

SPIS TREŚCI

Od autora.....	x
Wykaz oznaczeń.....	xii
Wykaz najważniejszych skrótów.....	xvii
1. Wprowadzenie do eksperymentów przy akceleratorach przeciwbieżnych.....	1
1.1. Cele badawcze FWE.....	2
1.2. Akceleratory cząstek przeciwbieżnych.....	5
1.2.1. Akceleracja trwałych cząstek naładowanych.....	6
1.2.1.1. Przyspieszająca wnęka rezonansowa.....	7
1.2.1.2. Formowanie pakietów cząstek.....	9
1.2.1.3. Energia w środku masy zderzenia.....	11
1.2.2. Efektywność zderzeń dla akceleratorów przeciwbieżnych.....	14
1.2.2.1. Ogniskowanie wiązki akceleratorowej.....	14
1.2.2.2. Optymalizacja świetlności akceleratorów przeciwbieżnych.....	15
1.2.3. Rozwiązania technologiczne budowy akceleratorów.....	16
1.2.3.1. Akceleratory liniowe.....	16
1.2.3.2. Akceleratory kołowe.....	17
1.2.3.3. Współczesne kompleksy akceleratorów wysokoenergetycznych.....	19
1.3. Eksperymenty na wiązkach przeciwbieżnych.....	21
1.3.1. Procesy detekcji cząstek.....	21
1.3.2. Pomiary parametrów cząstek w detektorach.....	25
1.3.2.1. Pomiar trajektorii.....	25
1.3.2.2. Pomiar pędu.....	27
1.3.2.3. Pomiar energii.....	29
1.3.2.4. Pomiar prędkości.....	31
1.3.3. Ogólna struktura spektrometrów.....	32
2. Zarys systemów elektronicznych w eksperymentach FWE.....	39
2.1. Krótki rys historyczny.....	39
2.2. Rola elektroniki w procesie badawczym.....	41

Modelowanie i projektowanie systemów TRIDAQ implementowanych
w układach FPGA dla eksperymentów fizyki wysokich energii

v

2.3. Podział funkcjonalny systemów.....	42
2.3.1. Grupa systemów detektora.....	43
2.3.1.1. System detekcyjny.....	45
2.3.1.2. System trygerowania i akwizycji danych (TRIDAQ).....	52
2.3.1.2.1. <i>Standaryzacja</i>	53
2.3.1.2.2. <i>Przetwarzanie potokowe</i>	57
2.3.1.2.3. <i>Akwizycja danych</i>	64
2.3.1.3. System sterowania detektorem.....	67
2.3.2. Grupa systemów globalnych.....	70
2.3.2.1. Globalny system trygerowania i akwizycji danych.....	71
2.3.2.2. Globalny system sterowania eksperymentem.....	80
2.4. Wybrane aspekty projektowania, budowy i eksploatacji systemów TRIDAQ.....	81
2.4.1. Wybrane rozwiązania technologiczne.....	81
2.4.1.1. Standaryzacja modułowa.....	81
2.4.1.2. Specjalizowane układy elektroniczne.....	90
2.4.1.3. Układy programowalne FPGA.....	91
2.4.1.4. Transmisja optoelektroniczna.....	94
2.4.2. Proces projektowania i budowy systemów elektronicznych.....	95
2.4.3. Implementacja systemów TRIDAQ w układach FPGA.....	98
2.4.3.1. Adaptacja koncentratora systemu TRIDAQ do technologii FPGA.....	99
2.4.3.2. Zarządzanie systemem TRIDAQ z wykorzystaniem układu FPGA.....	100
2.4.3.3. Proces projektowania systemu TRIDAQ w technologii FPGA.....	101
2.4.4. Zagadnienie projektowania i eksploatacji systemów TRIDAQ w kontekście wymogów diagnostycznych.....	101
3. Modelowanie systemu TRIDAQ.....	104
3.1. Strumień synchroniczny.....	105
3.1.1. Synchronizacja strumieni.....	107
3.1.1.1. Synchronizacja bezwzględna.....	108
3.1.1.2. Wybrane funkcje synchronizacji.....	108
3.2. Proces synchroniczny.....	111
3.2.1. Wybrane procesy funkcjonalne.....	112
3.2.1.1. Standaryzacja za pomocą strumienia synchronicznego.....	113
3.2.1.2. Synchroniczna dystrybucja strumienia.....	114
3.2.1.3. Derandomizacja synchroniczna z trygerem eksperymentu.....	116
3.2.1.4. Koncentracja strumieni przypadków.....	117

3.2.2. Wybrane procesy diagnostyczne.....	119
3.2.2.1. Moduły symulacyjne.....	120
3.2.2.1.1. <i>Generator impulsów testowych</i>	120
3.2.2.1.2. <i>Sekwencer testowy</i>	121
3.2.2.2. Moduły nadążne.....	122
3.2.2.2.1. <i>Kondycjonowanie strumienia danych</i>	123
3.2.2.2.2. <i>Ocena jakości procesu</i>	124
3.2.2.3. Moduły selektywne.....	125
3.2.2.3.1. <i>Akwizycja danych typu „flash”</i>	125
3.2.2.3.2. <i>Wielotrygerowa akwizycja danych strumienia</i>	126
3.2.2.4. Moduły statystyczne.....	129
3.2.2.4.1. <i>Zliczanie flag strumienia binarnego</i>	129
3.2.2.4.2. <i>Pomiar rozkładu wartości danych strumienia</i>	131
3.2.2.5. Parametryzacja modułów diagnostycznych.....	132
3.2.3. Przykłady implementacji sparаметryzowanych procesów synchronicznych w układach FPGA.....	133
3.2.3.1. Wieloprzewodowa potokowa transmisja synchroniczna.....	133
3.2.3.1.1. <i>Weryfikacja odbioru z wykorzystaniem strumienia testowego</i>	137
3.2.3.1.2. <i>Synchronizacja jednobitowego strumienia danych</i>	138
3.2.3.1.3. <i>Synchronizacja wielobitowego strumienia danych</i>	144
3.2.3.2. Generator strumienia testowego.....	146
3.2.3.3. Akwizycja strumienia synchronicznego.....	148
3.2.3.4. Rejestracja rozkładu wartości danych numerycznych.....	150
3.2.3.5. Zliczanie flag dla strumienia wielobitowego.....	152
3.3. Metodyka integracji warstwy diagnostycznej z procesem synchronicznym.....	154
3.3.1. Metoda projektowania warstwy diagnostycznej dla procesu synchronicznego ...	155
3.3.2. Model zunifikowanej struktury węzła.....	156
3.3.3. Tryby pracy ZSW.....	158
3.3.3.1. Normalny tryb pracy.....	158
3.3.3.2. Testowy tryb pracy.....	158
3.3.3.3. Emulacyjny tryb pracy.....	159
3.3.4. Wybrane konfiguracje ZSW.....	159
3.3.4.1. Konfiguracja bez warstwy diagnostycznej.....	160
3.3.4.2. Konfiguracja z blokami monitoringu.....	160
3.3.4.3. Konfiguracja z blokiem obsługi wyjątków.....	160
3.3.5. Systematyzacja etapów projektowania.....	161
3.3.5.1. Etap modelowania.....	161

3.3.5.2. Etap projektowania.....	162
3.3.5.3. Etap realizacji.....	162
3.3.5.4. Etap eksploatacji.....	163
4. Przykłady rozwiązań systemów TRIDAQ dla eksperymentów FWE.....	164
4.1. Wielofunkcyjny system TRIDAQ Kalorymetru Pomocniczego w eksperymencie ZEUS przy akceleratorze HERA.....	166
4.1.1. Eksperyment ZEUS przy akceleratorze HERA.....	166
4.1.2. Budowa Kalorymetru Pomocniczego.....	170
4.1.2.1. Komora proporcjonalna detektora BAC.....	171
4.1.2.2. Procesy pomiarowe w detektorze BAC.....	171
4.1.3. Budowa systemu TRIDAQ detektora BAC.....	173
4.1.3.1. Odczyt energetyczny.....	177
4.1.3.2. Odczyt pozycyjny.....	178
4.1.3.3. Tryger detektora BAC.....	181
4.1.3.3.1. <i>Wyznaczenie lokalnego maksimum energetycznego wieży.</i>	182
4.1.3.3.2. <i>Tryger mionowy dla wieży drutowej.</i>	183
4.1.3.3.3. <i>Tryger cząstkowy na poziomie obszaru detektora BAC.</i>	184
4.1.3.3.4. <i>Wypracowanie decyzji trygera detektora BAC.</i>	186
4.1.3.3.5. <i>Implementacja trygera BAC na bazie modelu ZSW.</i>	188
4.1.3.4. Sterowanie akwizycją danych.....	190
4.1.3.4.1. <i>Sterowanie procesem akwizycji danych detektora BAC.</i>	190
4.1.3.4.2. <i>Sterowanie naborem danych energetycznych.</i>	193
4.1.3.4.3. <i>Sterowanie naborem danych pozycyjnych.</i>	194
4.1.3.5. Diagnostyka systemu TRIDAQ.....	194
4.2. Jednorodny system TRIDAQ detektora RPC w eksperymencie CMS przy akceleratorze LHC.....	199
4.2.1. Spektrometr Compact Muon Solenoid.....	200
4.2.2. Detektor Resistive Piate Chamber.....	203
4.2.3. Szybki algorytm wyznaczania pędu poprzecznego mionu.....	206
4.2.4. System TRIDAQ detektora RPC.....	209
4.2.4.1. Elektronika Front-End komory RPC.....	211
4.2.4.2. Moduł synchronizatora.....	212
4.2.4.3. Synchroniczna kompresja i dekompresja danych.....	215
4.2.4.4. Sortowanie hierarchiczne z redukcją kandydatur wtórnych.....	218
4.2.4.5. Akwizycja danych.....	222

4.2.4.6. Budowa systemu TRIDAQ detektora RPC.....	223
4.2.4.7. Diagnostyka automatycznej synchronizacji strumieni.....	225
4.2.4.8. Diagnostyka procesów trygera mionowego RPC.....	227
4.3. System TRIDAQ dla wielodektorowego trygera mionowego OMTF w eksper- encie CMS przy akceleratorze LHC.....	232
4.3.1. Modernizacja Systemu Trygera Mionowego.....	233
4.3.2. Algorytm trygera mionowego OMTF.....	235
4.3.3. Budowa systemu TRIDAQ trygera mionowego OMTF.....	237
4.3.4. Implementacja warstwy diagnostycznej dla trygera mionowego OMTF na bazie modułów ZSW.....	238
5. Inne zastosowania systemów TRIDAQ.....	240
5.1. System sterowania LLRF dla akceleratora liniowego w laserze na swobodnych elektronach FLASH.....	242
5.1.1. Budowa lasera na swobodnych elektronach FLASH.....	243
5.1.2. Podstawowe procesy stabilizacji pola EM we wnękach nadprzewodzących typu TESLA.....	248
5.1.2.1. Realizacja szybkich procesów podczas sterowania klistronem.....	251
5.1.2.2. Realizacja procesu adaptacyjnego oraz monitoringu jakości stabili- zacji pola wneki.....	253
5.1.3. System stabilizacji pola EM we wnękach typu TESLA.....	254
5.1.3.1. Moduł symulatora wneki.....	256
5.1.3.2. Moduł sterownika wnęk zasilanych pojedynczym klistronem.....	259
5.1.3.3. Wielokanałowe moduły przełączające.....	260
5.1.3.4. Warstwa przetwarzania sygnałów analogowych.....	263
5.1.3.5. Moduł akwizycji i generowania sygnałów.....	264
5.1.3.6. Warstwa zarządzania systemem.....	265
5.1.3.7. Wybrane wersje eksploatacyjne systemu SIMCON.....	266
5.1.4. Model systemu SIMCON na bazie modułów ZSW.....	269
5.1.5. Przykłady wykorzystania modułów diagnostycznych ZSW.....	270
5.2. Diagnostyka transportu zanieczyszczeń w plazmie dla tokamaka JET.....	273
5.2.1. Proces kontrolowanej syntezy jądrowej.....	274
5.2.2. Tokamak Joint European Torus (JET).....	278
5.2.2.1. Budowa tokamaka JET.....	278
5.2.2.2. Proces kontrolowanej syntezy jądrowej.....	280
5.2.2.3. Diagnostyka plazmy tokamakowej.....	281

Modelowanie i projektowanie systemów TRIDAQ implementowanych
w układach FPGA dla eksperymentów fizyki wysokich energii ix

5.2.3. System TRIDAQ do szybkiej diagnostyki spektralnej zanieczyszczeń plazmy tokamakowej.....	286
5.2.3.1. Budowa stanowiska spektroskopii rentgenowskiej KX1.....	286
5.2.3.2. Etap detekcji miękkiego promieniowania X.....	290
5.2.3.3. Etap przetwarzania analogowego.....	292
5.2.3.4. Etap szybkiego przetwarzania cyfrowego.....	294
5.2.3.4.1. Blok trygera kanału pomiarowego.....	296
5.2.3.4.2. Blok wyznaczania ładunku pojedynczego sygnału.....	297
5.2.3.4.3. Blok wyznaczania ładunku klastra.....	299
5.2.3.4.4. Blok histogramowania ładunków klastrów.....	300
5.2.3.4.5. Blok integracji i udostępniania serii histogramów.....	301
5.2.3.5. Synchronizacja i kalibracja systemu TRIDAQ.....	303
5.2.3.5.1. Synchronizacja dystrybucji strumieni pakietowych.....	304
5.2.3.5.2. Kalibracja kanałów pomiarowych.....	305
5.2.3.6. Sterowanie systemem TRIDAQ z poziomu eksperymentu.....	306
5.2.3.7. Implementacja warstwy diagnostycznej na bazie modułów ZSW.....	307

6. Zakończenie.....	312
----------------------------	------------

Bibliografia.....	318
--------------------------	------------

Indeks.....	334
--------------------	------------