEM trigger system a lot of scalers monitoring trigger bits and system state signals was implemented.“ Asi má být „were“.

• „... it internal counter counts the number of clock cycles...“ asi má být „its“.

• therefor má být therefore, taky dál

Str. 51:

• „As there are five repeaters in the line, this would lead an overall delay of at least five clock cycles (125 ns). Such a delay is already about 10% of the propagation delay of the installed cables.“ Zpoždění v kabelu je $4,2\text{ns/m} \times 270\text{m} = 1134\text{ns}$, tedy přibližně 1250ns. Jazykově: mělo by být „... lead to an overall delay...“

• „There is a Maraton power supply as a power source.“ Z obrázku vypadá, jako by byl blízko Roman Pots. Je to tak? Asi se má psát Marathon.

• Figure 3.5: Je jenom jeden repeater box RBX1, nebo je jich víc? V obrázku je množné číslo, ale v textu na str. 52 je jednotné číslo. Je box RBX1 jiný než ostatní boxes RBXC?

Str. 52:

• „In order to avoid ambiguities the original device will be here after devoted as “repeater” and...“ Asi má být „denoted“.

• „The isolation board uses LVDS to CMOS converters to convert the incoming.“ Podstatné jméno za „incoming“?

• „Both sides are powered from the UCS-S2 side.“ Co je UCS-S2? Na obrázku je USC side. Je to totéž?

Str. 53:

• „The isolation board is designed in such a way that a stack of up to 4 cards can be created providing a connection for up to 128 LVDS pairs. For the electrical trigger, 394 LVDS pairs had to be connected to the trigger crate. This was achieved with 3 stacks of isolation boards and one TOTFed card (Figure 3.8).“ $4 \times 32 = 128$, to souhlasí, ale $3 \times 128 = 384$. Je tam chyba, nebo ta jedna TOTFed card nějak dodá chybějících 10? Viz též str. 66 pod „Signal inversion setup register INVA(B,C,D)“

Str. 54:

• „The reason of having this card between the Isolation Card and TOTFed is to simplify the design of the isolation cards.“ Jak to zjednoduší design? Gramaticky: asi má být „reason for“ a konsistentně množné číslo „cards“.

Str. 55:

• „Figure 3.12(a) and 3.13 shows a fatal consequence of signal attenuation for a differential bus.“ Co je differential bus? Jazykově: asi by mělo být „Figures 3.12(a) and 3.13 show...“

• „In the worst case, the signal amplitude is so reduced that the positive and the negative signals do not cross over at all.“ Čekal bych, že to, zda positive a negative signals cross záleží na posunu mezi nimi, ne na jejich amplitudě. Na všech částech Figure 3.12 bych proto řekl, že signals cross.

Str. 56: oba odstavce jsou pro mě nejasné.

• „This means that by periodical swapping of the line state, the frequency bandwidth of the signal was reduced and this reduced effects of the long cable signal attenuation.“ Co jsou ty dva stavy? Je to 0 a 1? Zmenšení šířky pásma zmenšilo útlum?

• „It means that in future, the TOTEM trigger bit data transmission can be improved using some kind of signal modulation for transmitted data.“ Jak to plyne z předchozího?

Str. 57:

• „the output of the repeater 2 goes back to the repeater 1 but is shifted by one.“ Posunutě o jeden co? Jazykově: věta začíná malým písmenem, jako už i jinde.

Str. 58:

• „As all the electrical lines arrive the trigger rack, it is needed to convert thick the industrial cables to thinner ones...“ Asi má být „arrive at the trigger rack“ a „the thick industrial cables“

• patch panel tady je něco jiného než patch card v 3.2.3?

Str. 59:

• Figure 3.17: kde je micro ribbon?

• „The transceiver card (Figure 3.18) has been created for testing purposes.“ Proč se testuje něčím, co pak není při provozu?

• „This card has one advantage: thanks to 32 LVDS channels it can be used to test all 16 channels of repeaters thus only one FPGA on TOTFed is needed to send and receive testing signals.“ Srovnej se str. 35, kde se píše, že FPGA má 12 receivers.

Str. 60:

• „A significant part of the optical trigger delay is created by serialization and de-serialization of a parallel bus data that are outgoing from Roman Pot mother boards.“ Přídavné jméno „parallel“ patří k „bus“ nebo k „data“? Proč by se data nedala poslat paralelně opticky, když se dají poslat paralelně elektricky?

• Co je Sector 45 a Sector 56 v Table 3.15? viz Figure 1.9 na str. 22. Jsou první dvě položky v tabulce tenké dráty a druhé dvě položky tlusté dráty? Druhá položka se jmenuje RSCH v Table 3.15 ale RSHC ve Figure 3.5. Je to totéž?

Str. 61:

• „There is only one small modification: the female DUSB37 connector is also used to power-up repeaters using the pin 1, 2, 20 for the ground and 19, 37 for a power supply and these pins are provided with short cables that are connected to the power cable via a distribution frame.“ Proč je několik kolíků na zem, dokonce víc než na zdroj? Jazykově: asi je „used to power up repeaters“ bez pomlčky.

• „Although a testing inside the LHC tunnel was in principal trivial,...“ asi má být „in principle“

Str. 63:

• „Patch panel is a rack mount box with a standard height of 3u.“ Co je „u“ unit?

• „The electrical trigger infrastructure was installed during the March 2012.“ Asi nemá být určitý člen. Taky dále určitý člen u měsíce.

• „In the firmware, is also a VME interface block with read-only and read-write registers.“ Na obrázku Figure 3.22 to vypadá, že registry a VME interface jsou oddělené. Jazykově: „In the firmware, there is also...“

Str. 64:

• pravé závorky navíc v řádce nad Table 3.17.

• co jsou obdélníčky s písmeny D a Q ve Figure 3.23 a proč jich je 5?

Str. 65:

• v první řádce Table 3.18 taky napsat „isolation card“ jako v ostatních.

Str. 67:

• V Table 3.23 má být sloupec bitů 7-4 min V, aby to souhlasilo s Table 3.24 na str. 68. V té tabulce zase má být 7..4 místo 7..5

• „minimum and maximum values“ má být „minimum“

Str. 69:

• „There are four trigger and four veto scalers assigned to the logic block output and one scaler counting the bunch crossing 0 signal pulses.“ Nerozumím. O bunch crossing 0 signal se taky píše na str. 78.

• „The actual scaler values can be read via the corresponding read only registers listed in Table 3.28.“ proč jsou read only? V Table 3.28 první čtyři řádky posledního sloupce ve stejném formátu. Co je poslední řádka BC0?

Str. 70:

• „A histograms for each channel is needed...“ mělo by být jednotné číslo. Taky jinde záměna jednotného a množného čísla.

• Table 3.29: Jak to, že TRGDELAY a HSTDEL mají stejnou address?

Str. 71:

• „data delay, delay data, trigger delay, delay trigger“ použít pořadí konsistentně.

• „According to the input trigger value...“ má být trigger

Str. 72:

• „In the 2 step, there is a mask for disabling detectors that are not desired to participate in trigger and a programmable monostable is applied, allowing to stretch the trigger bit for up to 16 clock cycles.“ Co je monostable? Gramatika: má být 2nd.

• „These values are chosen...“ má být „these“

• „For example, the elastic scattering measurement requires a proton in a vertical Roman Pot on one side of IP5 and one proton in a diagonal vertical Roman Pots on the other side.“ Co jsou vertical a diagonal vertical? Proč to není tentýž na obou stranách. Gramatika: asi má být Roman Pot místo Roman Pot a Roman Pots.

Str. 73:

• „in the ideal case, the rate before the fork and after the fork is the same...“ Jak může něco být před a po fork, když podle str. 72 fork „is a programmable gate containing information about a beam filling scheme structure“

Str. 75:

• „The system required its individual blocks to be tuned and calibrated to make all the parts to work together“ vynechal bych poslední „to“.

• „(due to radiation levels in LHC, the repeating devices are powered over a large distance and voltage drops has to be taken in a count...)“ řekl bych „taken into account“

Str. 76:

- „Detectors are represented by a different color. In Case (a), detector trigger signals arrive in a different time due to different latencies.“ Řekl bych „Detectors are represented by different colors. In Case (a), detector trigger signals arrive at different times due to different latencies.“
Str. 77:
- „Figure 4.2 shows a real histograms for all twelve individual Roman Pot detectors.“ Má být „a real histogram“
- „The last thing that has to be done to check that the pattern in the final trigger histogram corresponds to the LHC filling scheme.“ Asi chybí sloveso: „The last thing that has to be done is to check...“
Str. 78:
- „Since than many histograms were implemented...“ řekl bych „Since then, many histograms have been implemented...“
Str. 79:
- „In this case they, shown also that the T2 detector was losing its efficiency...“ mělo by být „In this case they show also that the T2 detector was losing its efficiency...“
Str. 80:
- „The length of this VFAT-trigger system transmission loop is up to 600m and it's the overall latency is about 3 μ s“ má být „... its overall latency is...“
- „—in such case new value value was written to the VFAT register and the measurement was repeated.“ Nejspíš jedno value je tam navíc.
Str. 81:
- „Even when the minimum bias trigger is not optimal for the consecutive physics analysis.“ Chybí hlavní věta v souvětí.
- Figure 4.6: spodní Roman Pot: chybí signál na třetí desce od předu? Asi ano, ale asi to souhlasí s grafy vedle—na grafu v chybí druhý červený bod.
Str. 82:
- „co je sector 56v v části (a)?“
Str. 84:
- „the power supplies for the electrical trigger are located in a service cavern since they need to be shielded from radiation.“ Věta začíná malým písmenem.
- „Also, this power line is about 300 long...“ chybí jednotka (nejspíš m)
- Proč je v Table 4.1 a 4.2 písmeno S u Cab. 2?
Str. 86:
- „To do the first trigger connectivity test, the transceiver card was used to pulsed all channels one by one in order to check that signals are propagated to FPGA over the line.“ Asi má být „to pulse“
- „Three channels 1, 2 and 31 can be identified as not working properly due to bad connections between connectors.“ Není to spíš 12 místo 2?
Str. 87:
- Table 4.3: nefunkční jsou červeně?
- „In most cases, the logic function OR is used to make a coincidence between trigger strip sectors in the u and v projections.“ Jak může OR dělat coincidence?
Str. 88:
- proč ve Figure 4.12 (a) noisy channel kolem 190 zároveň odděluje dvě různé hodnoty zpoždění?
Str. 89:
- „Figure 4.12(b) shows the trigger bit histogram after this new configuration script applied to the trigger system.“ Asi má být „was applied“
Str. 90:
- Figure 4.13: „The vertical axis represents bunch slots and the horizontal axis represents number of trigger bits received over an integration time period.“ Nejsou ty osy naopak?
Totéž níž v textu: „The horizontal axis represents Roman Pot PLL clock phase from -180° to 180° . The vertical axis represents 32 trigger bits and corresponding average values.“ Pod samotným obrázkem na str. 91 to je správně.
- Figure 4.13: „If the clock phase is such that a detector samples its analog input while a bunch pass by,...“ mělo by být „while a bunch passes by“
Str. 91:
- „All the Roman Pot detector PLLs have been calibrated using this method to optimize the clock phase for it's correct functionality and to achieve the one-clock-cycle time resolution.“ Má být „its“.
Str. 93:
- „using an electrical transmission lines“ má být bez členu nebo jednotné číslo.
Str. 99:
- „The combined data from both experiments are unique for studying to study diffractive phenomena where protons create a central production of particles (the forward protons are measured in TOTEM and central particles in CMS.“ Asi má být „for starting to study...“