

На правах рукописи

Курепин Александр Николаевич

«Автоматизированная система управления и контроля стартового
детектора времяпролетной системы эксперимента ALICE на Большом
Адронном Коллайдере»

01.04.01 - «Приборы и методы экспериментальной физики»

Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-
математических наук

Научный руководитель
кандидат физ.-мат. наук
Каравичева Татьяна Львовна

Москва 2014

Оглавление

Оглавление.....	2
Введение.....	4
ALICE.....	7
Глава 1 Стартовый триггерный детектор T0.....	18
1.1 Черенковские счётчики.....	21
1.2 Аналоговые предусилители.....	23
1.3 Быстрая электроника.....	25
1.4 Триггерная система и триггерная электроника.....	32
1.5 Считывающая электроника.....	34
1.6 Система сбора данных.....	37
1.7 Выводы к главе 1.....	41
Глава 2 Система управления детектором T0.....	43
2.1 Методика построения автоматизированной системы управления детектора T0.....	44
2.2 Автоматизированная система диспетчерского контроля и управления.....	47
2.3 Настройка программного обеспечения.....	55
2.4 Настройка управляемого оборудования детектора.....	63
2.5 Панели управления детектора T0.....	72
2.6 Расширенные средства управления.....	103
2.7 Система управления экспериментом ALICE, интеграция детектора T0106.....	
2.8 Методы автоматической настройки и калибровки детектора.....	111
2.9 Возможности T0 детектора для анализа состояния пучка.....	114
2.10 Подготовка оператора для работы с детектором.....	118

2.11	Выводы к главе 2	119
Глава 3 Калибровка и функционирование T0 детектора в экспериментах на установке ALICE		
		121
3.1	Конструкция системы лазерной калибровки	121
3.2	Подготовка детектора к измерениям	125
3.3	Калибровочная информация во время набора данных	127
3.4	Исследование физических характеристик детектора в магнитном поле до 0,5 тесла	128
3.5	Выводы к главе 3	130
Глава 4 Физические результаты о столкновении протонов и ядер, полученные на установке ALICE		
		131
4.1	Измерение зависимости распределения заряженных частиц от псевдобыстроты при столкновении ядер свинца при энергии 2,76 ТэВ	131
4.2	Измерение множественности при столкновении p-p, p-Pb и Pb-Pb.	135
4.3	Определение угла плоскости реакции при столкновении ядер свинца	139
4.4	Идентификация заряженных частиц при использовании время пролетной системы при запуске детектором T0	141
4.5	Выводы к главе 4	147
Заключение		148
Список сокращений и обозначений		150
Список литературы		155
Список рисунков		162

Введение

Для поиска и изучения свойств нового состояния ядерной материи - кварк-глюонной плазмы (КГП) необходимо создание ускорителей, способных создавать пучки ультрарелятивистских тяжелых ядер, столкновение которых приводит к сжатию и нагреванию ядерной материи до такого состояния, в котором возможно существование КГП. Для проведения этих фундаментальных исследований в последние годы используется уникальная система ускорителей в CERN, которые обеспечивают работу Большого адронного коллайдера (Large Hadron Collider - LHC).

Большой адронный коллайдер расположен вблизи границы Франции и Швейцарии. Этот коллайдер создан на основе остановленного электронного коллайдера LEP (1981-2000). Туннель LHC имеет длину около 27 км, в котором расположено больше чем 1200 сверхпроводящих дипольных магнитов. Проектная энергия LHC для протонов $\sqrt{s} = 14$ ТэВ, а для ионов свинца $\sqrt{s} = 5,5$ ТэВ на нуклон.

Первые столкновения протонов с $\sqrt{s} = 900$ ГэВ были получены 23 ноября 2009 года. В настоящее время LHC остановлен, для проведения работ по увеличению энергии и светимости. Запуск LHC планируется в 2015 году.

На рисунке ниже (Рис. 1) представлена схема размещения детекторов и инжекторных ускорителей БАК.

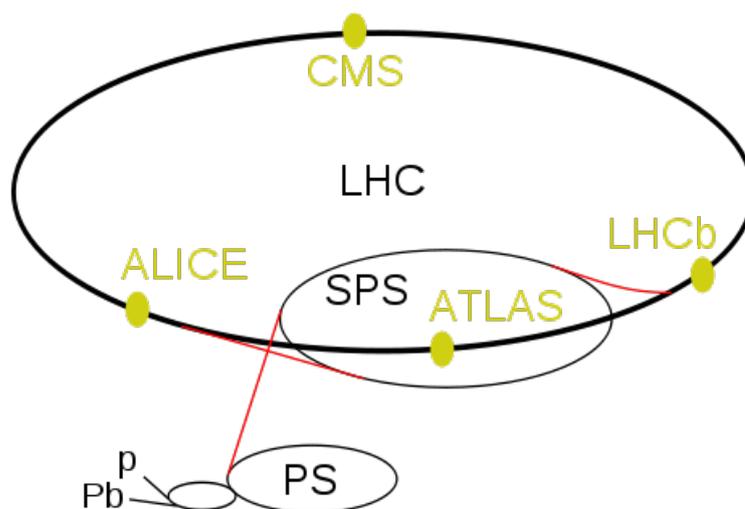


Рис. 1 Схема расположения инжекторных ускорителей и основных экспериментов Большого Адронного Коллайдера

Протоны первоначально ускоряются в линейном ускорителе, затем инжектируются в бустер при энергии 50 МэВ, затем в бустере происходит ускорение до 1,4 ГэВ и затем инжектируется в протонный синхротрон (PS), который ускоряет протоны до 25 ГэВ. После чего протоны транспортируют в супер протонный синхротрон (SPS), где ускоряются до 450 ГэВ. Затем они инжектируются в кольцо Большого адронного коллайдера (LHC). При этом протоны ускоряются до конечной энергии и сталкиваются в точках пересечения (IP).

Таблица 1. Ускорители в CERN

Ускоритель	Кинетическая энергия протонов
Linac 2	50 MeV
PS Booster	1,4 GeV
PS	25 GeV
SPS	450 GeV
LHC	7 TeV

Инжектируемые пучки в ускорителе LHC имеют определенную структуру. Всего в кольце ускорителя одновременно могут находиться до 2808 сгустков

протонов, которые двигаются по и против часовой стрелки. Каждый сгусток содержит порядка $1,15 \cdot 10^{11}$ протонов в начале заполнения пучков. Продолжительность сеанса столкновения пучков зависит от количества протонов в сгустке пучка, которая с течением времени падает. Минимальное расстояние между сгустками составляет 7,5 м или 25 нс (что эквивалентно 10 радиочастотным петлям¹ с частотой осцилляции 400,8 МГц). Также имеются промежутки в структуре сгустков. Наибольший промежуток составляет 3 мкс (900 м), он необходим, чтобы привести в рабочее состояние систему сброса пучка, также имеются меньшие промежутки в структуре пучка, со схожим назначением для инжекторных ускорителей PS и SPS.

Ионный пучок имеет расстояние между сгустками не меньше 125 нс.

На главном кольце ускорителя разместились четыре основных эксперимента и три дополнительных. Задачи, поставленные перед экспериментами – это основные проблемы современной фундаментальной физики.

- ALICE (A Large Ion Collider Experiment) – эксперимент по изучению свойств кварк-глюонной плазмы, нового состояния вещества при экстремальном сжатии и температуре. Основное направления работ в эксперименте ALICE - исследование ядро-ядерных взаимодействий, однако физическая программа также включает изучение протон-протонных и протон-ядерных столкновений.
- ATLAS (A Toroidal LHC ApparatuS) - эксперимент по поиску бозона Хиггса - теоретически предсказанной частицы, призванной объяснить существование массы.
- CMS (Compact Muon Solenoid) – эксперимент, основными задачами которого являются поиск бозона Хиггса, проверка теории суперсимметрии и исследование ядро-ядерных взаимодействий.
- LHCb (The Large Hadron Collider beauty experiment) – цель эксперимента исследование физики b-кварков, изучение CP нарушения и объяснение

¹ Радиочастотные излучатели работают на частоте 400,8 МГц

асимметрии между веществом и антивеществом во вселенной, исследование вопросов темной материи и темной энергии.

- TOTEM (TOTAl Elastic and diffractive cross section Measurement) – эксперимент по исследованию рассеяния частиц на малые углы.
- LHCf (The Large Hadron Collider forward) – эксперимент посвященный исследованию образования частиц на коллайдере, что позволит получить данные, необходимые для объяснения происхождения космических лучей высоких энергий.
- MoEDAL (Monopole and Exotics Detector At the LHC) – эксперимент по поиску медленно движущихся тяжелых частиц.

ALICE

Установка ALICE [1], [2] (Рис. 2) является многоцелевым детектором, оптимизированным для проведения измерений при столкновении тяжелых ионов с учетом плотности рожденных частиц, ожидаемой при центральных Pb-Pb столкновениях. Физическая программа установки включает также изучение столкновений протонов и протонов с ядрами. [3], [4], [5]

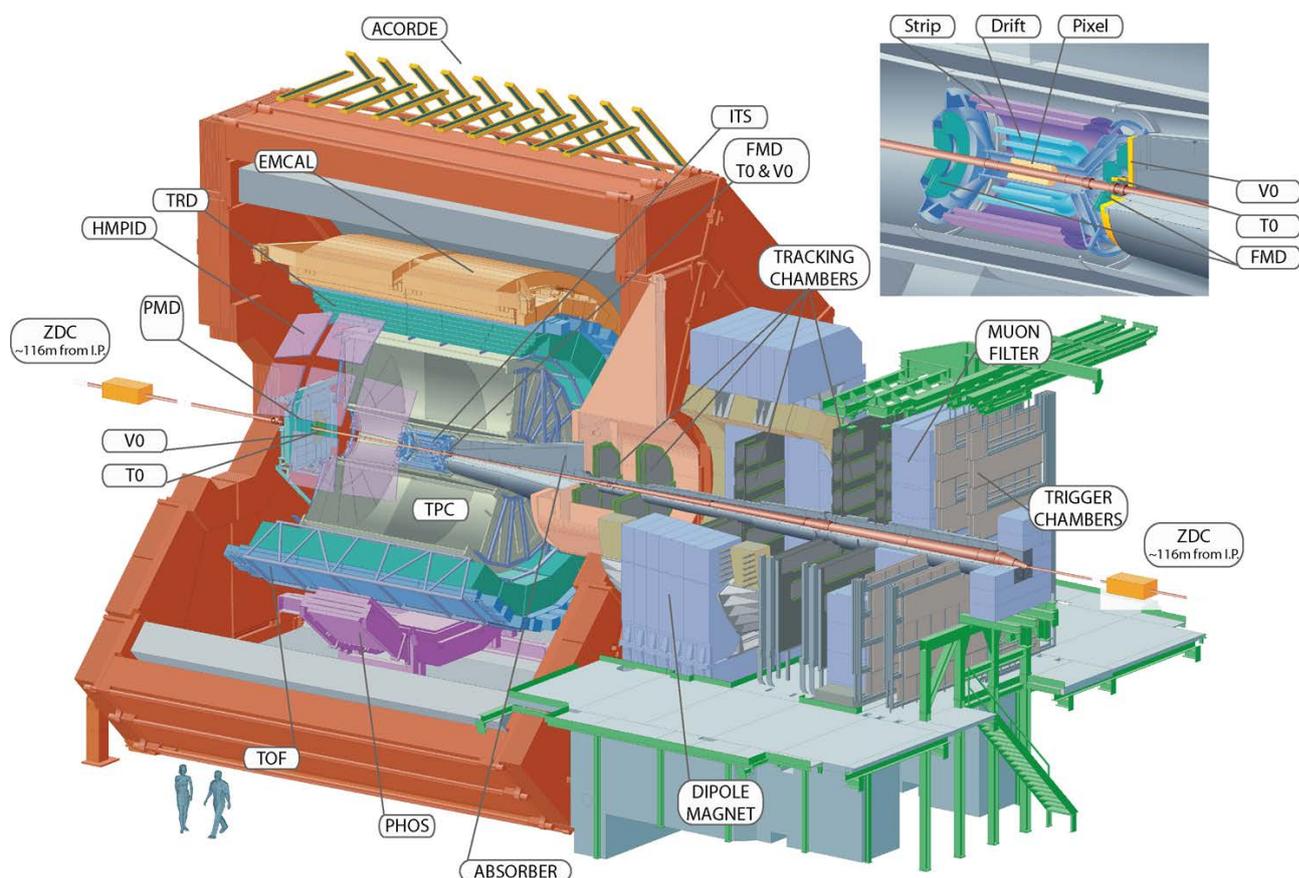


Рис. 2 Установка ALICE

Важной особенностью установки ALICE является возможность трекинга и идентификации заряженных частиц в большом импульсном интервале от $P_T \approx 0,15$ ГэВ/с до нескольких ГэВ/с. Это позволяет изучать рождение как лептонов, мезонов, барионов, странных очарованных частиц с малыми поперечными импульсами, так и струй с большими поперечными импульсами.

ALICE - это установка баррельного типа, размещённая внутри магнита-соленоида длиной 16 м, диаметром 16 м с максимальной напряженностью магнитного поля 0,5 Тесла. Длина установки 26 м.

Задача центральных баррельных детекторов - идентификация адронов, электронов и фотонов и измерение их поперечного импульса в интервале псевдобыстрот $-0,9 \leq \eta \leq 0,9$.

Внутренняя трекинг-система, Inner Tracking System (ITS) [6] состоит из 6 слоев кремниевых детекторов. Они расположены на расстояниях между 3,9 см до 43 см от точки взаимодействия (IP). ITS разделен на 3 подсистемы: два внутренних

слоя состоят из кремниевых пиксельных детекторов (SPD) два средних слоя состоят из кремниевых дрейфовых детекторов (SDD) и два внешних слоя состоят из кремниевых стриповых детекторов (SSD).

Время проекционная камера, Time Projection Chamber (TPC) [7] используется для восстановления траекторий и идентификации частиц в центральной области ALICE. Объем камеры дрейфа 90 м^3 . TPC является самым большим детектором на ALICE.

Детектор переходного излучения, Transition Radiation Detector (TRD) [8] расположен снаружи TPC. Он используется для определения траекторий заряженных частиц и идентификации электронов.

Времяпролетный детектор, Time-Of-Flight (TOF) [9] расположен с внешней стороны TRD и измеряет время пролета частиц от точки взаимодействия до детекторов TOF. Информация об импульсах частиц и длине траектории частиц которая известна из трекинга ITS, TRD, TPC совместно с временем пролета позволяет идентифицировать частицы для промежуточных значений поперечного импульса. Измерение стартового времени для TOF детектора определяется детектором T0.

Фотонный спектрометр, Photon Spectrometer (PHOS) [10] представляет собой электромагнитный калориметр, изготовленный из кристаллов вольфрамата свинца. Он расположен в нижней части ALICE вне времяпролетной системы. Заряженные частицы регистрируются многопроволочными камерами, которые расположены перед детектором PHOS. Детектор PHOS детектирует фотоны, и используется для реконструкции π^0 и η мезоны.

Электромагнитный калориметр, Electromagnetic Calorimeter (EMCal) [11] расположен снаружи TOF и предназначен для изучения эффекта подавления струй в столкновениях тяжелых ионов. Совместно с трекингом TPC и ITS, EMCal позволяет полностью реконструировать струи. Функция EMCal является также получение триггера для струй высокой энергии фотонов и электронов.

Детектор для идентификации частиц с большим импульсом, High Momentum Particle Identification Detector (HMPID) [12] представляет собой кольцевой проекционный черенковский детектор (RICH). Он состоит из слоя радиатора и многопроволочных пропорциональных камер для детектирования черенковского излучения. Заряженная частица, проходящая через среду со скоростью большей скорости света в среде, вызывает черенковское излучение. Черенковское излучение образует кольцо на плоскости считывания. Радиус кольца определяет скорость частицы. Эта информация совместно с информацией о импульсе частицы позволяет определить массу частицы.

Обнаружение и идентификация мюонов осуществляется с помощью специального мюонного спектрометра с интервале псевдобыстрот $-4,0 \leq \eta \leq -2,4$. Мюонный спектрометр, Dimuon Forward Spectrometer (MCH) [13] расположен в передней части установки ALICE на стороне C. Легкие (ω и ϕ) и тяжелые (J/ψ и γ) векторные мезоны измеряются посредством детектирования распада в канале $\mu^+ \mu^-$.

Передние детекторы покрывают диапазон псевдобыстрот $-3,3 \leq \eta \leq -1,7$ и $1,7 \leq \eta \leq 5,1$. К передним детекторам ALICE [14] относятся детекторы PMD, T0, V0, FMD и ZDC. Далее рассмотрены детекторы V0, FMD, PMD и ZDC, а полное описание детектора T0 рассмотрено в главе «Стартовый триггерный детектор T0» на странице 18.

Детектор V0 состоит из 2 плоскостей сцинтилляционных счетчиков, расположенных с двух сторон от точки взаимодействия. Детектор используется для формирования minimum bias (MB) триггера, как при столкновении протонов, так и ядер свинца для определения центральности столкновения, плоскости реакции и определения множественности частиц при малых углах.

Передний детектор множественности, Forward Multiplicity Detector (FMD) это трековый детектор, состоящий из нескольких слоев полупроводниковых полосковых детекторов. Он используется для измерения количества частиц, рожденных под небольшими углами к оси столкновения.

Детектор множественности фотонов, Photon Multiplicity Detector (PMD) [15] предназначен для определения множественности фотонов в области больших быстрот $2,3 \leq \eta \leq 3,7$ во всем интервале азимутальных углов.

Задачей калориметра под нулевым углом, Zero Degree Calorimeter (ZDC) [16] является измерение спектаторных нуклонов при столкновении тяжелых ионов для оценки числа нуклонов, участвующих в столкновении и определения центральности. Два детектора ZDC расположены с двух сторон от точки взаимодействия на расстоянии 116 метров от нее. Интервал псевдобыстрот, перекрываемый детектором $\eta > 4$. В систему ZDC входят также 2 электромагнитных калориметра. Они расположены в стороне от ионопровода на расстоянии 7 метров от точки взаимодействия, с противоположной стороны от мюонного абсорбера. 2 электромагнитных калориметра (ZEM) предназначены для регистрации фотонов от частиц, испущенных при больших быстротах, что используется для определения самых центральных событий, когда в детектор ZDC попадает очень мало спектаторов.

Эксперимент ALICE построен на современной элементной базе, благодаря чему достигаются высокая плотность каналов в объеме магнита L3. Для обеспечения слаженной работы всех детекторов и всех каналов, а также для обеспечения безопасной работы требуется централизованная система управления экспериментом.

Актуальность

Актуальность диссертации обусловлена необходимостью получения рекордного временного разрешения времяпролетной системы установки ALICE для идентификации рождаемых заряженных частиц, а также необходимостью формирования триггерных сигналов. Для обеспечения надежной работы детектора должна была проведена разработка и создание автоматизированной системы управления и контроля стартового детектора.

Цель работы

- 1) Разработка методики построения распределенной системы управления и контроля для триггерного и временного детектора T0.
- 2) Создание, отладка и испытание системы управления и контроля стартового и времяпролетного детектора T0.
- 3) Разработка и реализация метода автоматической настройки, калибровки и установки параметров стартового детектора в зависимости от условий проведения эксперимента ALICE.

Научная новизна

Созданная система управления и контроля детектором T0 предназначена для работы в составе установки ALICE и обеспечивает стабильность уникальных временных и триггерных характеристик детектора T0. Разработанная система является первым опытом в создании нового поколения DCS, выполняющих автоматическую настройку временных сигналов и амплитудную калибровку во время вывода пучков и набора экспериментальных данных.

Практическая значимость

Детектор T0 является частью действующей установки ALICE, обладающей уникальными характеристиками по идентификации частиц. Полученный опыт может быть использован при разработке новых систем, основанных на черенковских детекторах. Создание подобной стартовой системы может быть необходимо для нового эксперимента MPD/NICA в лаборатории ЛФВЭ ОИЯИ в Дубне.

Материал, представленный в диссертации, может служить пособием для ознакомления с детектором T0. Содержащаяся в диссертации информация будет полезна экспертам по автоматизации установок.

Созданная система позволила обеспечить бесперебойную работу детектора T0 во время измерительных сеансов 2009-2013 г.г. на установке ALICE и обеспечила стабильное временное разрешение необходимое для идентификации частиц.

Личный вклад автора

- 1) Предложена и реализована методика построения распределенной системы управления и контроля детектором T0.
- 2) Разработаны правила для описания безопасной работы установки.
- 3) Составлены алгоритмы автоматической настройки и калибровки стартового детектора в зависимости от условий проведения эксперимента ALICE.
- 4) Разработана и внедрена методика подготовки оператора для работы с системой управления стартового детектора, максимально приближенная к реальным условиям.

Приведенные результаты получены либо самим автором, либо при его непосредственном участии.

Автор участвовал в сборке детектора, дежурствах во время набора данных на протон-протонных и ион-ионных сеансах, при модернизации оборудования, проводил измерения на детекторе при различных значениях магнитного поля, проводил настройку и последующую калибровку детектора.

Положения, выносимые на защиту

- Методика построения распределенной системы управления и контроля детектора T0 эксперимента ALICE.
- Создание распределенной системы управления и контроля детектора T0 эксперимента ALICE
- Методы автоматической настройки и калибровки стартового детектора в зависимости от условий проведения эксперимента ALICE.
- Обеспечение стабильности временных и амплитудных характеристик стартового детектора времяпролетной системы.

Апробация работы

Результаты диссертации были представлены в виде докладов на:

- Научной сессии МИФИ-2005 (Россия, г. Москва, 2005 г.)

- Конференции «13th ISTC SAC Seminar "New Perspectives of High Energy Physics" 1-5 September, 2010, Novosibirsk, Russia»
- Рабочих международных совещаниях коллаборации ALICE (2008 – 2014 г.г.)

Публикации

Всего по теме диссертации опубликовано 18 работ. Основные научные результаты диссертации опубликованы в журналах, входящих в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, рекомендованных ВАК России:

- 1) В.А. Григорьев, Т.Л. Каравичева, А.Н. Курепин и др., «Методы измерения амплитуд сигналов черенковских счетчиков» *Приборы и техника эксперимента*, т. 3, № С. 45-49, 2009.
- 2) А.В. Веселовский, В.А. Григорьев, А.Н. Курепин и др., «Система быстрой электроники стартового триггерного детектора T0 эксперимента ALICE» *Приборы и техника эксперимента*, т. 2, 2009.
- 3) В.А. Григорьев, В.А. Каплин, А.Н. Курепин, и др., «Исследование характеристик формирователя временной отметки CFD-DC для детектора T0 эксперимента ALICE» *Науч. сессия МИФИ-2005*, т. III Конференция НОЦ CRDF: Сб. науч. тр. М., 2005.
- 4) А.Н. Курепин, В.А. Григорьев, «Программирование формирователя временной отметки CFD-DC для детектора T0 эксперимента ALICE, CERN» *Науч. сессия МИФИ-2005*, т. 15, № С. 40-41, 2005.
- 5) А. В. Веселовский, А. В. Григорьев, А.Н. Курепин и др., «Модуль формирования управляющих сигналов детектора T0 эксперимента ALICE» *Приборы и техника эксперимента*, т. 5, pp. 73-77, 2010.
- 6) А.В.Веселовский, А.Н. Курепин и др., «Автоматизированная система управления стартовым триггерным детектором T0 эксперимента ALICE (LHC, CERN)» *Препринт ИЯИ РАН*, т. 1283/2011, июнь 2011.
- 7) Anoshko A.S., Guber F.F., Kurepin A.N. et al., «Luminosity determination in ALICE with T0 and V0 detectors» *Indian journal of physics*, т. 85, № 6, 2011.

- 8) ALICE Collaboration (K. Aamodt, A.N. Kurepin et al.), «The ALICE experiment at the CERN LHC,» *JINST*, т. 3, № S08002 , p. 259 pp., 2008.
- 9) ALICE Collaboration (B. Abelev, A.N. Kurepin et al.), «Performance of the ALICE Experiment at the CERN LHC,» arXiv:1402.4476, 2014.
- 10) ALICE Collaboration (K. Aamodt, A.N. Kurepin et al.), «Measurement of visible cross sections in proton-lead collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV in van der Meer scans with the ALICE detector,» arXiv:1405.1849, 2014.
- 11) A. Augustinus, G. D. Cataldo, P. Chochula, L. S. Jirdén, A. N. Kurepin, M. Lechman, O. Pinazza, P. Rosinský и A. Moreno, «Computing architecture of the ALICE detector control system,» в *Proceedings of ICALEPCS2011*, Grenoble, France, 2011.
- 12) A. Augustinus, P. M. Bond, P. Chochula, A. N. Kurepin, M. Lechman, O. Pinazza и P. Rosinský, «Managing infrastructure in the ALICE detector control system,» в *Proceedings of ICALEPCS2013*, San Francisco, CA, USA, 2013.
- 13) A. Augustinus, M. Boccioli, P. Bond, G. Cataldo, P. Chochula, L. S. Jirden, A. N. Kurepin, M. Lechman, A. D. Mauro, A. Moreno, O. Pinazza, P. Rosinský и H. Schindler, «Protecting detectors in ALICE,» в *Proceedings of ICALEPCS2011*, Grenoble, France, 2011.
- 14) A. Augustinus, P. M. Bond, P. Chochula, A. N. Kurepin, M. Lechman, O. Pinazza и P. Rosinský, «How beam driven operations optimize ALICE efficiency and safety,» *Journal of Physics: Conference Series*, т. 396, № 1, 2012.
- 15) A. Augustinus, M. Boccioli, P. Chochula, P. M. Bond, L. S. Jirdén, A. N. Kurepin, M. Lechman, O. Pinazza и P. Rosinský, «The Design and Operation of the Detector Control System of the ALICE experiment at CERN,» в *Real Time Conference (RT), 2012 18th IEEE-NPSS*, 2012.
- 16) A. Augustinus, M. Boccioli, P. Chochula, P. M. Bond, L. S. Jirdén, A. N. Kurepin, M. Lechman, O. Pinazza и P. Rosinský, «The Design and Operation of

- the Detector Control System of the ALICE experiment at CERN,» в *Real Time Conference (RT)*, 2012 18th IEEE-NPSS, 2012.
- 17) A. Augustinus, P. M. Bond, P. Chochula, A. N. Kurepin, M. Lechman, O. Pinazza и P. Rosinský, «Managing operational documentation in the ALICE Detector Control System,» *Journal of Physics: Conference Series*, т. 396, № 5, 2012.
- 18) A. Augustinus, P. M. Bond, P. Chochula, A. N. Kurepin, M. Lechman, O. Pinazza и P. Rosinský, «Operational experiences with the ALICE detector control system,» в *Proceedings of ICALEPCS2013*, San Francisco, CA, USA, 2013.

Журналы «Приборы и техника эксперимента», «Indian journal of physics» включены в реферативную базу данных по мировым научным публикациям «Web of Science».

Структура диссертации

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка цитируемой литературы, списка публикаций автора по теме диссертации. Пояснительная записка текста диссертации выполнена по ГОСТ Р 7.0.11-2011 Работа изложена на 165 страницах машинописного текста, включая 69 рисунков и 3 таблицы.

Глава 1 «Стартовый триггерный детектор T0» на стр. 18. Здесь приведено описание устройства стартового триггерного детектора T0, его функции, электронное оборудование, система сбора данных и формирования триггерных сигналов.

Глава 2 «Система управления детектором T0» на стр. 43 описывает систему управления и контроля детектором T0. В этой главе приводятся основные сведения о работе промышленной системы диспетчерского управления и контроля WinCC OA, приведено описание настройки аппаратных компонентов системы DCS, подготовки программного обеспечения для сбора данных и обмена данными между элементами различных программных продуктов. Описаны разработанные панели

графического отображения информации, система конфигурирования оборудования, архивации данных, удаленного управления.

Глава 3 «Калибровка и функционирование T0 детектора в экспериментах на установке ALICE» на стр. 121 описывает методику калибровки детектора на основе лазерной системы. Калибровка позволяет определять параметры детектора, проводить своевременную диагностику и коррекцию временных и амплитудных характеристик в режиме реального времени, также по известным файлам конфигурации, калибровка данных проводится в режиме off-line.

Глава 4 «Физические результаты о столкновении протонов и ядер, полученные на установке ALICE» на стр. 131 посвящена обзору метода идентификации частиц по времени пролета и роли стартового детектора T0 в обработке данных. Приведены результаты идентификации частиц методом времени пролета с участием детекторов TOF и T0, а также приведено сравнение результатов при идентификации частиц только с помощью детектора TOF.

Глава 1 Стартовый триггерный детектор T0

Основная роль в выработке триггерных сигналов на эксперименте ALICE отводится двум передним детекторам T0 и V0. Эти детекторы обладают взаимно дополняющими характеристиками. V0 - детектор, состоящий из двух сцинтилляционных колец, который обеспечивает регистрацию частиц в широком энергетическом диапазоне (это является большим преимуществом в р-р взаимодействиях), но имеет ограниченное временное разрешение порядка 1 нс. Этого временного разрешения недостаточно для получения точного времени взаимодействия, необходимого для времяпролетной системы, Time Of Flight (TOF). В проекте ALICE предполагалось, что временное разрешение детектора TOF будет не хуже 50 пс, т.к. для задачи определения точки взаимодействия регистрируемых частиц требуемая точность задается в несколько сантиметров. Это верхний предел для допустимого временного разрешения стартового детектора. Недостаток временного разрешения детектора V0 для детектора TOF, может устранить детектор T0, обладающий выдающимся временным разрешением 25 пс для ядро-ядерных взаимодействий и порядка 40 пс для протон-протонных взаимодействий.

Функции стартового триггерного детектора T0:

- Определять время старта для детектора TOF. Этот стартовый сигнал соответствует настоящему времени столкновения (с определенной постоянной задержкой) и не зависит от положения вершины события.
- Вырабатывать триггерные сигналы нулевого уровня L0:
 - множественности (полу-центральный $T0_{sc}$, центральный $T0_c$),
 - когда вершина взаимодействия находится в заданных пределах.
- Исключать фоновые события, вызванные взаимодействием пучка с остаточным газом внутри ионопровода и гало пучка.
- Формировать сигнал запуска для детектора переходного излучения, Transition Radiation Detector (TRD).

Выработка триггерного сигнала множественности одна из важных опций резервирования детектора V0, который покрывает значительно больший угол

псевдобыстроты. Детектор T0 покрывает угол псевдобыстроты в диапазоне $2,9 < |\eta| < 3,3$ со стороны C и $4,5 < |\eta| < 5$ со стороны A.

Так как детектор T0 вырабатывает ранние триггерные сигналы (L0) они должны быть выработаны в реальном времени без коррекции при последующей обработке (off-line).

Детектор T0 состоит из следующих элементов:

- Две сборки черенковских счетчиков;
- Аналоговые предусилители;
- Быстрая электроника и триггерная электроника;
- Считывающая электроника;
- Система обработки и сбора данных;
- Система автоматического управления и контроля детектора.

Блок-схема электроники детектора T0 представлена на рисунке ниже (см Рис. 3):

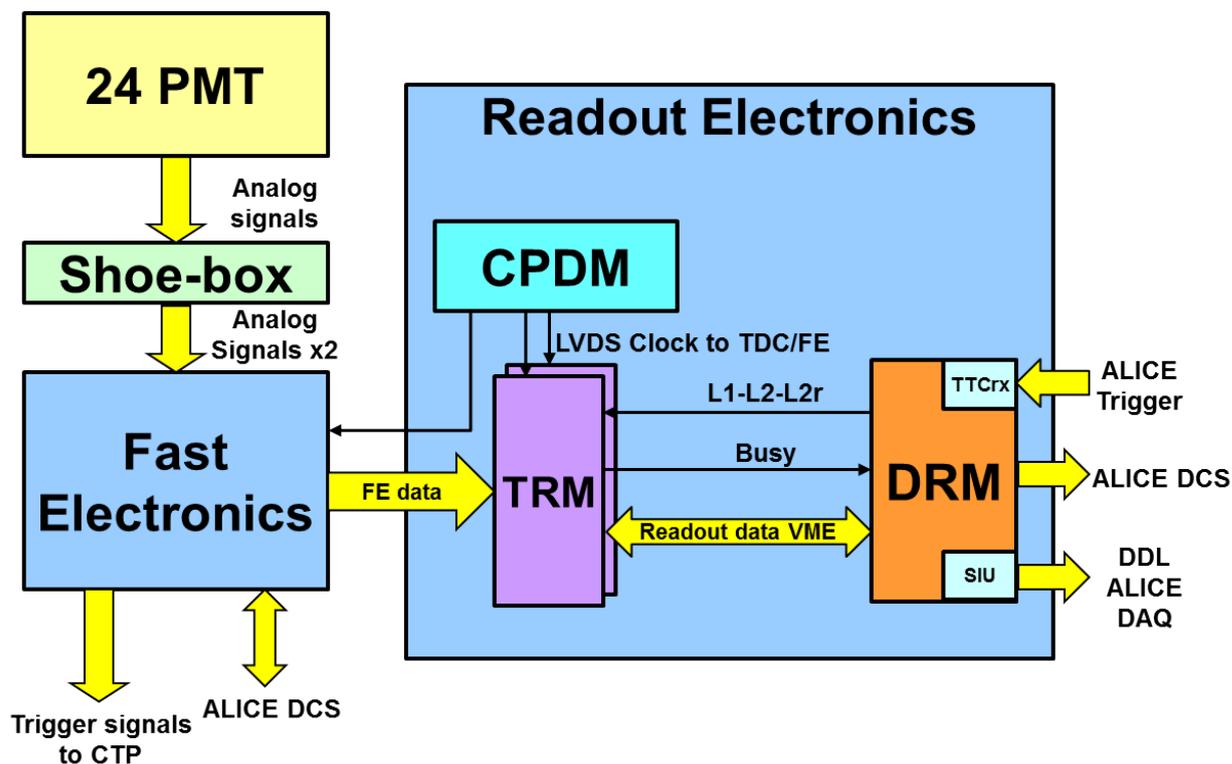


Рис. 3 Блок-схема электроники детектора T0

24 счетчика формируют сигнал и передают его на предусилитель, усиленные сигналы передаются на быструю электронику, которая формирует триггерные сигналы, а также сигналы временной и амплитудной информации.

Управление экспериментом производится центральной системой управления, Experiment Control System (ECS). Центральная система управления экспериментом обеспечивает синхронизацию между системой сбора данных, Data Acquisition (DAQ), системой управления детекторами, Detector Control System (DCS), триггерной системой, Central Trigger Processor (CTP) и триггерной системой высокого уровня, High Level Trigger (HLT). [17]

Схематично система управления экспериментом представлена на рисунке ниже (Рис. 4).

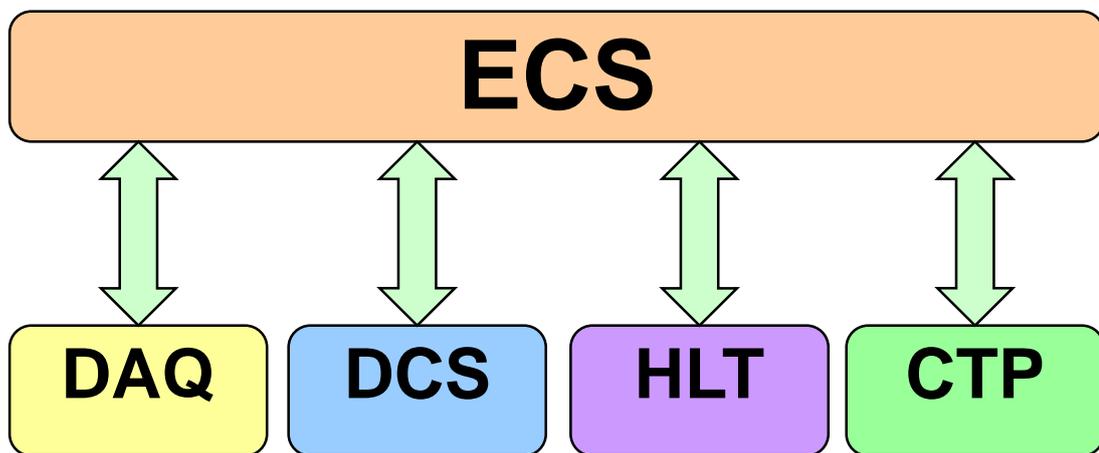


Рис. 4 Схема систем эксперимента

Каждый детектор подключен к центральной системе управления и имеет индивидуальный набор управляющих систем DAQ, DCS, CTP, HLT.

Система сбора данных (DAQ) предназначена для сбора сигналов от детекторов и построения события. Она также экспортирует собранные события для хранения.

Центральный триггерный процессор (CTP) получает данные от триггерных детекторов и формирует управляющие триггерные сигналы для считывающих детекторов в зависимости от типа события. Он позволяет исключить набор

ненадежных данных или осуществить набор данных определенной направленности.

Триггер высокого уровня (HLT) позволяет в режиме реального времени проанализировать полученные данные на соответствие полученных данных триггерной схеме. Таким образом, если событие было определено СТР как полезное, но полученные данные не соответствуют ожиданию, такое событие будет помечено соответствующим образом в данных и не будет записано для хранения.

Для участия в идентификации заряженных частиц необходимо иметь высокое временное разрешение для детектора T0, стабильность которого не возможно обеспечить без современной системы управления и контроля (DCS).

Для каждого детектора, участвующего в эксперименте ALICE, была создана уникальная система управления (DCS), удовлетворяющая спецификации конкретного детектора и требованиям центральных систем управления установкой ALICE. Система управления и контроля детектора T0 описана в главе «Система управления детектором T0» на странице 43.

1.1 Черенковские счётчики

Детектор T0 состоит из двух сборок черенковских счётчиков, которые расположены по обе стороны от номинальной точки столкновения частиц. Каждая сборка состоит из 12 счётчиков. Черенковские счётчики основаны на российских магнитостойких фотоумножителях ФЭУ-187 с сетчатыми динодами (диаметр 30 мм, длина 45 мм) и кварцевым радиатором (диаметром 20 мм и длиной 20 мм.) заключенные в алюминиевый корпус со специальной крышкой для подведения оптоволоконного кабеля от системы лазерной калибровки.

Из-за ограничений на габариты детектора не удалось разместить два кольца черенковских счетчиков, но, как показали расчеты, достаточно иметь по 12 черенковских счетчиков с каждой стороны без существенного уменьшения эффективности регистрации событий.

Сборки черенковских счетчиков, из-за строгих пространственных ограничений, расположены несимметрично относительно точки столкновения.

Одна из сборок находится на расстоянии 375 см от точки столкновения пучков, со стороны А². Вторая сборка расположена на расстоянии 72,7 см от точки столкновения, со стороны С.

На рисунке ниже (Рис. 5) представлена схема и расположения детектора T0 и V0 (дальняя сборка T0-A и ближняя – T0-C относительно точки взаимодействия IP),

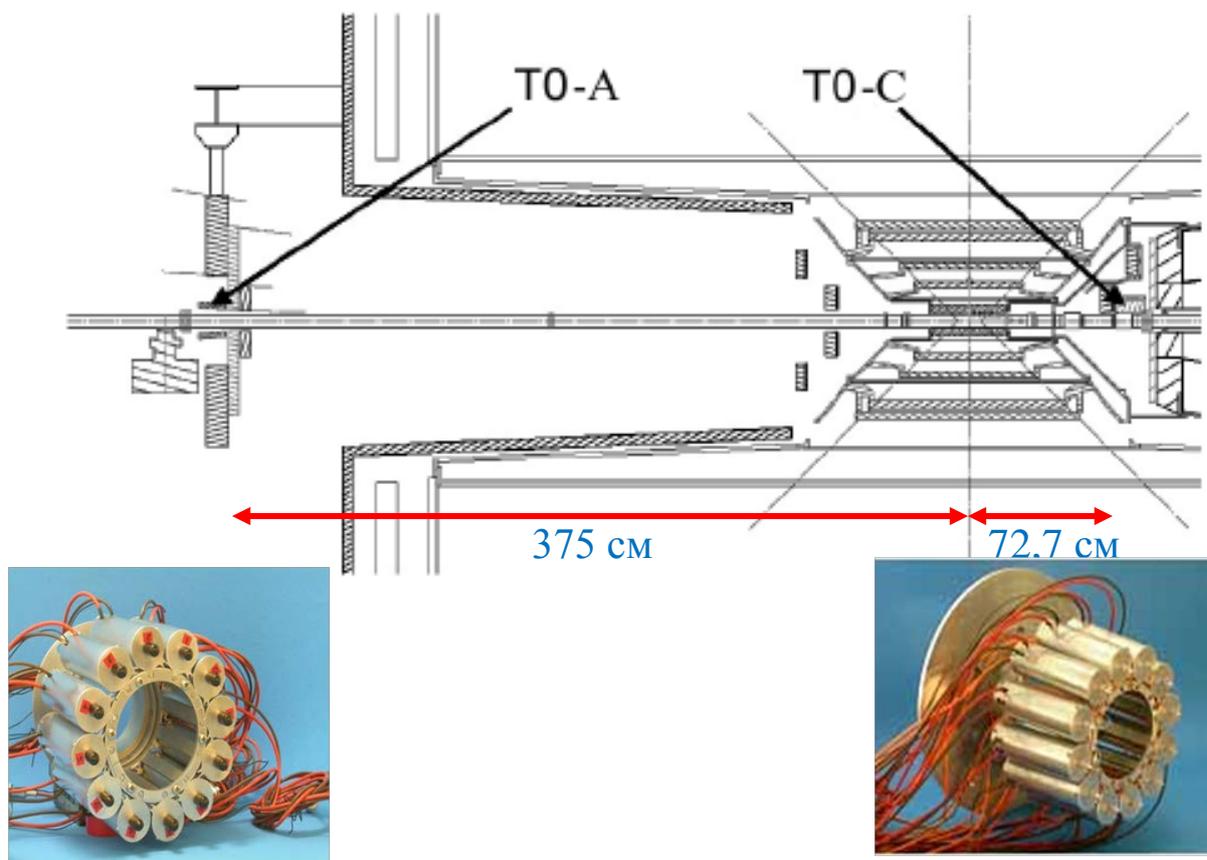


Рис. 5 Схема и расположения детектора T0 и V0

Почему были выбраны именно Черенковские счетчики? [18] Хорошо известно, что сцинтилляционные детекторы с быстрыми пластмассовыми сцинтилляторами способны обеспечить высокое временное разрешение. Черенковский радиатор дает света почти на два порядка меньше, чем сцинтиллятор и в этом отношении ему значительно уступает. Однако это излучение хорошо

² Сторону А можно определить по направлению оси Z из центра столкновения частиц, она совпадает с направлением против часовой стрелки, если смотреть из центра LHC, сторона С определяется противоположным образом

сфокусировано, что, в принципе, позволяет использовать весь излучаемый свет. Кроме того, черенковское излучение существенно более быстрое, чем сцинтилляционное. Лучшие сцинтилляторы не позволяют получить время высвечивания менее одной наносекунды, в то время как черенковское излучение практически мгновенно. Наконец, радиационная стойкость быстрых сцинтилляторов невелика, что имеет принципиальное значение, т.к. детектор должен выдерживать большие радиационные нагрузки - более 500 кРад. Кварцевый черенковский радиатор выдерживает такие нагрузки.

Релятивистские частицы, проходя через оптическую среду с показателем преломления больше единицы, излучают конус света, известный как черенковское излучение. В случае кварцевого радиатора, с показателем преломления $n = 1,458$, угол эмиссии фотонов ограничен углом $\theta/2 = 46,70$. Эти черенковские фотоны отражаются от полированных стенок радиатора и фокусируются на фотокатоде фотоумножителя, который приклеен специальным оптическим клеем к радиатору. Для лучшей эффективности радиусы фотокатода ФЭУ и кварцевого радиатора равны. Модули электроники детектора Т0 калибруются с помощью удаленно управляемой лазерной системы калибровки с лазером голубого цвета (401 нм), свет которого доставляется через оптический делитель и оптоволокно к каждому фотоумножителю.

1.2 Аналоговые предусилители

Сигналы с каждого из фотоумножителей поступают на предусилители. Предусилители находятся в коробке, так называемом Shoebox, по одной коробке на каждую сборку черенковских счетчиков. Основная функция предусилителя, разработанного группой из университета г. Юваскила, - разветвление сигнала фотоэлектронного умножителя и его усиление для передачи на расстояние до 50 м по высокочастотному кабелю. Один из сигналов после разветвления используется для формирования запуска детектора переходного излучения TRD, второй поступает на аналоговый разветвитель FANOUT. [19]

Коробка с предусилителями Shoe-box, детектора T0, состоит из корпуса с платой управления и питания, и 12 усилителей, смонтированных на ней (см Рис. 6).

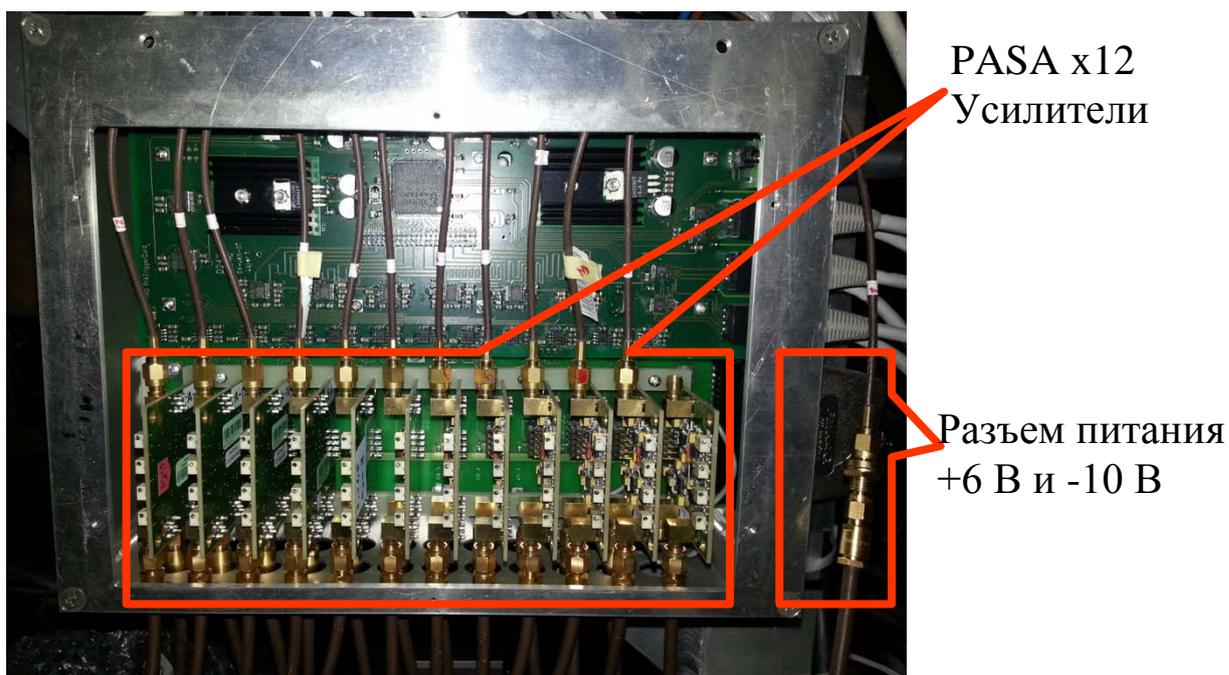


Рис. 6 Аналоговый предусилитель

Плата управления, на которой размещаются платы усилителей, считывает сигналы с канала усилителя и формирует запускающие сигналы для детектора переходного излучения (TRD) с полной задержкой меньше 200 нс. Эти запускающие сигналы подаются непосредственно на детектор переходного излучения, и используется в качестве претриггера для запускающего сигнала.

Платы усилителей обеспечивают разделение и усиление сигналов T0 детектора. Разделённые сигналы от ФЭУ усиливают для последующей передачи, с помощью высокочастотного кабеля, на расстояние 35,5 м (со стороны С) и 38 м (со стороны А). Ожидаемая величина амплитуды сигнала на выходе распределительной системы составляет от 15 мВ до 5 В.

Чтобы обеспечить временное разрешение не хуже, чем 50 пс во всем динамическом диапазоне необходимо сохранить как можно лучше оригинальную форму сигнала. Чтобы предотвратить плавание нулевого уровня при изменении частоты сигналов широкополосные усилители распределительной системы являются усилителями прямого тока.

Каждая плата усилителя имеет один вход и два выхода: нормальный с коэффициентом усиления 1,3 необходимым для компенсации потери амплитуды на длинной линии, и усиленный, с коэффициентом усиления 3. Выходной сигнал подается на аналоговые разветвители (FanOut).

Предусилитель потребляет 75 мА с напряжением от -6 до +9 В. При большой скорости счета ток возрастает до 100 мА. Мощность потребления составляет не более 1,5 Вт на предусилитель под нагрузкой, пассивного охлаждения достаточно, для обеспечения теплоотвода.

Так как предусилитель располагается в зоне близкой к пучку, то предъявляются требования к радиационной стойкости предусилителей и плат усилителей.

1.3 Быстрая электроника

Модули быстрой электроники формируют триггерные сигналы, а также передают временную и амплитудную информацию в систему считывания, оцифровки и хранения.

Временная и амплитудная информация получается с использованием дискриминатора со следящим порогом, дискриминатора с постоянным порогом и зарядо-временного преобразователя QTC [19]. Дискриминатор со следящим порогом формирует точный, мало зависящий от входящей амплитуды, временной сигнал. Временной сигнал от формирователя с постоянным порогом зависит от амплитуды и нуждается в коррекции на этапе обработки данных (offline slewing correction). В дополнение к временному сигналу с формирователя с постоянным порогом, получается точный временной сигнал с помощью комбинации QTC и LED сигналов. Амплитудный сигнал получается в блоке QTC. Другим способом получения амплитудной информации является использование различия между сигналами CFD и LED. В идеальном случае CFD используется для точного временного сигнала, а QTC для амплитудной информации. Использование всех трех блоков CFD, LED и QTC дает нам возможность получать хорошие временные и амплитудные сигналы разными способами.

На рисунке ниже (Рис. 7) представлена принципиальная схема соединения быстрой электроники.

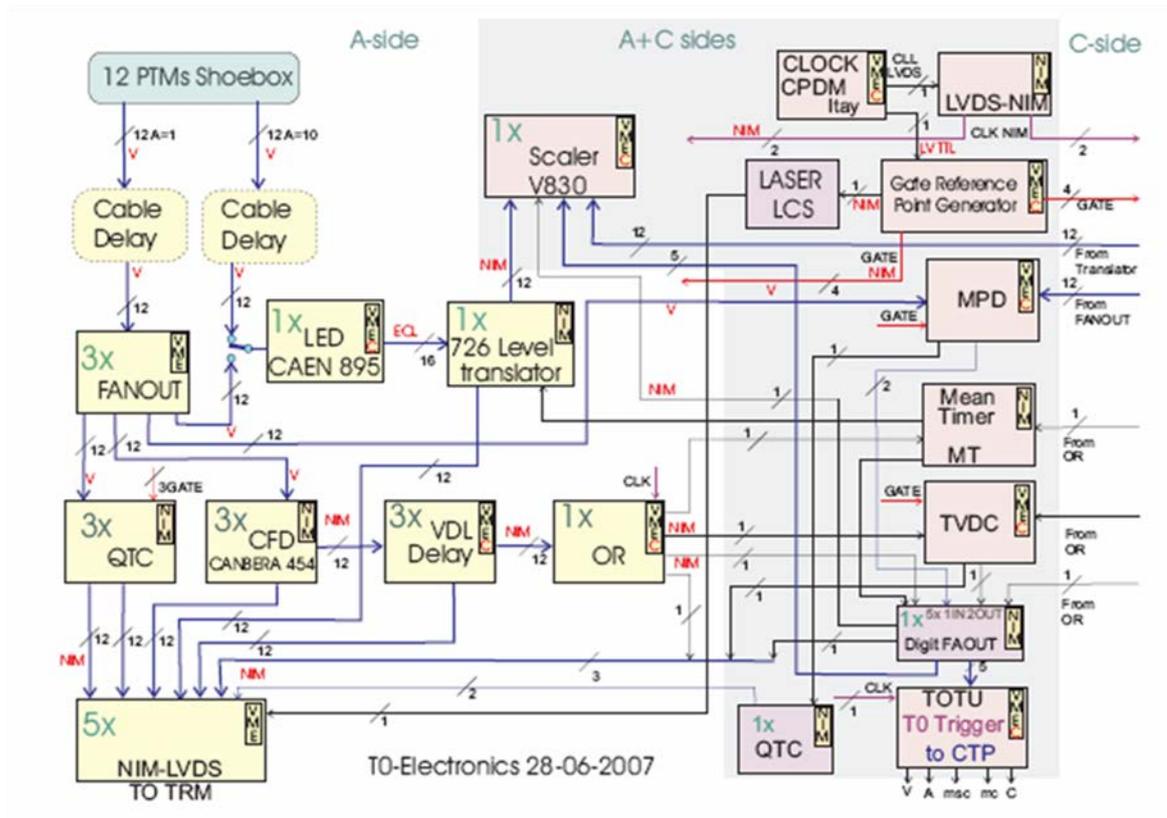


Рис. 7 Принципиальная схема соединения быстрой электроники

Большинство модулей электроники с управляемыми каналами выполнены в магистрально-модульном стандарте VME и располагаются в корзинах магистральных крейтов VME, модули, не нуждающиеся в управлении, выполнены в стандарте NIM. Исключение составляет модуль CFD, для которого была создана специальная система управления, основанная на системе ELMB.

Модуль аналогового разветвителя FANOUT

Сигналы с предусилителей поступают на входы аналогового разветвителя FANOUT.

Модуль FANOUT предназначен для разветвления входящих аналоговых сигналов с каждого фотоумножителя к четырем потребителям. Модуль состоит из 4 каналов, каждый из которых имеет один вход и 4 выхода. Поступающие с модуля FANOUT сигналы используются для выработки физического сигнала временной

отметки T0 и триггерных сигналов. Сигналы передаются на 4 модуля: дискриминатор со следящим порогом (CFD) время амплитудный конвертер (QTC) Дискриминатор множественности (MPD) и дискриминатор с постоянным порогом (LED).

Модуль FANOUT был изготовлен участниками коллаборации детектора T0 в НИЦ «Курчатовский институт».

Преобразователь заряд-время QTC

Логарифмический зарядо-цифровой преобразователь QTC формирует два логических сигнала, разница между которыми пропорциональна заряду входного импульса. Модуль QTC обеспечивает динамический диапазон амплитуд от 30 мВ до 5В за время до 160нс, который ожидается для сигналов T0 детектора. Модуль разработан в стандарте NIM. Один блок позволяет обрабатывать 4 канала.

Принцип действия основан на накоплении заряда за время действия синхросигнала, с последующим разрядом. Модуль фиксирует моменты начала заряда и конца разряда. Временной интервал между этими импульсами пропорционален амплитуде измеряемого импульса. QTC выдает два выходных сигнала, старт и стоп. Эти сигналы, пройдя через преобразователи уровней NIM-LVDS поступают в модули оцифровки и сбора данных TRM.

Модуль QTC был изготовлен в ФГУ ИЯИ РАН.

Дискриминатор со следящим порогом

Формирователь временной отметки со следящим порогом, Constant fraction discriminator (CFD) используется для точного определения времени прихода аналоговых импульсов от быстрых детекторов.

Использование временных поправок при анализе позволяет получить хорошее временное разрешение даже с дискриминатором с постоянным порогом. В отличие от дискриминатора с постоянным порогом, дискриминатор со следящим порогом позволяет получить временную привязку выходного сигнала не зависящим от амплитуды. Это достигается путем разветвления входного сигнала так, что одна половина остается той же самой, в то время как другая половина

ослабляется на определенную часть от начальной амплитуды, задерживается и инвертируется. Затем оба импульса складываются, и находится точка пересечения нуля. Точка пересечения нуля дает время, которое дается дискриминатором со следящим порогом, которое не зависит от амплитуды.

Были изучены представленные на рынке коммерческие формирователи временной отметки со следящим порогом CFD, предложенные фирмами «CAEN», «Philips Scientific», «Canberra» и «LeCroy». Также исследовался вопрос использования специальной разработки, формирователя CFD с цифровой коррекцией (CFD-DC [20], [21]). Хотя разработка выглядела многообещающей, реализация готового модуля не была проведена, поскольку требовалось длительное время и большие финансовые затраты.

Среди рассмотренных CFD наилучшими параметрами, которые отвечают требованиям детектора T0, обладает CFD фирмы «Canberra» модель 454 (Quad CF Discriminator). Его характеристики следующие:

- динамический диапазон - 1000:1
- порог регистрации – 5 мВ
- разрешение по парным сигналам – 5 нс

Гуляние временной отметки – типично не более ± 30 пс для диапазона 100:1.

Для того чтобы обеспечить контроль и управление порогом и гулянием временной отметки дискриминатора со следящим порогом «Canberra 454» с помощью системы управления и контроля детекторов была проведена дополнительная модификация модуля. В схему настройки порогов и гуляния временной отметки была подключена схема с цифро-аналоговым преобразователем.

Управление модулем осуществляется на базе платформы ELMB. Она позволяет оцифровывать входящие каналы и предавать данные на систему управления. Подробнее о платформе ELMB в главе «Система управления детектором T0» на странице 43.

Дискриминатор с постоянным порогом.

Т0 детектор использует 2 модуля дискриминатора с постоянным порогом CAEN V895. Дискриминатор с постоянным порогом Leading Edge Discriminator (LED) дает выходной импульс, когда амплитуда входного импульса превышает определенный порог. Однако при этом имеется зависимость времени выходного сигнала от амплитуды входного сигнала. Входные импульсы имеют одинаковое время нарастания и положение во времени вершины сигнала, но различную амплитуду. Меньший входной сигнал формирует временную отметку позже, чем больший сигнал, однако положение вершины сигнала одинаково в обоих случаях.

Модуль CAEN V895 это 16 канальный дискриминатор с максимальной входной частотой 140 МГц. Порог дискриминатора устанавливается от 1 мВ до 250 мВ посредством управления через шину VME по 8 битному каналу. Минимальное значение входящего сигнала 5 мВ, обычно пороги Т0 детектора устанавливаются на уровне 40 мВ. Дискриминатор формирует исходящий импульс в ответ на пересечение порога сигналом. Длительность импульса может быть задана через шину VME и в настоящий момент составляет 18 нс.

Счетчик

Т0 использует счетчик фирмы CAEN V830. Он представляет собой блок одиночной ширины VME стандарта, имеющий 32 независимых счетных канала. Каждый канал имеет 32 битную разрядность с максимальной частотой загрузки 250 МГц. Значения каналов считываются онлайн через VME и отображаются на Т0 DCS экране как полный счет, так и счет в секунду. Счетчик оборудован буферной памятью с произвольным считыванием размерностью $32000 * 32$ бит, которая хранит и считывает аккумулярованные данные в течении последующего считывания. Триггерный сигнал может быть получен на внешнем NIM/ECL сигнале или по VME запросу. Поскольку блок CAEN V830 принимает только входные сигналы стандарта ECL или LVDC, импульсы Т0 детектора передаются на него с помощью дискриминатора с постоянным порогом. Счётчик Т0 детектора получает сигналы с 12 фотоумножителей со стороны А, а также 12 со стороны С,

также от OR TVDC MPD MeanTimer и генератора точки отсчета. Каждый раз, когда фотоумножитель регистрирует истинный сигнал, с амплитудой выше порога срабатывания счетчика, значение счетчика увеличивается на единицу независимо от того сколько MIP прошло через фотоумножитель. Таким образом, невозможно вычислить множественность столкновения только с помощью одного счетчика, но можно получить, сколько взаимодействий происходит в определенный период времени.

Модуль регулируемой задержки VDL

Каждый фотоэлектронный умножитель настраивается индивидуально, поэтому значения напряжений на ФЭУ различаются. Сигналы с ФЭУ имеют разное время прихода на формирователь со следящим порогом, поэтому выходные сигналы с ФСП требуется выровнять.

Формирователь со следящим порогом формирует стандартный сигнал точной временной отметки, который поступает на входы управляемой линии задержки - четырехканальный модуль VDL (Variable Delay Line) - для точного выравнивания и подстройки временных задержек всех 24-х сигналов, поступающих с формирователей на модуль отбора OR. [19]

Модуль VDL может управляться удаленно через шину VME. В управление модулем входит индивидуальная запись в каждый задерживаемый канал значения задержки в диапазоне от 0 до 10,24 нс. Шаг задержки VDL равен 10 пс.

Модуль VDL был изготовлен участниками коллаборации детектора T0 в НИЯУ МИФИ.

Модуль логического отбора сигналов OR

Основная функция модуля OR – выдать выходной сигнал, который соответствует первому, из двенадцати сигналов, пришедших на модуль с ФЭУ. Выходной сигнал формируется по переднему фронту выбранного сигнала. Модуль не может определить с какого ФЭУ сигнал пришёл первым.

Второй функциональной задачей, выполняемой модулем OR, является уменьшение фоновой загрузки детекторов от частиц, не связанных по времени и

месту с ожидаемыми. Для этого в модуль был введен отбор событий по времени поступления (строб), что позволяет регистрировать только те события, которые близки к ожидаемому моменту столкновения частиц в центре установки, определяемому сигналами с ускорителя. [19]

Детектор T0 имеет 2 модуля OR. Один со стороны А другой со стороны С. Сигналы ФЭУ с обеих сторон подаются через дискриминатор со следящим порогом CFD и регулируемой задержку VDL на модули OR. В том случае, когда имеется сигнал от любого ФЭУ, модуль OR определяет, есть ли синхроимпульс (строб), если он есть, то модуль вырабатывает выходной сигнал, который поступает на модуль TVCD, MeanTimer, счетчики, DRM, T0TU и GRPG.

Длительность выходных сигналов 10-15 нс.

В модуле предусмотрено удаленное отключение по шине VME каналов, которые вышли из строя.

Модуль OR был изготовлен участниками коллаборации детектора T0 в НИЯУ МИФИ.

Генератор исходного стробирующего импульса GRPG

Модуль GRPG предназначен для выполнения следующих функций: [22]

- 1) Запуск лазера от импульса Pre-pulse.
- 2) Формирование сигналов GATE для QTC.
- 3) Формирование сигналов Ref. point для режимов штатной работы (на пучке) и при работе от лазера.
- 4) Изменение режимов работы блоков OR-A и OR-C: штатная работа – с воротами 4 нс., во время отладки пучка – без ворот (отключение).
- 5) Запуск лазера от внутреннего генератора и дополнительные возможности.

GRPG вырабатывает сигналы стробирования для амплитудно-временного преобразователя QTC и сигнал запуска лазерной системы. Стробирующие сигналы вырабатываются при наличии сигналов с модулей OR и синхросигнала от ускорителя «BC». Запуск лазерной системы осуществляется при наличии калибровочного триггера и синхроимпульса.

1.4 Триггерная система и триггерная электроника

Центральный триггерный процессор (СТР) установки разработан с целью выделения событий с разными свойствами, которые должны удовлетворять необходимым физическим требованиям и ограничениям, накладываемым DAQ. Заданный триггер должен оптимально соответствовать компонентам детекторов с учетом их мертвого времени и обеспечивать различные моды измерений (Pb-Pb, pA, pp), скорость счета которых отличается более, чем на два порядка.

Создание достаточно быстрого триггера является основной задачей для работы при скоростях счета 8 кГц при светимости до $L=10^{30}$ см⁻²с⁻¹. Для этого быстрый триггер разбит на два уровня:

- L0 триггер достигает детекторов за 1,2 мкс;
- L1 триггер с временной характеристикой 6,5 мкс.

Надо отметить, что быстрая электроника принимает решение за 100 нс, а оставшееся время задержки происходит из-за времени генерации триггерного сигнала и из-за задержки на кабелях.

Другой особенностью эксперимента ALICE является большая множественность событий при столкновении ионов свинца, что не позволяет различать события, содержащие более одного центрального соударения за одно столкновение. Поэтому используется система “past future protection”, которая проверяет не имеется ли наложение (pile-up) разных событий.

Конечный уровень триггера L2 ожидает окончания интервала “past future protection” (88 мкс) для проверки того, что событие может быть зарегистрировано. Этот интервал может быть также использован для работы триггерного алгоритма.

Модуль триггерных сигналов T0 детектора T0TU

T0 детектор формирует L0 триггеры для центрального триггерного процессора ALICE.

Модуль T0TU детектора T0 генерирует 5 L0 входных сигналов (T0-A T0-C T0-vertex, T0-semicentr1, T0-central) сигналы T0-C T0-A дают сведения о том, что по крайней мере одна из сторон T0 детектора зарегистрировала истинный T0

сигнал. T0-vertex дает триггерный сигнал с минимальным влиянием множественности. Триггерные сигналы T0-sc и T0-c полужентральных и центральных событий, определяют триггер множественности. TOTU запускается локальным синхросигналом от ВС, который используется для всей быстрой электроники.

T0 детектор должен гарантировать, что триггерные сигналы приходят на центральный триггерный процессор в интервале времени прохождения 16 ступков (400 нс), который предшествует соответствующему времени принятия решения на формирование триггера. Это означает, в терминах утвержденного в настоящее время триггерного протокола, что сигнал должен попадать в центральный триггерный процессор в течение следующего выходного окна отсчитывая от момента взаимодействия.

Модуль TOTU был изготовлен участниками коллаборации детектора T0 в ИЯИ РАН.

Дискриминатор множественности MPD

Дискриминатор множественности вырабатывает два логических сигнала соответствующих заданному уровню множественности частиц. Выходные сигналы с модуля MPD поступают на вход модуля триггерных сигналов, где все триггерные сигналы детектора T0 преобразуются в форму, которая необходима для центрального триггерного процессора (СТР). Поскольку детектор T0 имеет разрешение на уровне одного MIP в принципе возможно точное определение значения множественности, но в следствии малого аксептанса T0 детектора было решено определять множественность достаточно грубо. Измеряемая множественность сравнивается с двумя значениями, которые дают два возможных триггерных сигнала MPD: T0 полу-центральный и T0 центральный. В дополнение к триггерной функции выработки логических сигналов, MPD генерирует аналоговый сигнал суммы входных импульсов, который оцифровывается и записывается в off-line данные детектора T0.

Дискриминатор множественности обеспечивает следующие параметры:

- Число входов 24
- Максимальная амплитуда сигнала на каждом входе 3 В.
- Максимальная длительность входного сигнала 3 нс.
- Выходные сигналы в стандарте NIM, длительностью 10 нс.
- Максимальная амплитуда на выходе аналогового сумматора 3В.
- Время обработки аналоговых сигналов не более 25 нс.

Модуль позволяет задавать значение порогов срабатывания триггерных сигналов и режим работы.

Модуль MPD был изготовлен участниками коллаборации детектора T0 в НИЦ «Курчатовский институт».

Модуль определения вершины взаимодействия TVDC

Определение точки взаимодействия для каждого столкновения и сравнение его с максимальным и минимальным значением является главной триггерной функцией T0 детектора. Модуль, который определяет эту процедуру, называется модулем по определению вершины взаимодействия (TVDC). Основные параметры TVDC определяются по ожидаемому размеру области взаимодействия (0,7 м), номинальным разрешением измерений (± 2 см) и рабочей частотой ускорителя (40 МГц), поэтому TVDC должен удовлетворять следующим требованиям: временной интервал $\pm 2,5$ нс, номинальное временное разрешение 20 пс для 8 битовой конверсии, полное мертвое время менее 25 нс.

Модуль TVDC был изготовлен участниками коллаборации детектора T0 в НИЦ «Курчатовский институт».

1.5 Считывающая электроника

Считывающая электроника состоит из модуля преобразования сигналов NIM-LVDC, устройства распределения синхросигнала (CPDM), считывающего модуля (TRM) и модуля чтения данных (DRM). Для работы времяпролетной системы необходима временная и амплитудная информация от каждого фотоумножителя и последующая оффлайн коррекция, которая должна улучшить точность и

стабильность в определении времени взаимодействия. Для того, чтобы уменьшить стоимость и гарантировать наилучшую работу T0 детектора, система считывания данных должна быть идентична такой же системе времяпролетного детектора.

Временная и амплитудная информация от каждого фотоумножителя считывается и хранится в системе сбора данных DAQ ALICE.

Модули считывающей электроники CPDM, TRM и DRM детектора T0 используются такие же, какие применяются в детекторе TOF. По договоренности представителями детектора TOF, в модулях предусмотрена конфигурация, позволяющая использовать их для детектора T0, таким образом они обладают полной совместимостью для двух детекторов. Модули были изготовлены по контракту для детектора TOF фирмой CAEN.

Модуль преобразования уровня NIM-LVDC

Модуль предназначен для преобразования сигналов быстрой электроники в сигналы, которые способна принимать считывающая электроника. Модуль преобразует сигналы уровня NIM, приходящие от блоков QTC, CFD, LED, GRPG, TVDC, OR, MPD и MeanTimer в сигналы уровня LVDC, распределяя их среди входов модуля считывания данных (TRM). На входе считывающей электроники используется разъем VHDCI-68 pin поэтому модуль также необходим для компоновки сигналов и передачи из на разъем. На выходе модуля сигналы распределяются таким образом, чтобы каждая микросхема HPTDC получала только 4 сигнала. На каждый сигнал отводится свой буфер для регистрации событий, идущих с детектора.

Модуль распределения синхросигнала CPDM

Модуль CPDM используется для распределения тактовой частоты ускорителя по модулям считывающей электроники для синхронизации.

Синхросигнал поступает на модуль по оптоволоконной линии и преобразуется в электрический сигнал логического уровня LVDC, который затем передаётся на модули электроники.

Модуль считывания TRM

Функции TRM основаны на многоканальном чипе HPTDC (временной преобразователь), который осуществляет кодирование временных интервалов на рабочей частоте 320 МГц.

Этот чип разработан в CERN специально для экспериментов LHC и учитывает специфику данных этих экспериментов (большое число каналов, высокое разрешение и большие загрузки).

Для детектора T0 была введена конфигурация при которой чип HPTDC работает в режиме высокого разрешения (VHRM: 25 пс LSB). В чипе HPTDC, имеющем 32 канала, в этом режиме используется только 4 канала. Использование 4 каналов позволяет обеспечить регистрацию данных с частотой около 5 МГц. Считывание данных с HPTDC осуществляется с помощью FPGA (Field Programmable Gate Array - программируемая пользователем вентильная матрица). После прихода триггерного сигнала L1, FPGA обращается к 30 чипам HPTDC и считывает данные в буфер памяти RAM (Random Access Memory). По триггерному сигналу L2 инициируется передача данных по шине VME в буфер памяти модуля DRM.

Модуль считывания данных DRM

Крейт системы считывания данных детектора T0 оснащен модулем считывания данных (DRM), который представляет собой главный интерфейс между центральной системой считывания данных ALICE, центральным триггерным процессором и детектором T0. Модуль DRM получает и распределяет синхросигнал с частотой 40 МГц и триггерные сигналы L1 и L2 на модуль TRM. Синхроимпульс получается через оптическую линию - TTC.

Цифровые коды с модулей T0 TRM поступают в блок считывания данных DRM.

Триггерные сигналы L1, L2a L2r получаются из центральной триггерной системы СТР. Триггер L1 вырабатывается в случае соответствия события классу триггера. L2a – триггер соответствия классу, L2r – триггер несоответствия. Когда

модуль DRM получает сигнал L2r, буфер соответствующего события очищается, в противном случае, если получен сигнал L2a, данные из буфера собираются и как под-событие пересылаются в центральную систему сбора данных DAQ по оптоволоконной линии передачи данных DDL.

Все платы ввода-вывода (TTC, DDL и PC карты) разработаны как комбинированные платы для стандартного PCI Mezzanine Card (PMC) формата, применяемого для плат VME.

1.6 Система сбора данных

Физический анализ данных эксперимента ALICE представляет собой обработку и интерпретацию информации, полученной на всех или нескольких детекторах установки. Для этого разработана система сбора данных (DAQ). Основной функцией DAQ является обеспечение потока данных от детекторов к устройствам хранения данных. Она включает оборудование для организации потока данных от электроники детекторов к компонентам системы DAQ и к фермам триггера высокого уровня (HLT – High Level Trigger), а также передачу информации от DAQ к системам HLT. Программное обеспечение DAQ позволяет выполнить мониторинг контроля качества данных, мониторинг и контроль работы всех систем.

Поскольку установка ALICE состоит из нескольких различных детекторов, созданных для решения ряда оригинальных физических задач, система DAQ должна удовлетворять различным условиям эксперимента с различными пучками и различными классами триггеров: столкновение тяжелых ³ ионов свинца, столкновение протонов с протонами, протонов с ядрами, столкновение легких ионов.

Основные аппаратные средства системы DAQ установки ALICE состоят из DDL (Detector Data Link) для передачи физических данных от детекторов к DAQ. Подобная связь обеспечивает передачу конкретных команд и параметров конфигураций от DAQ к электронике детекторов. DDL основана на коммерческих

³ Ионы свинца 208

компонентах, таких как FPGA (Field Programmable Gate Array) и оптических и электронных приемопередатчиках, которые обычно используются в компьютерных сетях.

Для считывания и хранения данных, полученных на детекторах, используются стандартные персональные компьютеры PC или PC сервера.

Архивация данных происходит в два этапа: предварительное хранение данных на дисках в подземном зале эксперимента и постоянное хранение данных на магнитных дисках в компьютерном центре.

Архитектура и главные компоненты системы обработки данных составляют основу структуры программного обеспечения DATA, которое также осуществляет управление и контроль аппаратных средств.

Перед тем, как производить набор данных в системе DAQ, определяются специальные наборы данных различного типа. В случае T0 детектора эти наборы таковы: физические данные и лазерные данные. При наборе лазерных данных детектор T0 может работать независимо от других. В этом случае работа в изолированном режиме происходит во время подготовки к набору данных и в промежутках между физическими наборами данных, чтобы проконтролировать работу детектора.

Система лазерной калибровки может работать в изолированном режиме в полном динамическом диапазоне от 1 до 100 МIP. Подробно система лазерной калибровки описана в главе «Калибровка и функционирование T0 детектора в экспериментах на установке ALICE» на странице 121. Каждый набор данных в свою очередь состоит из событий, разделенных на несколько видов, для T0 детектора это события двух видов: физические и калибровочные. Лазерные данные, набранные в изолированном режиме, используются для наладки и калибровки детектора. Данные, полученные при наборе данных, сохраняются в так называемом необработанном формате, которой создается непосредственно по информации от электронных блоков. Эти данные, которые предоставляются каждым из детекторов ALICE, должны быть обработаны, прежде чем могут быть представлены в форме

реконструированных событий для дальнейшего анализа. Данные, получаемые от каждого детектора, обрабатываются с помощью локальных концентраторов данных (LDC), а полное событие формируется глобальным коллектором данных (GDC). Эти данные сохраняются в системе распределенного хранения и обработки данных AliEn и параллельно пересылается в центральный компьютерный центр CERN, где они хранятся на лентах. Сначала проводится начальная реконструкция, которая с учетом имеющейся информации о настройке и калибровке, дает достаточно сведений для калибровки и оценки качества работы детекторов. В дальнейшем производится вторая, третья и окончательная реконструкция. Информация об общих параметрах событий и о настройке пучка генерируется блоками LDC и GDC и записывается в заголовок событий. Для первичной калибровки детектора T0 используется так называемый детектор-алгоритм (DA) – программа, работающая параллельно со сбором данных.

T0 детектор использует 3 различных детектор-алгоритма, которые исполняются на специальных компьютерах. Двумя детектор-алгоритмами для T0 детектора являются T0Physda и T0Laserda, которые выполняются для двух наборов данных: физического и лазерного.

T0Physida собирает в гистограммы время прилета частиц на каждое ФЭУ. Эти гистограммы, после того как система сбора данных формирует конец набора, посылаются на сервер обмена файлов, из которого потом получает данные T0 препроцессор. Блоки LDC дают необходимый поток данных, и их главной функцией является считывание с каналов DDL, которые непосредственно связаны с детекторной электроникой. T0Laserda используется во время изолированного набора данных. Графики время-амплитуда и амплитуда-MIP формируются как с помощью модулей QTC, так и LED-CFD.

Детекторные алгоритмы на серверах наблюдения запускаются перед тем, как система сбора данных дает сигнал начала набора данных. В обоих случаях последующий набор не может начинаться до того, как детектор- алгоритм закончит обработку текущего набора. Мониторирование данных установки ALICE

выполняется посредством интерактивного наблюдения среды исполнения качества данных. Серверы наблюдения могут получать данные с блоков LDC или GDC, но не участвуют непосредственно в образовании потока данных. Наблюдение в режиме реального времени необходимо для того, чтобы проверять, дает ли детектор правильные сигналы, а также, чтобы провести окончательную настройку всей электроники. Среда исполнения Amore дает, помимо наблюдения данных в режиме реального времени, возможность также провести проверку качества (QA – quality assurance).

T0 препроцессор

T0 препроцессор обрабатывает данные, собранные с помощью детекторного алгоритма и системы диспетчерского контроля и управления DCS. Он формирует гистограммы, собранные детектор-алгоритмом и сохраняет результаты в базе данных состояния офф-лайн (OCDB - Offline condition data base). Различия между временами выбранного CFD и остальными записывается, как значение сдвига между каналами для выравнивания каналов. Если препроцессор допускает ошибку, это означает, что имеется некоторая техническая проблема, например, в системе транспортировки данных (Shuttle) или ошибка в детекторном алгоритме, которая не позволяет сохранять параметры калибровки в OCDB.

Параметры данных с детектора (информация, записанная с помощью системы DCS, относящаяся к T0 детектору, например, данные T0 счетчиков, высокое напряжение ФЭУ, напряжение питания в shoebox) считываются с помощью DCS сервера, обрабатываются препроцессором и сохраняются в определенной базе данных. Каждый из псевдонимов T0 обрабатывается с использованием определенных классов Aliroot.

Очередь для обработки параметров в базе данных DCS выполняется в то время, когда номер измерения создается с некоторым сдвигом и заканчивается так называемым временем конца измерения, когда процесс End Of Run (EOR) закончен, плюс некоторый сдвиг вместо очереди на данные от стартовых DAQ к конечным

DAQ. Этот сдвиг позволяет исключить возможную десинхронизацию между временем работы DAQ и временем работы DCS.

Реконструкция

Для обработки данных установки ALICE была разработана система AliRoot, включающая в себя программы для калибровки детекторов, реконструкции и физического анализа данных. Результаты реконструкции записаны в ESD (Event summary data) и содержат:

- 1) Общие параметры события, такие как координаты точки взаимодействия пучков, количество заряженных частиц в различных интервалах псевдобыстроты, время взаимодействия и центральность, определенные несколькими детекторами. Детектор T0 записывает в ESD Z- координату и время столкновения, количество заряженных частиц на каждом ФЭУ и флаги о наложении событий.
- 2) Информацию обо всех заряженных и нейтральных частицах, зарегистрированных детекторами: координаты точки рождения, импульс, предполагаемый тип частицы. Одним из основных методов определения типа частицы является измерение время пролета от точки столкновения пучков (IP) до время-пролетного детектора TOF. Детектор T0 определяет время начала взаимодействия с точностью лучше чем 50пс.

1.7 Выводы к главе 1

- 1) Рассмотрена конструкция и функции триггерного и время пролетного детектора T0, состоящего из 2-х сборок черенковских счетчиков T0A и T0C на основе кварцевых радиаторов и ФЭУ 187 и созданного коллективом Российских институтов.
- 2) Приведены данные о разработанных в России блоках аналоговой и быстрой электроники и о блок схеме электроники детектора T0.
- 3) Обсуждены преимущества детектора T0 для формирования триггерных сигналов и его интеграция в систему триггеров установки ALICE.

4) Описана работа блоков считывания. Рассмотрена система сбора данных и реконструкции событий.

Глава 2 Система управления детектором T0

Разработанная система управления обеспечивает считывание данных с модулей управляемой электроники, обработку показаний датчиков и контроль параметров всех управляемых систем детектора. Контроль параметров ведется в автоматическом режиме, некоторые параметры выводятся на графический терминал оператора. Изменение параметров настройки детектора производится оператором. Данные введенные оператором автоматически проверяются перед записью в блоки управления.

Главная задача созданной автоматизированной системы управления детектора – обеспечение безопасности работы. Условие сохранности оборудования заключается во времени реакции оператора на аварийную ситуацию. Любое отклонение от заданного состояния должно фиксироваться и должным образом информировать оператора системы о существующей опасности для оборудования, а в случае критической опасности автоматически установить безопасное состояние важных узлов. Простые в понимании, информативные данные и система информирования оператора главная - цель системы управления. Кроме этого к системе управления предъявляются требования четко следовать командам оператора.

Чтобы обеспечить стабильность параметров, данные заносятся в файлы конфигурации. Конфигурирование детектора может быть вызвано вручную или автоматически по внешней команде. В случае автоматического конфигурирования система проверяет состояние установки и выбирает соответствующий файл конфигурации.

Чтобы обеспечить интеграцию системы управления и контроля детектором в систему управления экспериментом, она разработана с учетом требований, предъявляемых группой DCS - центральной системой управления детекторами ALICE. Правила заключаются в унифицированном поведении детектора на команды центрального оператора DCS, обеспечении простого и безопасного управления детектором без участия эксперта от детектора и предоставления точной

информации, об аварийном состоянии узлов детектора, через панель тревожных сообщений.

Разработанная система управления основана на современной программной базе нового поколения. Она отличается гибкостью разработки новых компонентов. Новизна разработанной системы управления заключается в расширенных функциях, выполняемых системой управления. На базе комплекса была разработана система автоматической настройки детектора в зависимости от состояния инфраструктуры эксперимента, оценка светимости и фона встречных пучков, автоматическая калибровка и автоматизированная настройка временных характеристик детектора.

2.1 Методика построения автоматизированной системы управления детектора Т0

Разработана методика построения автоматизированной распределенной системы управления и контроля детектором Т0 для диспетчерского управления и удаленного наблюдения за оборудованием детектора.

В основе метода заложено представление компонентов детектора, как модульной системы, которая позволяет осуществлять управление, как отдельных модулей, так и всей системой в целом. При рассмотрении системы управления детектора Т0 как комплексной установки были выделены основные, объединенные общим смыслом и назначением объекты.

Метод управления заключается в составлении последовательностей команд управления и считывания состояния подсистем, чтобы при заданных условиях обеспечить конечное устойчивое состояние системы в целом.

На основе дробления системы на отдельные управляемые объекты были определены устойчивые состояния объекта и правила, описывающие эти состояния. Были определены критерии перехода объекта между состояниями и автоматизированные команды, для перехода из одного состояния в другое. Определены правила взаимодействия между объектами системы. Описанный

МЕТОД ЛЕЖИТ В ОСНОВЕ СИСТЕМЫ КОНЕЧНЫХ СОСТОЯНИЙ ИЛИ АВТОМАТА КОНЕЧНЫХ СОСТОЯНИЙ.

Распределенное управление позволяет оперировать, как всей системой в целом, так и отдельными объектами, независимо от состояния остальных элементов.

Система управления детектора T0 состоит из объектов управления, интерфейса оцифровки и обмена данными, линий связи с оборудованием, системы управления и контроля и человеко-машинного интерфейса.

На рисунке (Рис. 8) представлена схема системы управления детектором T0. [23]

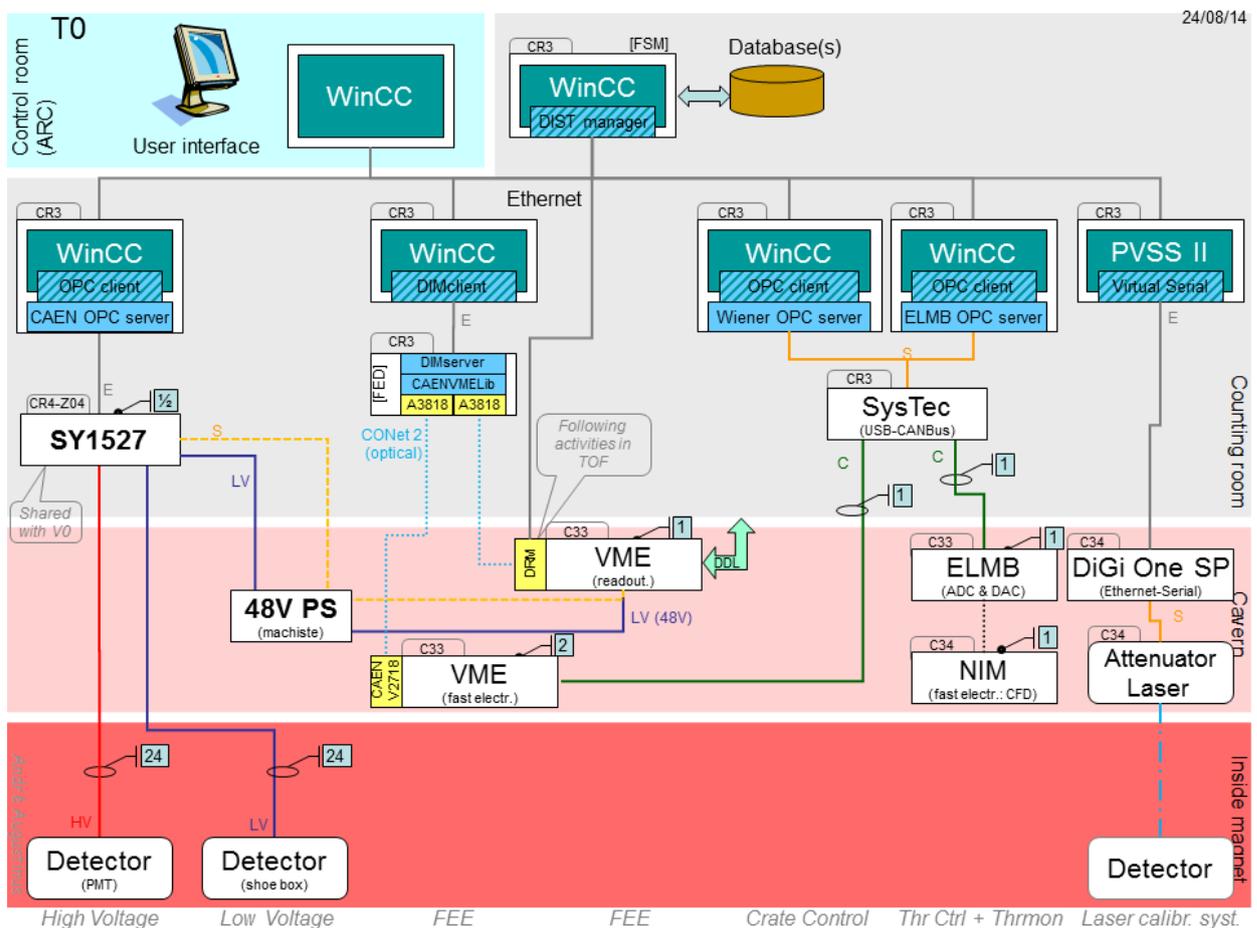


Рис. 8 Схема системы управления детектором

Из рисунка видно, человеко-машинный интерфейс находится в комнате управления. Он представляет собой терминал с панелями управления, на которые выводится информация о состоянии детектора. Система управления и контроля

представляет собой программное обеспечение, которое находится на компьютерах в операционном зале. К компьютерам с системой управления подключены линии связи с оборудованием:

- Ethernet – для устройств подключенных через сетевой интерфейс;
- CanBUS – подключен к USB адаптеру;
- Optical fibre – оптоволоконное соединение подключается к адаптеру PCIe.

Интерфейсы передачи данных и оцифровки находятся в машинном зале установки ALICE:

- Оптический аттенюатор и адаптер последовательного порта RS-232 для Ethernet;
- Интерфейс обмена данными с CFD - ELMB;
- Wiener VME крейты;
- Крейт питания CAEN SY1527 и интерфейс управляемого крейта VME для считывающей электроники;
- Система сбора данных DRM;
- Контроллеры крейта VME.

Объекты управления располагаются также в машинном зале и обрабатывают электрические сигналы:

- Модули быстрой электроники;
- Каналы считывающей электроники TRM;
- Лазер для калибровки детекторов;
- Фотоэлектронные умножители;
- Предусилители;
- Каналы электропитания VME крейта и термодатчики;
- Каналы электропитания VME крейта считывающей электроники.

2.2 Автоматизированная система диспетчерского контроля и управления

Для экспериментов, проводимых на ЛНС, было принято решение, использовать единую систему автоматизированного управления и контроля данными. Это позволило решить ряд прикладных задач, таких как сопряжение, взаимозаменяемость, централизованное управление и единая поддержка программного продукта.

Среди возможных коммерческих SCADA систем были представлены PVSSII (WinCC OA), LabView, PCVue. Выбор был сделан в пользу PVSSII (WinCC OA). [24]

В 2006 году началось планирование и построение системы управления детектора Т0.

Описание системы диспетчерского автоматизированного управления

Когда работа началась, система называлась PVSSII. Она была разработана австрийской компанией ЕТМ, однако в 2012 году корпорация Siemens приобрела компанию ЕТМ. Продукт был адаптирован для коммерческого пакета WinCC и вошел в него под новым именем WinCC Open Architecture или WinCC OA. Далее, для краткости будем называть систему WinCC.

Автоматизированная SCADA система диспетчерского управления и контроля детектора Т0 (SCADA – Supervisory Control And Data Acquisition) WinCC OA:

- Имеет большое количество встроенных интерфейсов для подключения оборудования;
- Обладает модульной структурой, что позволяет строить распределенные системы;
- Обладает графическим интерфейсом для организации человеко-машинного интерфейса;
- Имеет систему аварийного предупреждения, для обеспечения безопасной работы детектора;

- Имеет встроенную базу данных, а также может получить доступ к внешней базе данных;
- Обеспечивает контроль параметров детектора в реальном времени.

Чтобы обеспечить связь с оборудованием среда разработки WinCC имеет встроенные протоколы связи с оборудованием, такие как:

- OPC клиент;
- Драйвер CANbus;
- Драйвер MODbus;
- RS-232;
- LAN;
- DIM;
- DIP и др.

Продукт WinCC - это программа, состоящая из отдельных исполняемых программных модулей-менеджеров. Каждый менеджер отвечает за отдельную задачу. Для подключения необходимого менеджера, в зависимости от того, решение какой задачи требуется, производится из программы управления менеджерами. Панель управления представлена на рисунке ниже. (Рис. 9)

Благодаря модульному подходу имеется возможность включать в систему новые управляемые блоки, что дает возможность развивать готовую систему управления. Отдельные разработанные блоки управления, оказавшиеся полезными и удобными, могут быть импортированы в новый проект.

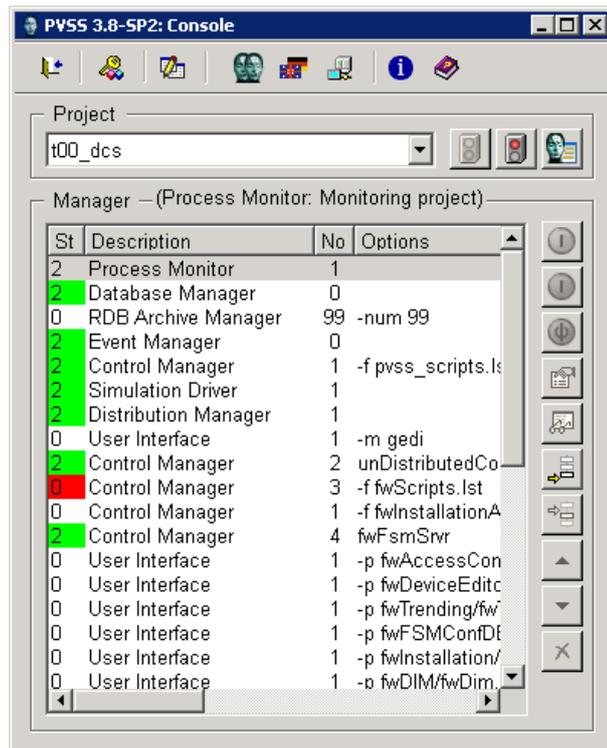


Рис. 9 Панель управления менеджерами проекта

Для взаимодействия между менеджерами используется модуль-ядро (Рис. 10), предназначенный для обмена данными между ними.

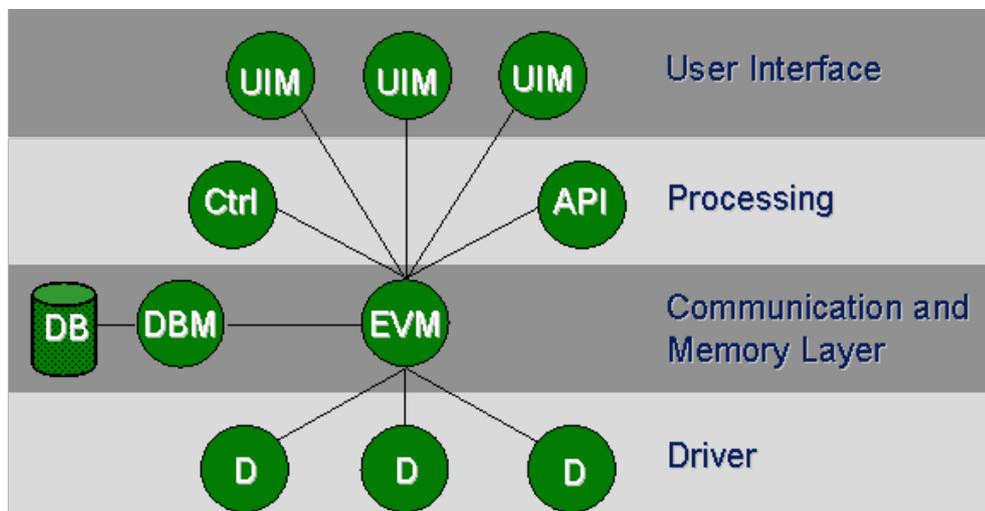


Рис. 10 Схема взаимодействия менеджеров

Очевидно, что если менеджеры могут обмениваться информацией на одном компьютере, можно также организовать передачу данных между удаленными друг от друга компьютерами. На этом основана распределенная система управления.

Распределенная система управления (Рис. 11) позволяет не только разбить одну большую систему управления на несколько маленьких, тем самым улучшив быстродействие. Она также позволяет объединить несколько систем управления различными процессами в одну систему управления всем процессом.

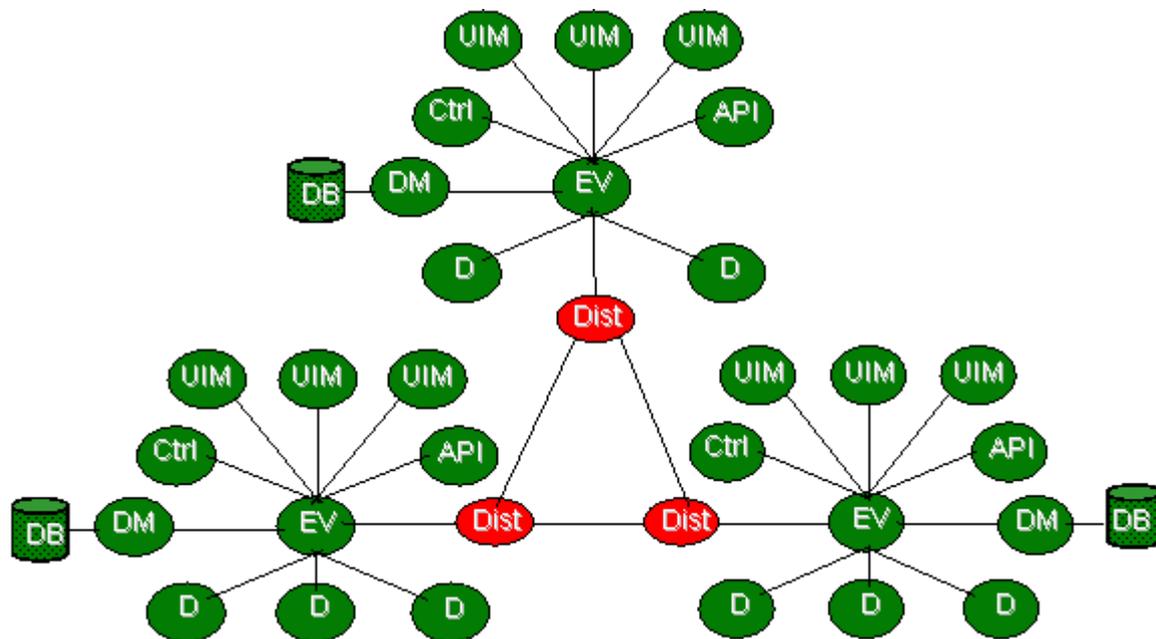


Рис. 11 Схема примера взаимодействия распределенной системы

Основным элементом работы комплекса программ является модуль WCCOARmon. Этот модуль запускает необходимые компоненты и открывает дескрипторы сетевого интерфейса.

Обмен данными между модулями системы WinCC происходит по сетевому протоколу TCP/IP.

Графическая среда разработки системы автоматизированного контроля

Для разработки панелей управления используется модуль графического интерфейса. (Рис. 12)

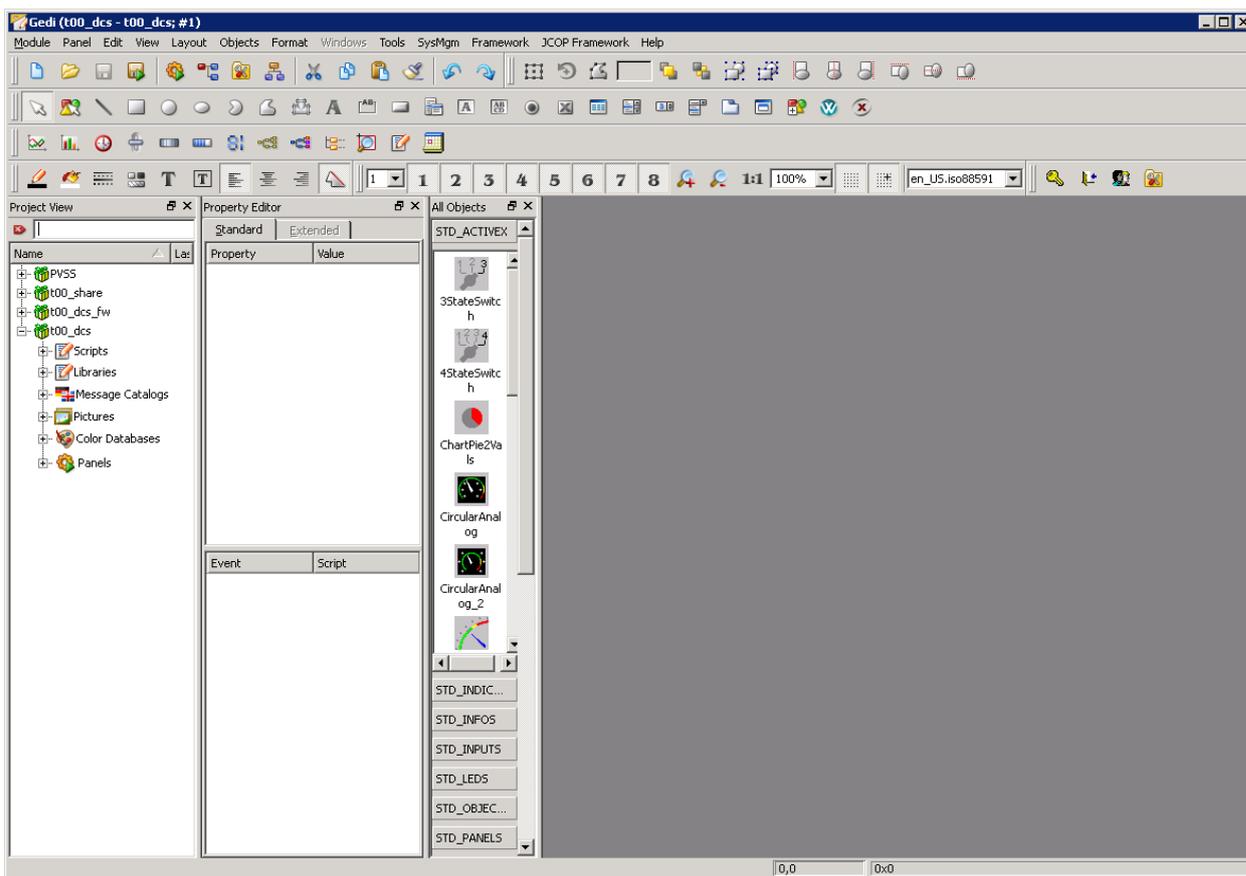


Рис. 12 Панель модуля графического редактора

Менеджер отвечающий за графический интерфейс: WCCOAui.exe

Для запуска панели разработчика в панели администрирования менеджеров используются ключ “-m gedi”.

Также возможно запустить панель разработчика без использования панели администрирования менеджеров, например через командную строку. В таком случае надо указать полный путь к файлу графического интерфейса, а также ключи имени проекта «-proj»), для которого запускается модуль и имя модуля:

<Путь_к_директории>/bin/WCCOAui.exe -proj t00_dcs -m gedi (1)

Когда панель готова, она может быть вызвана без среды разработки, напрямую, используя менеджер пользовательского интерфейса и ключ «-p»:

<Путь_к_директории>/bin/WCCOAui.exe -proj t00_dcs -p <имя_панели> (2)

Для построения системы диспетчерского управления может быть использовано несколько стратегий. Основной метод состоит в построении графического интерфейса для взаимодействия с оператором. В данном подходе

информация обрабатывается непосредственно перед выдачей на терминал оператору.

Если не требуется предоставлять графическую информацию оператору, но необходимо провести обработку некоторых данных, такая задача может быть выполнена с помощью скрипта.

Преимущество исполнения функций управления в скрипте в основном заключается в скорости исполнения, также данный скрипт может исполняться в фоновом режиме, и не может быть прерван действием пользователя. Исполнение скрипта не зависит от наличия пользовательского интерфейса.

Для создания нового скрипта управления в графическом пользовательском интерфейсе нужно выбрать пункт меню Edit, далее Create Ctrl Script. Любой скрипт начинается с исполнения функции main() – это обязательная функция. Готовый скрипт сохраняется в директории /Ctrl.

Подготовленный через графический редактор gedi скрипт может быть передан на исполнение менеджеру WCCOActrl.exe.

<Путь_к_директории>/bin/WCCOActrl.exe <имя_скрипта> (3)

Когда требуется использовать одну и ту же функцию в различных проектах, целесообразно заключить данную функцию в библиотеку.

Чтобы создать новую библиотеку, в графическом пользовательском интерфейсе необходимо выбрать пункт меню Edit далее подпункт Create Ctrl Library.

Библиотеки, написанные на языке CTRL, используют в качестве расширения «.ctl»

По умолчанию все библиотеки создаются в директории проекта /Ctrl/Lib. Это означает, что при использовании новой библиотеки в скрипте, не обязательно указывать путь к библиотеке. Однако чем больше функций интегрировано в проект, тем труднее найти нужную библиотеку. Для организации файлов, можно переместить библиотеку в поддиректорию в той же папке. Тогда для доступа к библиотеке потребуется указать также папку, содержащую файл.

Для подключения библиотеки используется директива #uses

Пример подключения библиотеки из скрипта: #uses “subdir/lib_name.ctl”

Библиотеки могут быть использованы в исполняемых скриптах и панелях управления.

Необходимо помнить, что библиотечные функции используются для вычислений или работы с данными, а также могут быть переданы для использования их в других проектах. Функции, которые отвечают за графический дизайн панели, не могут быть использованы в библиотечных функциях, хотя бы в силу того, что в параллельном проекте имена графических объектов могут ссылаться на совершенно другой по смыслу объект, а значит, действие графической функции могло бы быть непредсказуемым.

База данных WinCC OA RAIMA

Обмен данными между менеджерами, панелями, скриптами и интерфейсами обмена данными происходит через обращение к встроенной базе данных RAIMA.

Графический модуль, визуализирующий представление базы данных можно вызвать командой с ключом «-m»:

```
<Путь_к_директории>/bin/WCCOAui.exe -proj t00_dcs -m para (4)
```

Модели построения пользовательского интерфейса

Для разработчика приложения WinCC предоставляет различные стратегии, наиболее удовлетворяющие специфике конкретной задачи. Можно выделить две наиболее практичные стратегии.

Одна из них заключается в реализации программного кода привязанного к данному графическому интерфейсу. Из плюсов этой стратегии можно отметить следующие моменты, она позволяет в короткий срок получить приложение, готовое к работе, легкость работы с элементами панели. Главный минус такой стратегии, проблема работы в режиме реального времени, при необходимости обработки большого объема данных. Если окно приложения будет закрыто раньше окончательной обработки данных, окончательный результат не будет получен.

Модель графического интерфейса разумно использовать для отображения небольшого объема информации на экране.

Модель исполняемого приложения другой вариант стратегии. Ее суть заключается в исполнении приложения пользователя в режиме реального времени. При этом у пользователя отсутствует прямая возможность остановить приложение. Обмен информации с пользовательской панелью идет через базу данных RAIMA. Таким образом, приложение может обрабатывать большие объемы данных, не расходуя время процессора на прорисовку промежуточного результата, а все функции графической оболочки могут быть переданы на обработку в приложение. К минусам выбора такой системы можно отнести сложность при возможном обращении к одному блоку данных из разных приложений. Должна быть продумана система маркеров и семафоров, чтобы избежать нарушения целостности данных.

Установка WinCC как сервиса ОС Windows

Особенности работы Windows подразумевают наличие пользователя, для запуска программ. Для того, чтобы работа системы управления не прерывалась, если пользователь решит выйти из системы, необходимо, чтобы программа управления запускалась от имени системной учетной записи.

У WinCC есть возможность регистрации приложения в таблице сервисов Windows, чтобы запускать его в фоновом режиме.

В этом режиме, система управления находится в рабочем состоянии, с момента загрузки операционной системы, и не прерывается, если пользователь выходит из системы. Т.к. управляющий менеджерами модуль продолжает работу, любой пользователь может загрузить пользовательский интерфейс и продолжать работу.

Чтобы зарегистрировать WinCC ОА в таблице сервисов, нужно исполнить команду:

<Путь_к_директории>/bin/WCCILpmon.exe –install (5)

Далее необходимо присвоить какой проект будет запускаться по умолчанию:

<Путь_к_директории>/bin/WCCILpmon.exe –set

<Путь_к_проекту>/config/config 1 (6)

Настройка удаленного пользовательского интерфейса

Как было отмечено ранее WinCC позволяет работать с менеджерами проекта удаленно, с другого компьютера, словно они находятся на одном компьютере. На удаленном компьютере необходимо создать новый проект, и выбрать пункт “Remote UI project”. В следующем окне указать имя проекта и путь к директории расположения проекта. В следующем диалоговом окне требуется указать сетевой путь к проекту сервера.

Нет необходимости запускать созданный проект. Интерфейс будет использовать менеджер данных и событий удаленного проекта.

Когда новый проект готов можно запускать пользовательский интерфейс для удаленного проекта.

```
<Путь_к_директории>WCCOAui.exe -data remote_pc -event remote_pc -proj  
current_project_name -m gedi (7)
```

Данная команда позволяет запустить среду графической разработки.

Параметры конфигурации можно передать через ключ -proj, в таком случае будет взята стандартная конфигурация выбранного проекта “%WinCC_HOME%\config\config”. Если необходимо передать отличную от стандартной конфигурацию, надо указать путь к конфигурации через ключ -config.

Для эксперимента ALICE, используется дополнительный пользовательский интерфейс, параметры которого хранятся в файле конфигурации dcsUi.config. Чтобы обеспечить корректное представление информации в пользовательском интерфейсе, данный файл конфигурации должен быть скопирован в директорию конфигурации проекта.

2.3 Настройка программного обеспечения

Прежде чем многие функции станут доступны для разработчика, необходимо провести настройку приложений.

Каркасное расширение функционала Framework

Расширение базового функционала системы WinCC может быть выполнено установкой каркасного компонента framework, разработанного группой EN.

В установки расширений необходимо скопировать архив в директорию проекта и запустить установщик из панели графического интерфейса. Панель установщика приведена на рисунке (Рис. 13).

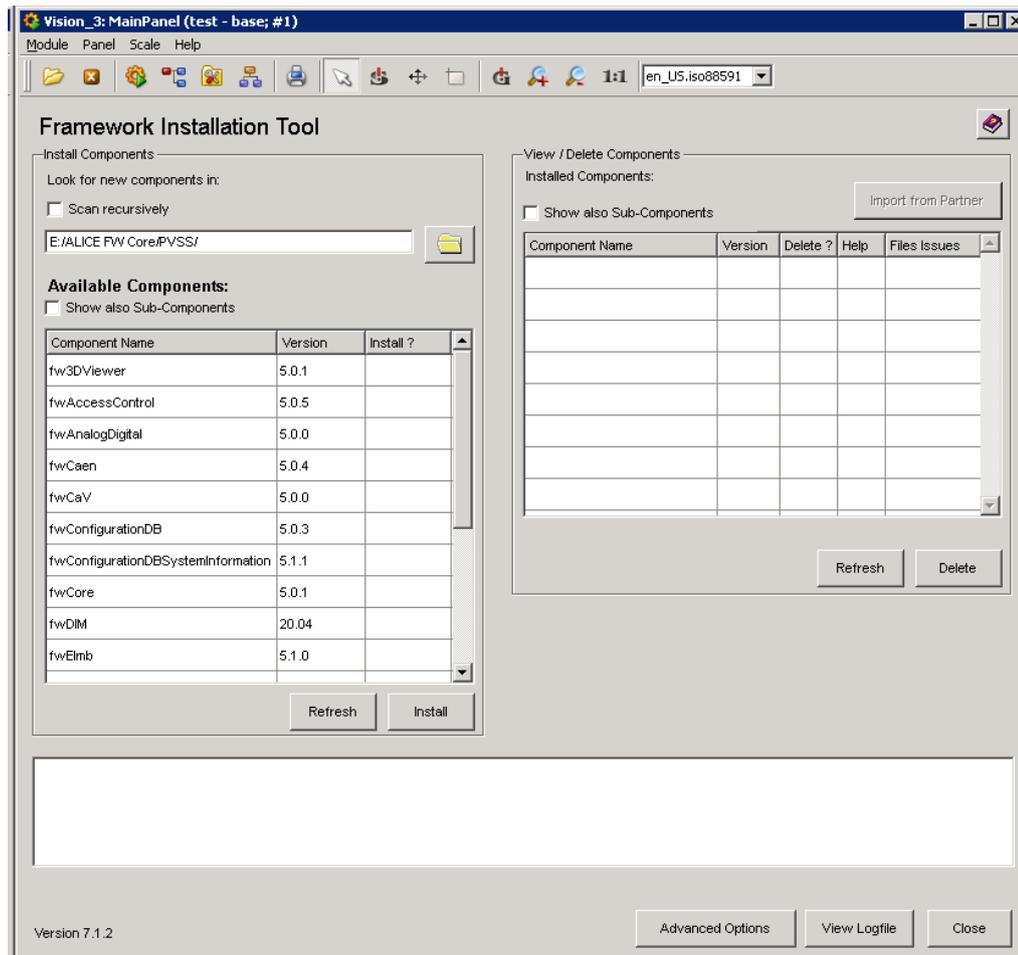


Рис. 13 Панель установки каркасных расширений

Каркас расширения состоит из модулей, которые могут быть установлены индивидуально. Некоторые модули являются зависимыми от других каркасных расширений, о чем предупреждается при установке.

В каркасные расширения входят компоненты для управляемого крейта питания CAEN, компоненты для крейтов Wiener и ISEG, компоненты для шины CanBus и управления ELMB. Компоненты для интерфейсов DIM и DIP.

Модуль каркасного расширения ConfigurationDB

Условия проведения эксперимента могут меняться. В качестве примера можно провести возможность проведения эксперимента при различной напряженности магнитного поля соленоида L3. Для детектора T0 значение магнитного поля является важным параметром, т.к. магнитное поле воздействует на фотоэлектронные умножители, приводя к падению выходных амплитуд. Компенсация падения напряжения реализуется в системе управления, средствами создания predetermined загрузочных параметров, которые называются файлами конфигурации.

WinCC OA имеет возможность делать записи в центральную базу данных DCS эксперимента ALICE с помощью библиотеки модуля каркасного расширения. База данных DCS эксперимента ALICE основана на базе данных Oracle.

Для доступа к базе данных требуется провести настройку и создать запись с параметрами доступа к базе данных. Для детектора T0 необходимо через Device Editor and Navigator в режиме редактирования выйти в контекстное меню через правую кнопку мыши и выбрать пункт «Configuration DB». Там создать новую запись, со следующими параметрами:

- DB name: alice-pvss
- User: t00pvss
- Password: ****

Далее, если все верно, после нажатия на кнопку «try to connect» устанавливается соединение.

Для новой системы необходимо создать «Recipe type», это шаблон занесения данных в базу данных, так среди множества доступных данных в одном элементе Dr можно выбрать ограниченный набор.

Для детектора T0 были выбраны параметры, которые необходимо хранить в базе данных, чтобы при необходимости произвести настройку каналов детектора. Эти параметры ассоциированы с записью «Recipe type». В выбранные параметры входят:

- Значения напряжения и предельного тока для высоковольтной системы;
- Значения напряжения и предельного тока для низковольтной системы;
- Значения параметров формирователя временных сигналов с динамическим порогом;
- Значения пикосекундных задержек сигнала;
- Значения открытых каналов OR;
- Значения параметров формирователя временных сигналов с постоянным порогом;
- Значения настроек счетчика;
- Значения параметров триггерных блоков MPD, TVDC, TOTU;
- Значения параметров блоков GRGM и разветвителя сигнала Busy;
- Значения выравнивающей задержки для лазерной системы.

Записи параметров хранятся в нескольких конфигурациях, называемых «resipe». Использование той или иной записи зависит от условий проведения эксперимента. Основным критерием выбора конфигурации является наличие магнитного поля, создаваемого магнитом L3.

Панель конфигурации в ручном режиме представлена на рисунке (Рис. 14).

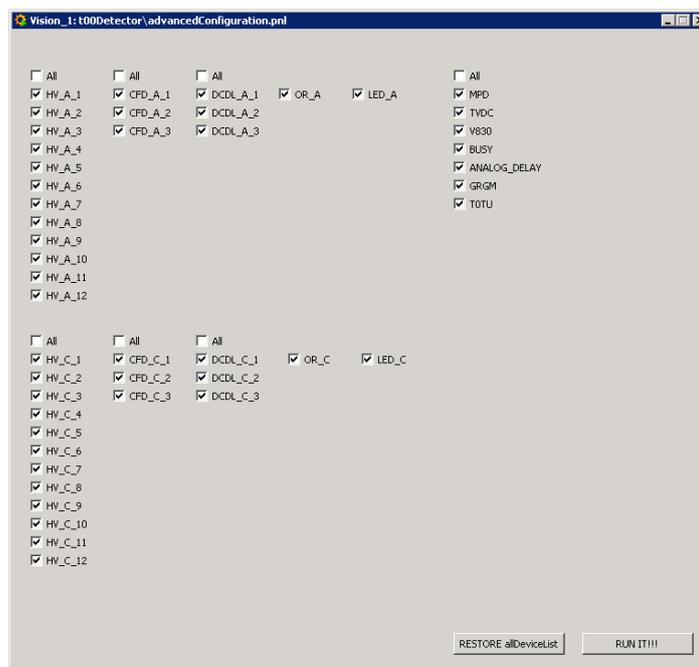


Рис. 14 Панель начальной конфигурации

Панель позволяет выбрать каналы, которые будут считаны и внесены в базу данных. Данная панель является удобным дополнением к каркасному дополнению WinCC OA, так как она дополняет базовые записи базы данных переменных, переменными проекта и позволяет применять фильтр на запись каналов. Благодаря возможности фильтра каналов можно не только создать новую запись с необходимыми параметрами, но и применять значения из записи только для тех каналов, которые были изменены. Следующая панель производит непосредственную запись или чтение из базы данных. (Рис. 15)

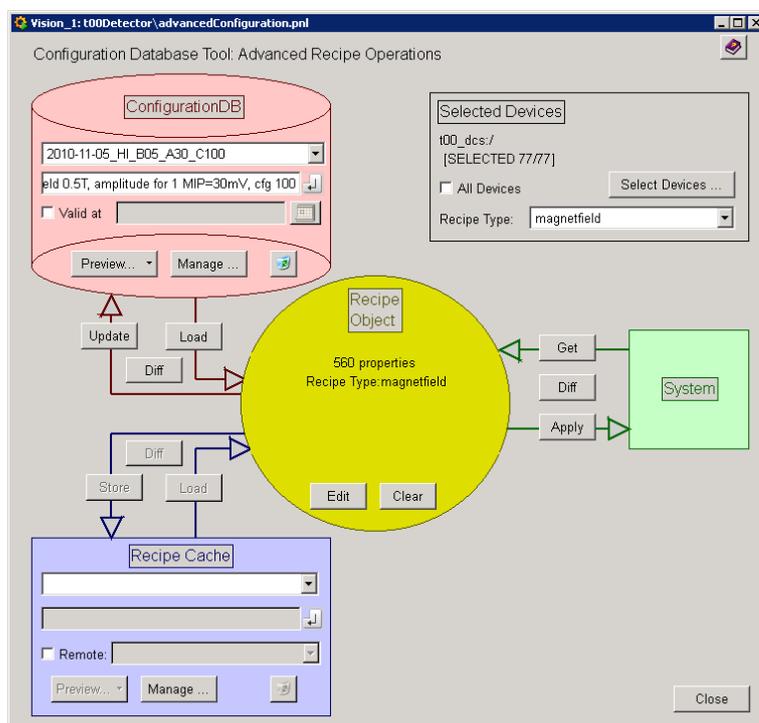


Рис. 15 Панель конфигурации параметров детектора

Имя записи формируется по следующей схеме:

Год-Месяц-Дата _Тип Сеанса _Значение магнитного поля _Амплитуда для 1МИП _Конфигурация электроники

Такая запись позволяет найти среди множества записей нужную.

Во время работы ускорителя, перед набором данных, конфигурирование детектора происходит в автоматическом режиме. Для этого имя подходящей конфигурации берется из базы данных WinCC.

Настройка архивирования параметров

Эксперимент ALICE имеет собственную базу данных DCS для архивирования переменных, характеризующих условия проведения эксперимента. Периодичность записи параметров в базу данных определяется в настройках к каждой индивидуальной записи в базе данных RAIMA.

На рисунке (Рис. 16) представлен вариант настройки архивирования показаний тока потребления одним из фотоумножителей.

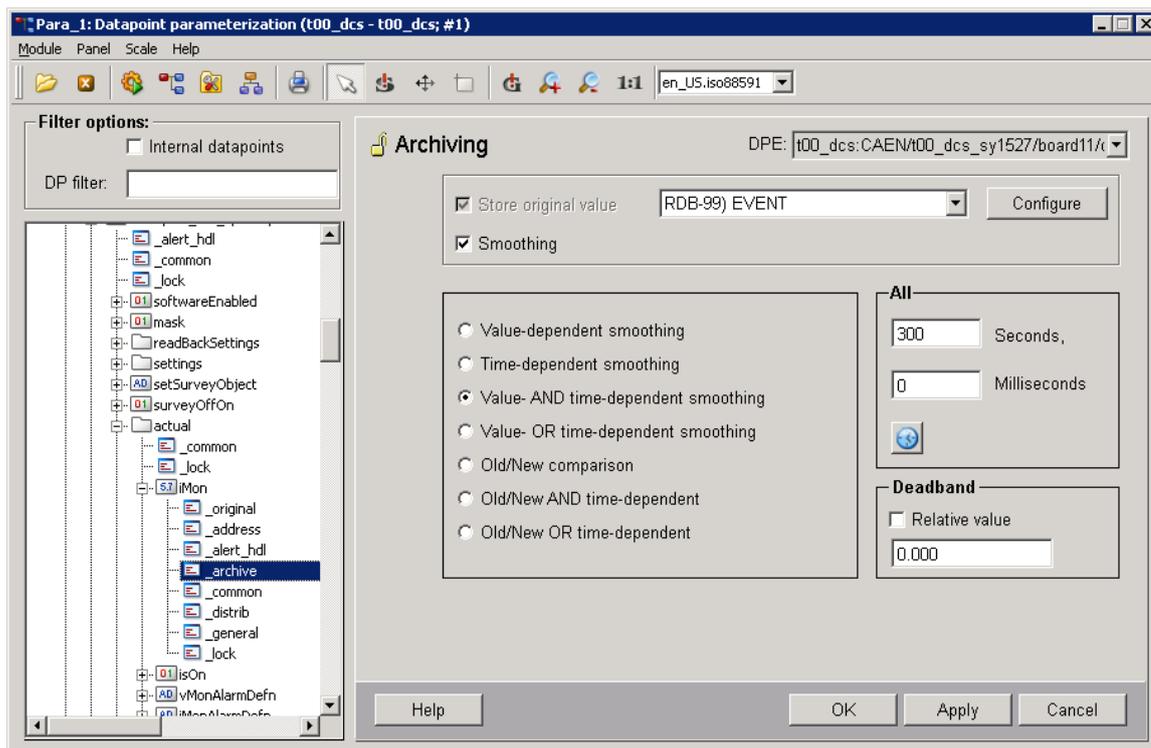


Рис. 16 Панель настройки архивирования параметров

Доступ к панели настройки производится через панель базы данных RAIMA, по следующей схеме:

- Открыть тип записи базы данных, data point type;
- Открыть запись базы данных, data point;
- Открыть элемент записи базы данных, data point element;
- Открыть параметр `_archive`.

Следующие параметры обозначают:

- `Store original value`: имя базы данных для хранения переменных

- Smoothing: использовать один из типов активации записи в базу данных, представленных ниже
 - Value-dependent smoothing – запись зависит только от значения
 - Time-dependent smoothing – запись зависит только от времени
 - Value and time dependent smoothing – запись зависит от времени и от значения
 - Value or time dependent smoothing – запись зависит от значения или времени
 - Old/new comparison – запись зависит от разницы старого и нового значения
 - Old/new and time dependent – тоже и от времени
 - Old/new or time dependent – тоже или от времени
- All – Время срабатывания триггера на запись события
- Dead band – Шаг срабатывания триггера на запись, может быть прямым или относительным

Для подключения базы данных архивации необходимо внести в файл конфигурации следующий код:

```

useRDBArchive = 1
useRDBGroups = 1
[ValueArchiveRDB]
DbUser = "t00arch"
DbPass = ""
Db = "alice_pvss"
DbType = "ORACLE"

```

Настройка тревожных сообщений

Для информирования оператора о критической ситуации была проведена настройка тревожных сообщений. Когда параметры оборудования выходят за пределы, обозначенные в системе реагирования границы, на специальную панель выводятся тревожные сообщения. По сообщению можно определить, какой

параметр находится за границей безопасности. Также для каждого выявленного случая опасности приводится документ с описанием последовательности действий для нейтрализации угрозы.

Панель настройки параметров архивации представлена на рисунке (Рис. 17).

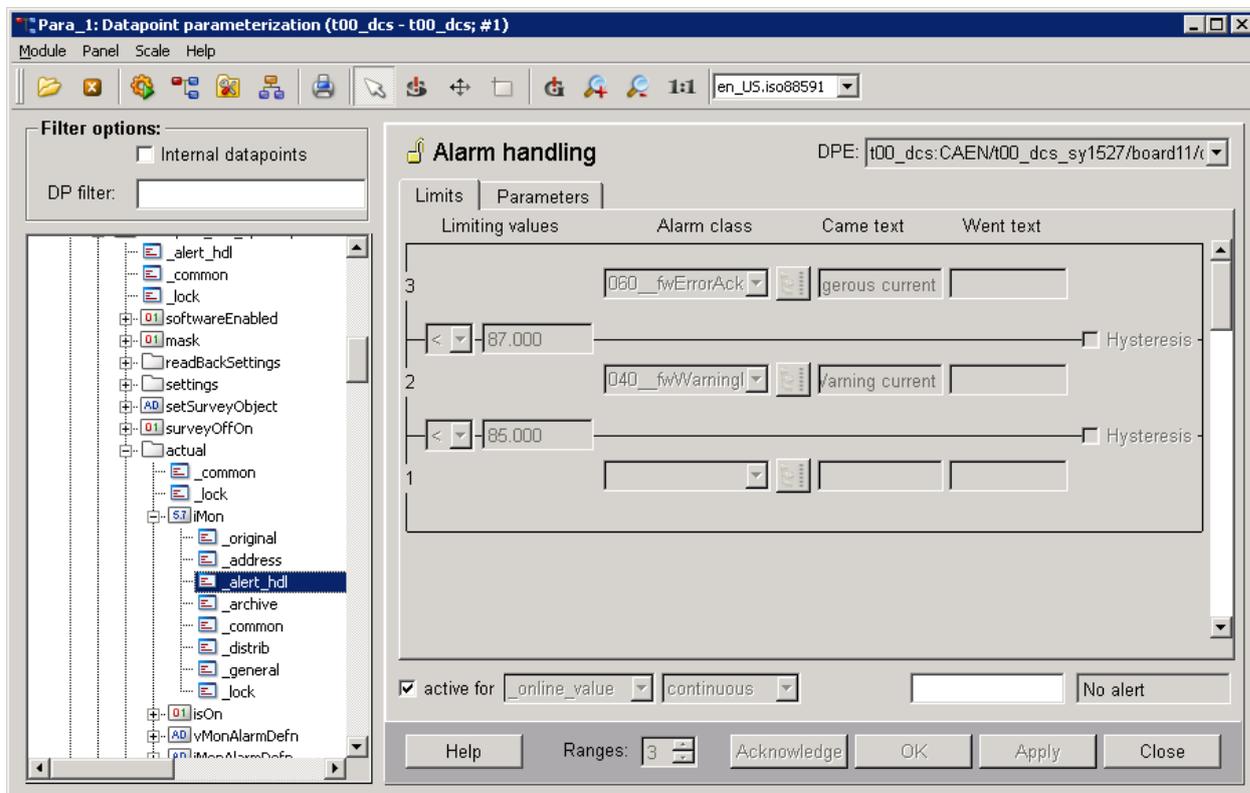


Рис. 17 Панель настройки формирования тревожных сообщений

Доступ к панели осуществляется через обращение к параметру «_alert_hdl» в базе данных RAIMA.

Панель настройки позволяет определить количество уровней тревожных сообщений, максимум 5. Один из уровней должен соответствовать рабочему режиму. В параметрах «Limiting values» устанавливается порог перехода на следующий уровень в абсолютных значениях, для которого уже следует указать «Alarm class», это уровень опасности. Всего есть 3 уровня опасности:

- Предупреждение Warning;
- Ошибка Error;
- Критическая ошибка Fatal.

Эти уровни также содержат параметр подтверждения «acknowledge». Это параметр позволяет определить, нужно ли ожидать подтверждения получения оператором. Если параметр не задан, то ошибка исчезнет сразу если наблюдаемый параметр вернется в допустимые пределы.

В окошке «Same text» пишется сообщение для оператора, дающее представление о типе возникшей ошибки. В случае, если ошибка ушла, но требует подтверждения прочтения оператором, также следует вписать текст в поле «Went text».

2.4 Настройка управляемого оборудования детектора

После установки системы управления и контроля необходимо установить необходимые драйверы для используемого оборудования.

Некоторое оборудование требует дополнительного программного обеспечения такого как OPC сервер. Для корректной работы такого сервера требуется создать или модифицировать файл конфигурации, в котором, обычно, указывается соответствие адреса данных некоторому логическому имени, используемому в системе обработки информации.

Настройка крейта CAEN SY1527

Магистральный-модульный крейт SY1527 позволяет создать индивидуальный набор системы питания с централизованной системой управления.

В зависимости от требований детектора, могут быть выбраны несколько управляемых модулей высоковольтного или низковольтного питания. Для детектора T0 требуются 24 высоковольтных каналов питания и 4 канала низковольтного питания. Также для детектора T0 требуется специальная система для управления питанием крейта VME с индивидуально разработанной платой магистральной шины.

Обращение к крейту SY1527 осуществляется через OPC сервер, предоставляемый фирмой CAEN.

После установки пакета приложения, необходимо запустить программу конфигурации, которая однозначно создает привязку крейта к логическому имени. Интерфейс программы конфигурации представлен на иллюстрации (Рис. 18)

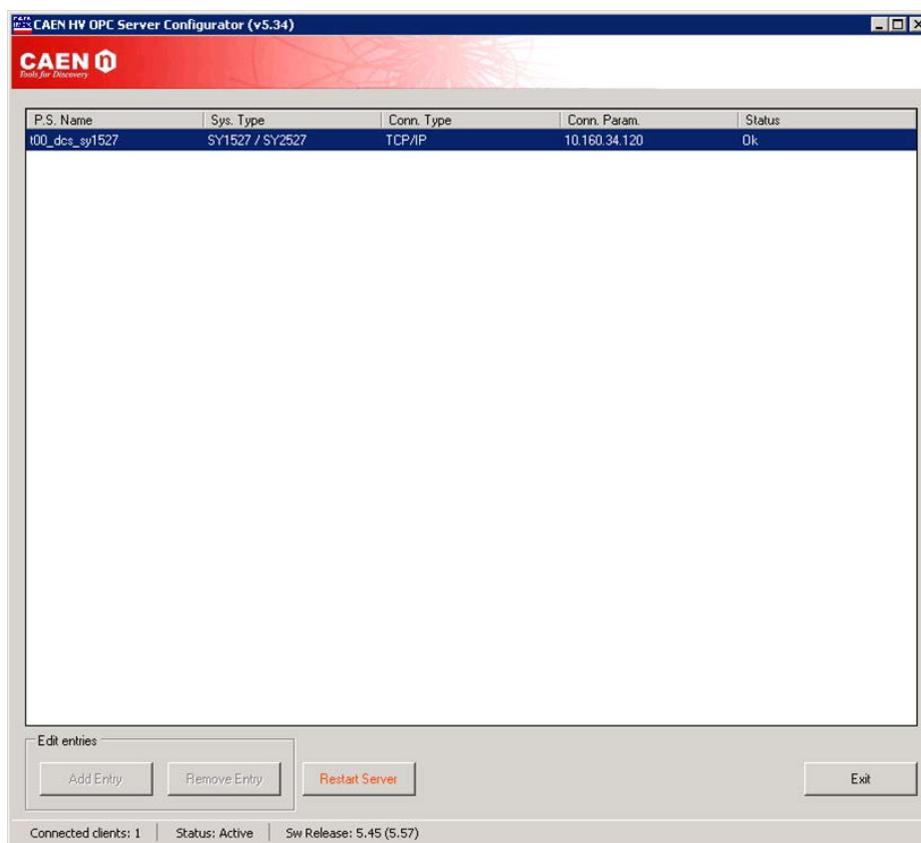


Рис. 18 Интерфейс программы конфигурации CAEN

Крейт питания имеет несколько интерфейсов обращения. Среди них человеко-машинный интерфейс (HMI), подключение по последовательному порту, подключение по локальной сети. Именно подключение по локальной сети выбрано как универсальный метод обращения к крейту.

Когда логическое имя крейта привязано к IP адресу устройства, требуется установить пакет fwCAEN из пакета каркасного расширения. Данный пакет устанавливает в панели управления менеджерами проекта 2 новых элемента, симуляцию и OPC клиент. Номер драйвера для пакета fwCAEN устанавливается равным 6.

При содействии приложений каркасного расширения создается конфигурация каналов управления. Физическая адресация каналов управления состоит из имени крейта, номера модуля, номера канала. Каналы, нуждающиеся в

управлении, описываются с помощью панели из пакета каркасного расширения. На рисунке (Рис. 19) показана панель конфигурации.

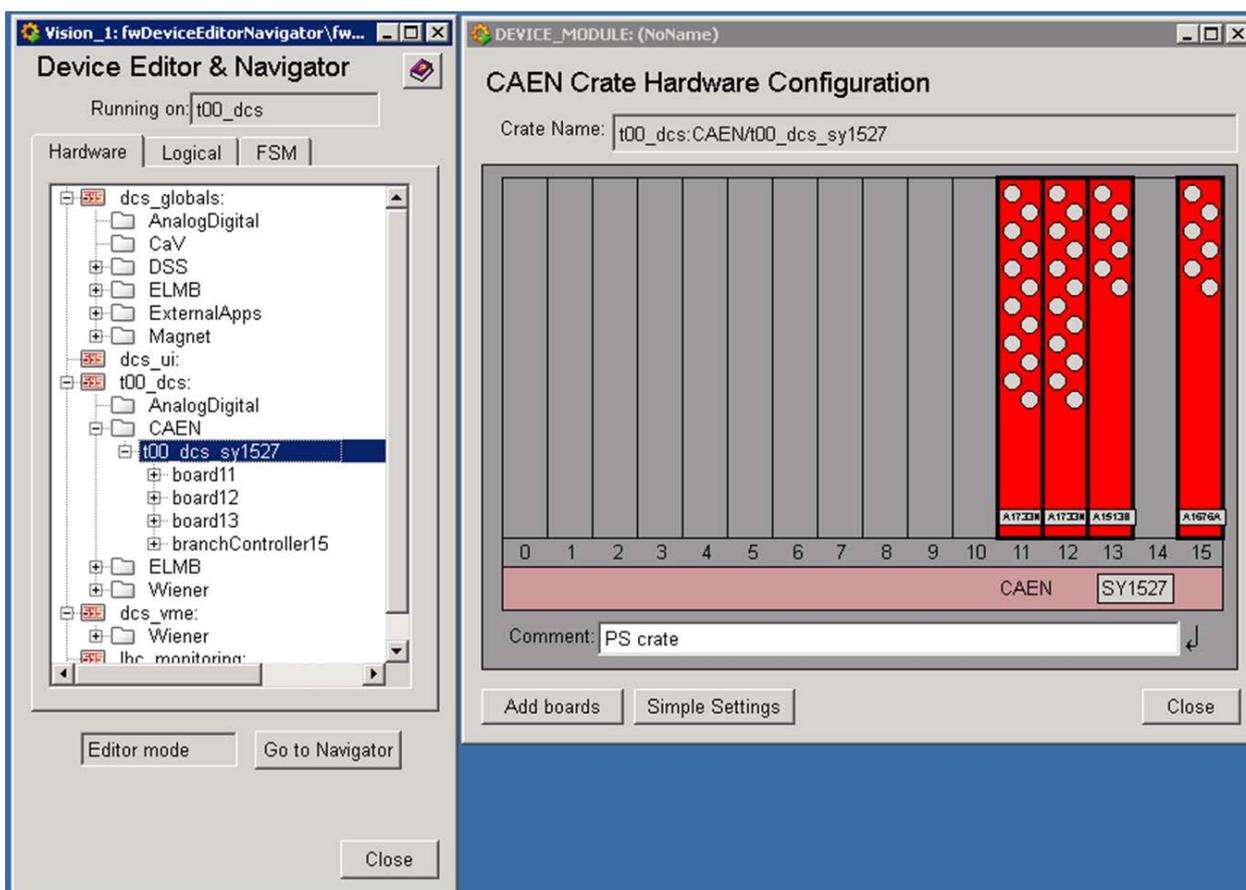


Рис. 19 Панель управления электроникой CAEN из каркасного расширения

Каждый канал обладает тремя типами информации, устанавливаемая информация, записанная в модуль информация и реально считанное состояние канала. устанавливаемая информация может быть сравнена с записанной, для того, чтобы исключить одновременное управление с панели НМІ и удаленного доступа.

При проектировании панели управления необходимо привязать логический адрес выбранного канала к соответствующему объекту. Для отображения реального состояния канала привязать считываемое значение канала к модулю визуализации (график, цифровое поле, тактовое поле). Устанавливаемое значение привязывается к объекту тактового поля и для большей защищенности системы изменения принимаются по нажатию кнопки.

Настройка ELMB

Разработанная в CERN платформа ELMB используется для оцифровки входящих аналоговых сигналов также используется в детекторе T0 для контроля значений порогов формирователя со следящим порогом. Платформа ELMB представлена на рисунке (Рис. 20)

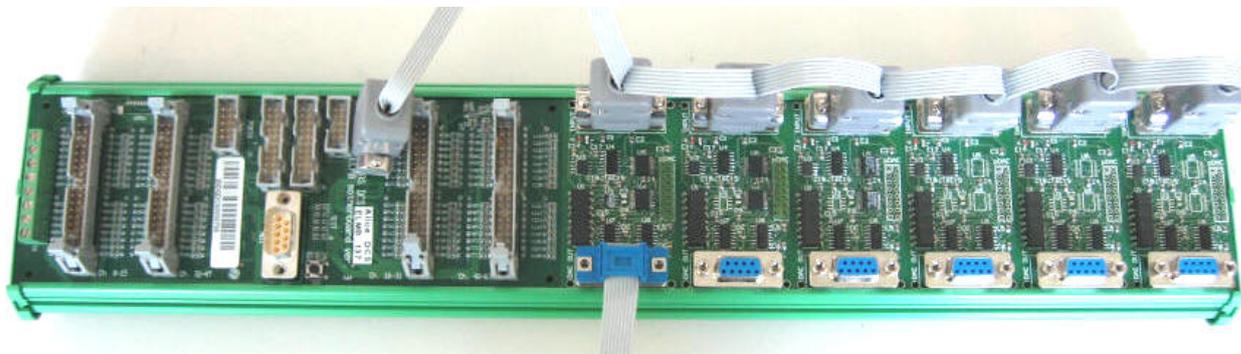


Рис. 20 Платформа ELMB с модулями DAC

Данная платформа предназначена в основном для оцифровки аналоговых сигналов АЦП. Для детектора T0 требуется возможность выставлять значения для регулировки порогов формирователя. Для этой цели была разработана плата расширения DAC для платформы ELMB. Она использует двоичные входы для передачи цифрового сигнала и преобразования в аналоговую форму на выходе DAC.

Для связи с платформой ELMB используется протокол обмена данными CanBUS.

Для обращения к протоколу CanBUS используется устройство сопряжения, преобразующее логические сигналы CanBUS в интерфейс последовательной передачи USB. Это устройство сопряжения называется SystecBox. Оно позволяет осуществлять передачу до 8 каналов CanBUS, используя одно подключение USB. Для работы устройства требуется установить драйвер.

Драйвер позволяет организовать обмен данными по CanBUS используя подключение USB. Следующий этап установить протокол CanBUS. В эксперименте ALICE используется набор драйверов CanOpenOPC.

Чтобы добавить в систему управления возможность коммуникации с платформой ELMB нужно установить пакет fwELMB из пакета каркасного расширения. Данный пакет не имеет поддержки у группы IT/CO/BE, разработкой пакета занимается группа эксперимента ATLAS.

При установке пакета будут добавлены элементы в панель управления менеджерами проекта. Первый элемент симуляции, второй OPC клиент. Для платформы ELMB назначен номер драйвера 7. Начальные операции регистрации элементов проводятся при включенной симуляции. В начале надо создать схему подключения каналов, которая имеет следующие составляющие: Номер шины CanBUS, ID устройства ELMB, настройки канала. Схема подключения создается в виде дерева элементов в приложении Device Editor and Navigator (DevEN). Данные, полученные после оцифровки, требуется откалибровать. В системе управления имеется возможность назначить функцию преобразования данных из кода в правильный формат данных.

После того, как структура данных будет подготовлена, из дерева структуры (DevEN) нужно воспользоваться функцией создания файла конфигурации. Данный файл необходимо скопировать в директорию OPC сервера. Когда дерево элементов создано, и конфигурация записана в директорию OPC сервера, необходимо включить менеджер OPC клиента.

Запуск клиента вызовет запрос на запуск сервера с конфигурацией, «OPCCanServer.cfg» которая была скопирована в директорию приложения.

Настройка магистрального крейта VME WIENER

Управление крейтом осуществляется через протокол CanBUS. Для интеграции элементов управления крейтами VME требуется установить приложение WienerOPC, а также пакет fwWiener из каркасного расширения.

После установки fwWiener в панели управления менеджерами проекта добавятся 2 элемента симуляция и клиент OPC. Для драйвера Wiener назначен номер 14.

Операции по созданию дерева элементов управления крейтов требуется создавать при запущенной симуляции. В приложении DevEN создается структурное дерево элементов, состоящее из номера CanBUS порта, ID устройства CanBUS, и элементов управления. Когда структура создана, из панели DevEN должна быть создана структура конфигурационного файла «WienerOPCS.cfg», который затем следует перенести в директорию OPC сервера.

Для крейта VME имеется возможность наблюдения за напряжениями каналов питания магистральной шины, температурой блока питания и температурных сенсоров, подключаемых к 8 доступным входам. В блоке питания устанавливается порог экстренного отключения питания в случае повышения температуры. Однажды, вследствие нарушения подачи водяного охлаждения в шахте во время работы ускорителя, была отключена подача питания на модули электроники в крейтах. Электроника детектора оставалась выключена и избежала перегрева.

В группе ALICE DCS был создан компонент каркасного расширения fwVME, который добавляет в систему панели управления крейтами и создает записи для конечного автомата FSM. Унифицированные панели позволяют легче ориентироваться оператору центральной системы в панелях управления, разрабатываемых экспертами детекторов.

Настройка магистрального крейта считывающей электроники

Одним из компонентов системы питания является питание специального крейта считывающей электроники. Магистральная шина данного крейта выполнена в стандарте VME, но на магистральной шине есть модификации. Крейт конструктивно выполнен с возможностью водяного охлаждения модулей считывающей электроники (Рис. 21), для чего ребра модулей имеют теплообменные пластины и при установке должны быть обработаны теплообменной пастой типа КПТ-8 или аналогом, и далее закреплены расширительными зажимами при помощи шестигранного ключа дюймового размера 3,5.

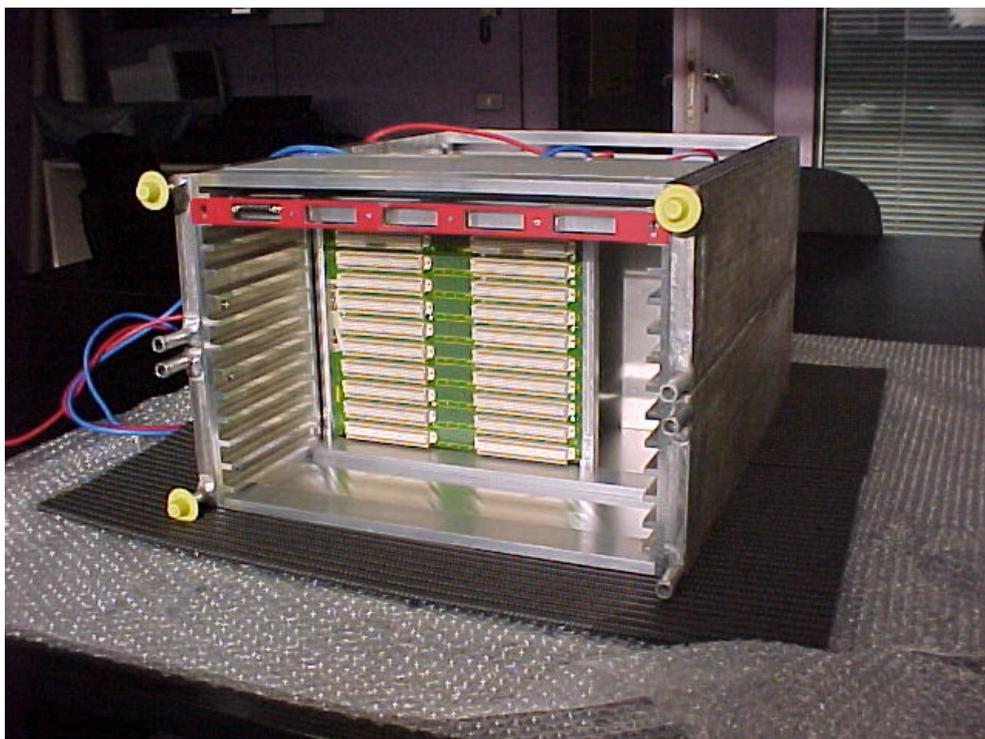


Рис. 21 Магистральный крейт считывающей электроники

Данный крейт специально изготовлен для детектора TOF. Детектор TOF использует схожую методику сбора данных, поэтому, для снижения стоимости проекта за счет разработки, была выбрана считывающая электроника детектора TOF для использования в детекторе T0.

Для питания магистральной шины используются мощные низковольтные источники питания. Они подключены к низковольтному фильтру. Фильтру необходимо подавать напряжение 48В по 2 независимым линиям. Одна линия называется сервисная, другая силовая. Подача силовой и сервисной линии, а также управление каналами ведется через Branch controller v1676, который находится в магистральном крейте SY1527.

Контроллер v1676 определяется крейтом SY1527 при установке, далее необходимо создать привязку к физическим адресам, для управления каналами крейта. Карта привязки может быть создана в приложении фирмы CAEN. Когда карта привязки создана, ее необходимо загрузить в модуль контроллера, как прошивку. Для переноса файла необходимо передать файл через TFTP протокол.

Сервер TFTP может быть организован на основе бесплатного, открытого приложения PumpKIN.

Если загрузка прошла успешно, можно управлять включением питания.

Управление питанием осуществляется по следующей схеме. Для включения подается питание сервисной линии 48В, питание силовой линии 48В, питание 5В, питание 3,3В. Для выключения каналов действовать нужно в обратной последовательности.

Настройка системы лазерной калибровки

Система лазерной калибровки состоит из:

- 45 нс. лазера PIL040G
- управляемого оптического аттенюатора с последовательным COM интерфейсом OZ optics (DA-100)
- адаптера, COM – Ethernet
- системы распределения лазерного сигнала по ФЭУ.

На рисунке (Рис. 22) представлен 45 нс. лазер.



Рис. 22 Лазер (PIL040G) с длиной светового импульса 45 нс.

Лазер имеет вход для внешнего триггерно сигнала. Он формируется системой состоящей из электронных блоков, которые определенным образом преобразуют сигнал с центральной триггерной системы в триггерный сигнал для лазера. Аттенюатор ослабляет световой поток от лазера в заданное число раз. Значение

ослабления светового потока может задаваться как на приборном пульте управления, так и удаленно через последовательный интерфейс.

Аттенюатор управляется через протокол последовательной передачи данных RS232. Длина кабеля используемого для передачи данных при использовании этого протокола составляет до 20 м. Данное ограничение дистанции от компьютера до устройства можно обойти, если использовать адаптер, который позволяет осуществлять передачу последовательных данных через другой, более современный интерфейс.

На рисунке (Рис. 23) представлен управляемый аттенюатор.



Рис. 23 Оптический аттенюатор Oz optics DA-100

Для лазерной системы управления детектора Т0 был взят адаптер DiGi One SP фирмы DIGI. Это адаптер интерфейса LAN для последовательного порта COM. Прибор DiGi One SP показан на рисунке. (Рис. 24)



Рис. 24 Устройство сопряжения последовательного порта с локальной сетью

Адаптер DiGi One SP имеет следующие характеристики:

- Последовательный порт стандарта RS-232/422/485, разъем DB-9M
- Ethernet port 10/100 Mb/s
- Напряжение питания 12 В
- Энергопотребление максимум 6В

Настройка устройства производится через HTTP интерфейс.

После установки драйверов устройства, на компьютере появляется виртуальный COM порт. Работа с виртуальным последовательным портом, происходит также, как с физическим. При запуске приложения необходимо зарезервировать порт, открыв его, после окончания работы освободить для последующих обращений.

Аттенюатор принимает команды в определенном формате:

- “A40.00/n/r” установить значение ослабления в 40,00 дБ

Зная формат строки ответа, можно проводить анализ ответного сообщения для последующего отображения информации на панелях оператора.

2.5 Панели управления детектора T0

Электронные блоки, используемые в детекторе T0 интегрированы в общую систему управления, для предоставления возможности оператору проводить дистанционную настройку параметров детектора. Временное разрешение детектора составляет порядка 50 нс, для поддержания данной характеристики в

заданном интервале, требуется возможность настраивать временные характеристики сигналов с шагом порядка 10 пс. Столь малый интервал обеспечивается средствами цифровой электроники, благодаря встроенному интерфейсу обмена данными оператор может дистанционно, с высокой точностью поправить характеристики, в случае ухода от заданного параметра.

Часть модулей электроники выполнены в магистрально-модульном стандарте VME. Управление модулями в данном случае осуществляется через оптический контроллер крейта.

Для каждого модуля электроники реализован единый алгоритм ввода данных в модуль. Алгоритм управления реализован так, что изменения не поступают немедленно в модуль, а ожидают подтверждения окончания ввода, путем нажатия кнопки Apply в правом нижнем углу. Для того, чтобы различить реальные данные, от новых, желаемых, введена цветовая кодировка. Зеленым цветом подсвечивается поле с реальными значениями, синим цветом подсвечивается измененное поле, но не принятые изменения, и красным цветом подсвечены поля, имеющие проблемы либо исключенные из физического набора данных.

Электронный модуль CFD не имеет собственной системы управления, для него была разработана и установлена система на основе устройства ELMB.

Доступ к панелям производится через обращение к каркасному расширению FSM. В FSM организована структура подсистем детектора, объединенных общим назначением.

Модули управления детектором и его временным разрешением объединены в разделах T00 SIDE A и T00 SIDE C, для сборок A и C соответственно.

Модули, выполняющие общие для всего детектора функции объединены в раздел T00 L0 input generator. В данном разделе находятся панели управления трех модулей. busy, GRPG, блока аналоговых задержек.

Панель управления модулем управляемых цифровых задержек

Один модуль управляемых задержек содержит 4 управляемых канала. Каждый канал позволяет задерживать входящий сигнал на время до 10230 пс с шагом 10 пс.

Модуль аналоговых задержек имеет управляемый интерфейс управления, реализованный на шине VME. Размер шины данных 16 бит, размерность адреса 16 бит. Управление осуществляется записью 10 битного кода в выбранный канал (0 – 1023). Всего доступно 4 канала для записи, и 5 канал – статусный регистр, только для чтения. Увеличение задержки на один бит соответствует задержке сигнала на 10 пс.

Базовые адреса управления для 6 модулей:

- FF00₁₆ – задержка 1 на стороне А, каналы 1-4;
- FEC0₁₆ – задержка 2 на стороне А, каналы 5-8;
- FE80₁₆ – задержка 3 на стороне А, каналы 9-12;
- FE40₁₆ – задержка 1 на стороне С, каналы 1-4;
- FE00₁₆ – задержка 2 на стороне С, каналы 5-8;
- FDC0₁₆ – задержка 3 на стороне С, каналы 9-12.

Для управления блоком цифровых задержек была разработана панель, представленная на рисунке. (Рис. 25)

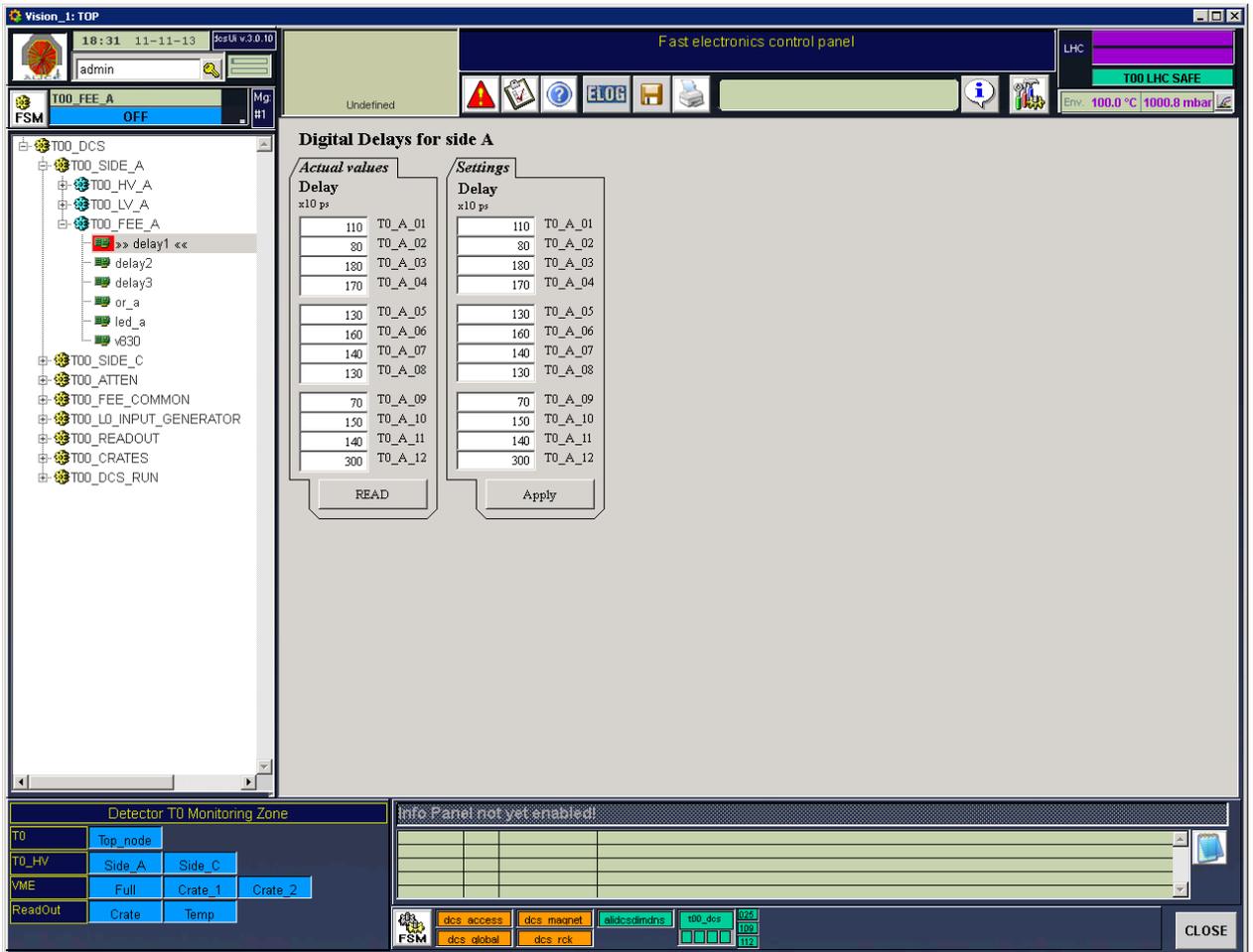


Рис. 25 Панель управления блоком цифровых задержек

На панели имеется 12 полей, соответствующих каналам. Для каждого канала имеется возможность независимо изменять параметр задержки сигнала.

Левая часть панели показывает значения, записанные в модуль задержки. Правая часть панели предназначена для изменения значения задержки и последующего занесения этих данных в модуль. При изменении значения задержки, поле будет подсвечено синим, подсказывая, в каком поле были сделаны изменения. Когда пользователь готов записать новые параметры в модуль, необходимо нажать на кнопку APPLY, новые данные будут занесены в модуль и цветовая подсказка исчезнет. В случае, если пользователь сделал изменения, но не подтвердил их командой APPLY, и покинул панель, изменения не вступят в силу. При следующем обращении к панели поля значений записанных в модуле будут подсвечены оранжевым цветом, индицируя несоответствие записанных значений значениям установочным. В таком случае следует либо принять изменения

установленных параметров, либо отменить изменения, скопировав записанные значения в поля установки, для этого нужно нажать кнопку READ.

Панель управления модуля «или»

Блок «Или» располагает 12 управляемыми входами. Функция управления реализована на шине VME. Адресная шина – 16 разрядная, шина данных – 16 разрядная.

Модуль позволяет маскировать входы сигналов. Для чтения и записи доступен один регистр по базовому адресу. В регистр записывается 12 битный код. Запись единичного бита в регистр маскирует соответствующий входа. При всех единицах в 12 разрядах, т.е. всех закрытых входах, при чтении выдается единичный бит в 16 разряде, предупреждающий, что модуль не выдает выходного сигнала, так как все входы закрыты $[8FFF_{16}]$.

Базовый адрес используемых модулей:

- $FD00_{16}$ – модуль на стороне А;
- $FC80_{16}$ – модуль на стороне С.

Панель управления позволяет открывать или закрывать выбранные каналы для логики выбора первого пришедшего сигнала. На панели имеются две области, область записанных в модуль значений и область установки. Зеленая стрелка означает, что канал открыт для логического выбора сигнала, при красном крестике, канал не участвует в логике отбора.

При нажатии на зеленую стрелку в области установки иконка меняется на голубой крестик, что означает, что изменение внесено, но не подтверждено пользователем. Если канал был закрыт, т.е. иконка содержала красный крестик, она поменяется на голубую стрелку. Для того, чтобы подтвердить сделанные изменения, пользователю необходимо нажать на кнопку APPLY. После этого, иконки поменяют свой цвет с голубого цвета на цвет и знак соответствующий новому состоянию.

На рисунке (Рис. 26) представлена панель управления модулем OR.

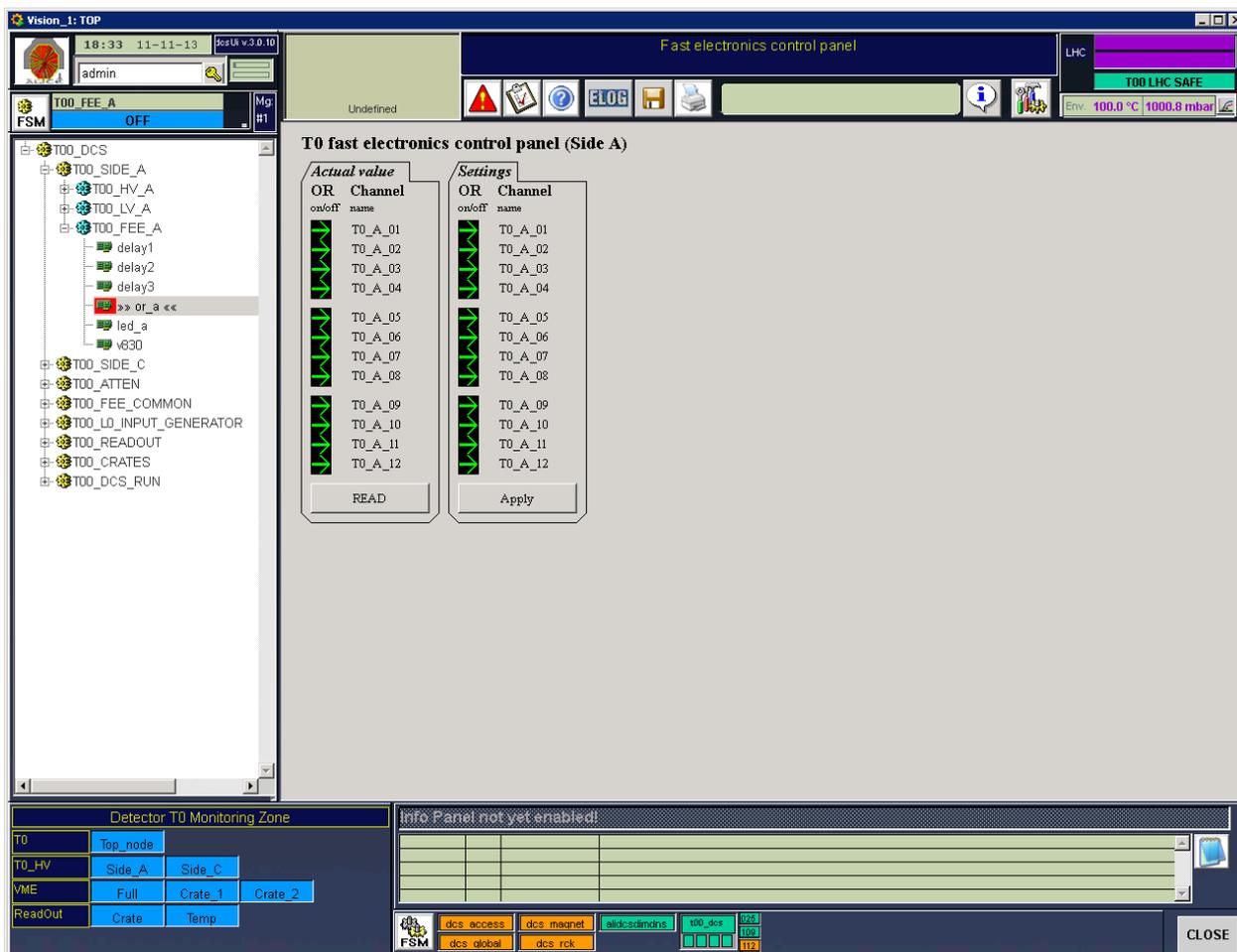


Рис. 26 Панель управления блока OR

Если изменения не были приняты, то при следующем обращении к панели, изменённые значения будут подсвечены оранжевым цветом, для индикации несоответствия реальных значений установленным. Оператор может принять изменения либо отменить их, записав реальные значения в установленные каналы, для чего необходимо нажать кнопку READ.

Панель управления модулем формирователя временной отметки с постоянным порогом LED

Модуль формирователя временной отметки со следящим порогом (CAEN LED v895) имеет 16 входных каналов отрицательной полярности и 16 выходных каналов ECL стандарта. Выходные сигналы могут иметь длительность сигнала от 5 нс до 40 нс. Длительность выставляется через шину VME. Модуль LED имеет 24 битную шину адреса и 16 битную шину данных.

Базовый адрес модулей LED:

- 210000_{16} – модуль на стороне А;
- 110000_{16} – модуль на стороне С.

В регистры [00, 02, ... 1e] заносятся значения порогов в милливольтках для 16 каналов, в регистры [40, 42] заносятся значения длительности выходных импульсов в микросекундах для первых 8 каналов и для вторых 8, в регистр [4A] заносится 16 битное значение, каждый бит, равный единице, которого соответствует активации канала. Бит 0 –канал 1 и т.д.

Модуль имеет только интерфейс записи. Чтение каналов эмулируется в программе сервера.

12 каналов используются для временного преобразования сигналов с фотоумножителей, остальные 4 для преобразования в ECL стандарт дополнительных сигналов. Сигналы с ФПП поступают на модуль счетчиков. Для покрытия нужд детектора требуется 2 модуля ФПП.

Панель управления параметрами ФПП представлена на рисунке. (Рис. 27)

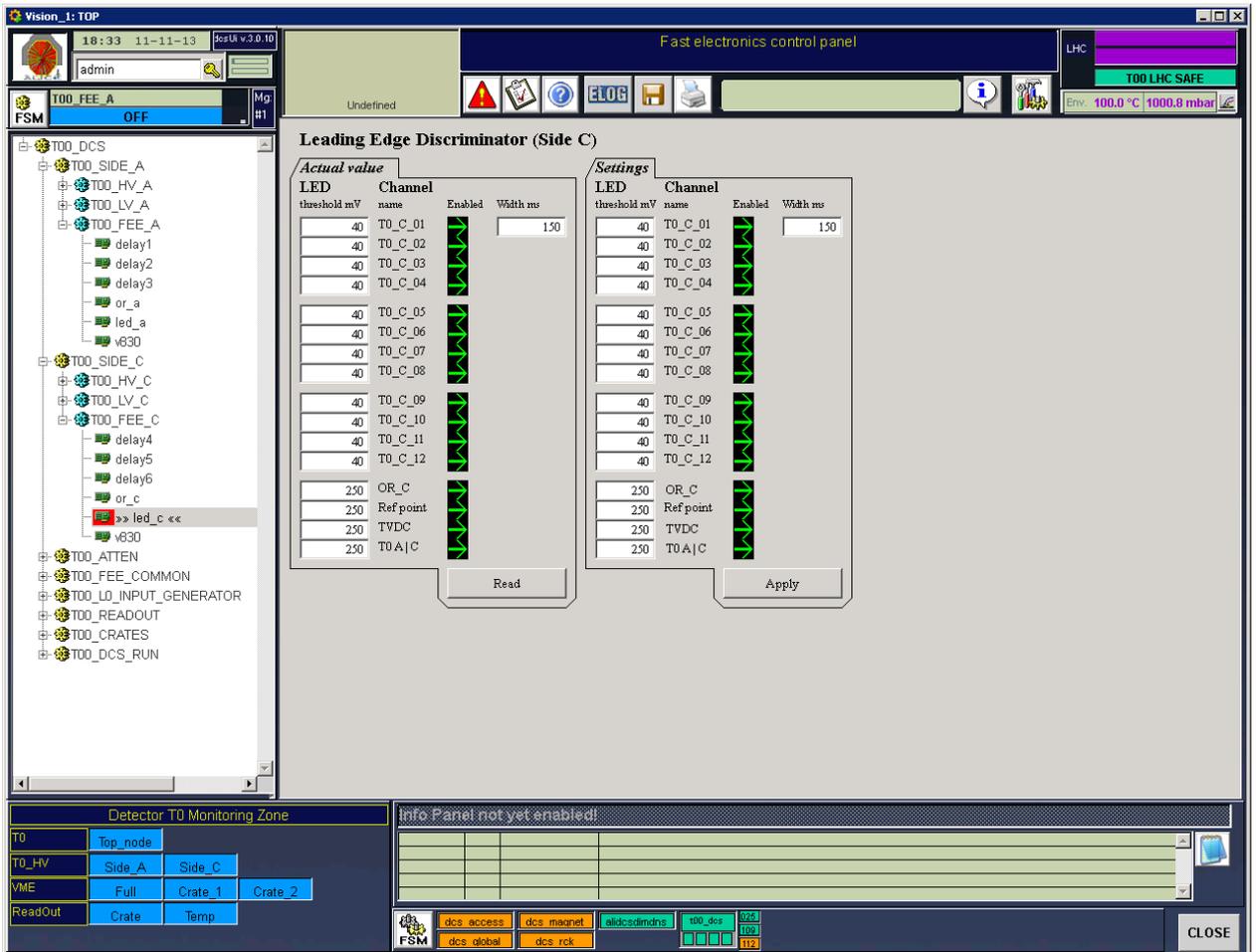


Рис. 27 Панель управления блоком LED

Панель управления содержит две области. Область записанных в модуль значений слева и область установочных значений справа. Для всех каналов можно изменять значение порога формирования временного сигнала, также можно включить или отключить формирование временного сигнала для выбранного канала. Длительность выходного сигнала может устанавливаться отдельно для 8 первых и 8 последних каналов, но для удобства используется одно поле установки длительности, т.к. она одинаковая для всех каналов.

При изменении установочных значений поле подкрашивается голубым цветом, для индикации внесенных изменений. Для того, чтобы принять изменения необходимо нажать кнопку APPLY. Если изменения не были приняты, при следующем обращении к панели поля с несоответствующими значениями будут подсвечены оранжевым. Если необходимо отменить установочные значения и

вернуться к значениям, установленным в модуле необходимо нажать кнопку READ.

Панель управления модулем счетчиков

Для получения информации о сигналах в режиме онлайн применяется модуль цифровых логических счетчиков CAEN v830. Модуль позволяет считывать 32 канала.

Управление модулем осуществляется через шину VME. Размерность шины данных 32 бита, шины адреса 32 бита.

Базовый адрес модуля v830:

- $EE000000_{16}$ – модуль цифровых счетчиков.

Модуль может быть настроен для считывания данных по временному триггеру и по внешнему триггеру. Для детектора T0 достаточно снимать информацию со счетчиков с интервалом в 1 секунду, поэтому был выбран режим работы по временному триггеру. Через регистр управления 1108_{16} производится предварительная настройка счетчика.

- Бит 0 – внешний триггер 0 – выключен;
- Бит 1 – временной триггер 0 – выключен;
- Бит 2 – формат данных 0 – 32 бит, 1 – 26 бит;
- Бит 3 – тестовый режим 0 – выключен;
- Бит 4 – выдавать при переполнении сигнал «berr» 0 – выключен;
- Бит 5 – использовать заголовок данных 0 – выключен;
- Бит 6 – очистка буфера при чтении 0 – выключен;
- Бит 7 – авто сброс 0 – выключен.

В регистр 1104_{16} – записано значение временного интервала, для срабатывания триггера. В регистр 1100_{16} – записаны биты каналов для счета. По временному триггеру счетчик начинает накапливать данные. Программа сервер считывает статусный регистр – $110E_{16}$, чтобы определить, есть ли данные на шине. Регистр 1134_{16} определяет количество событий в буфере. Для каждого события в буфере считываются данные из буфера. Если было указано, что будет использован

заголовок, из 0_{16} регистра считывается заголовок и биты [18-24] определяют число включенных каналов. Считывается блок данных из регистра 0_{16} , 32 бита * число открытых каналов. Сервер автоматически преобразует считанные данные в счет в секунду и общий счет.

Это счетчик логических сигналов уровня ESL. Сигналы поступают с модулей ФПП. Модуль позволяет подключать до 32 каналов для счета.

Входы у модуля представляют собой 2 разъёма по 16 входов выполненных в виде 16 штыревых разъема.

Панель управления блоком представлена на рисунке (Рис. 28).

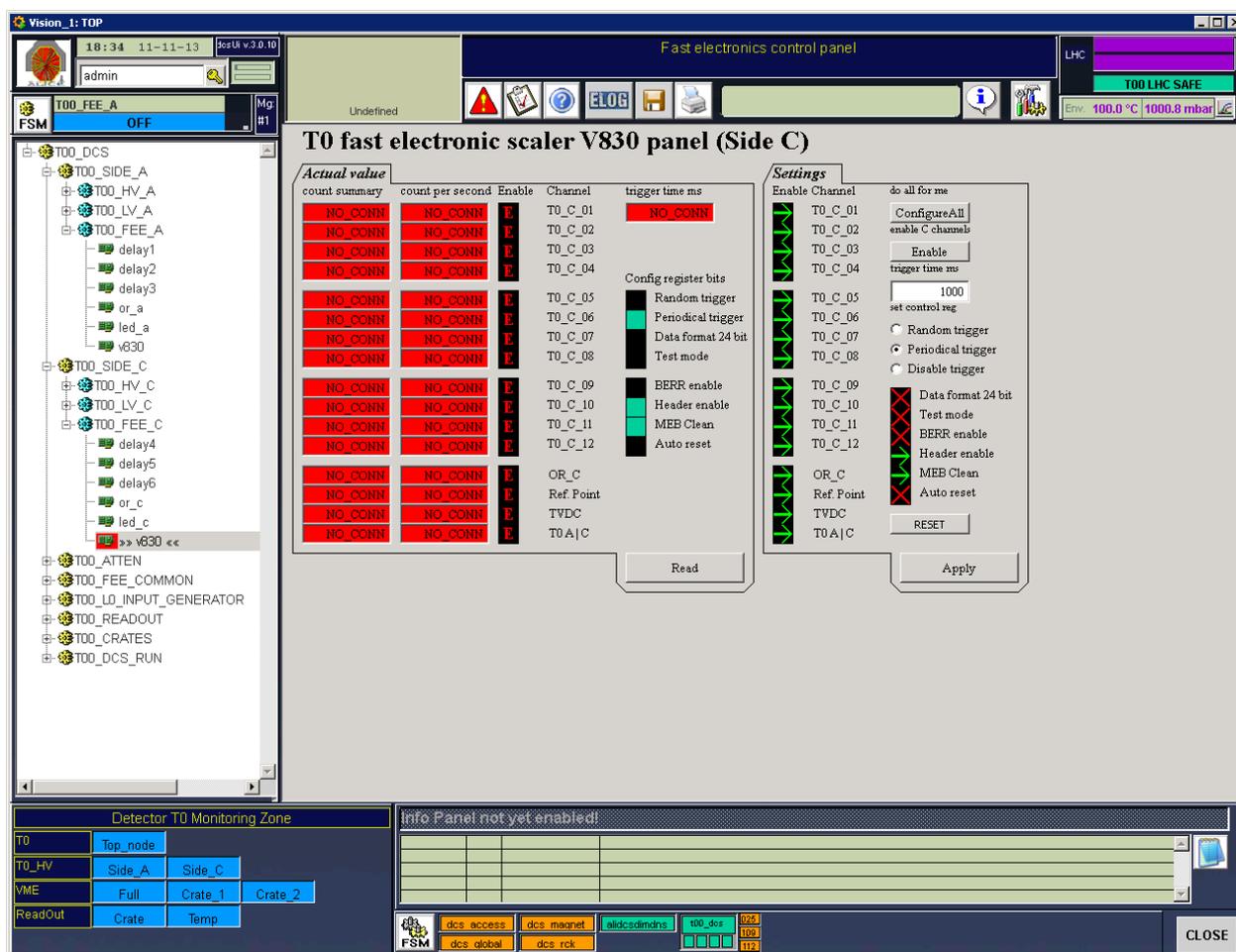


Рис. 28 Панель управления счетчиками

Через обращение к регистрам модуля панель управления позволят задавать следующие параметры:

- Добавить или исключить канал из счетчика
- тип триггера, буферизации данных, заголовка

- временной интервал триггера записи данных в буфер

Считывание показаний счетчика ведется в программе сервере и затем передается на панель управления. Обработка блока данных и расшифровка заголовка блока данных производится на сервере.

Панель блока управления условно разделена на две области, левая область считанных значений и правая установочные параметры. При изменении значений установки, изменяемый параметр подсвечивается голубым цветом. Параметры передаются на сервер и запоминаются, однако для записи параметров в регистры модуля требуется нажать кнопку APPLY. В случае если этого сделано не будет, модуль будет работать в том же режиме. При следующем обращении к модулю измененные поля будут подсвечены оранжевым, предупреждая и внесенных, но не принятых изменениях.

Рисунок выше демонстрирует ситуацию, когда модуль недоступен в связи с отключенным питанием крейтов. Проблемные каналы подсвечиваются красным цветом, а также выводится информация о причине неисправности.

Панель управления модулем формирования временной отметки

Управление модулем осуществляется через платформу ELMB. Цифровая обработка сигналов осуществляется в OPC клиенте, посредством заданной калибровочной формулы. Панель управления позволяет устанавливать порог и гуляние временной отметки модуля CFD. (Рис. 29)

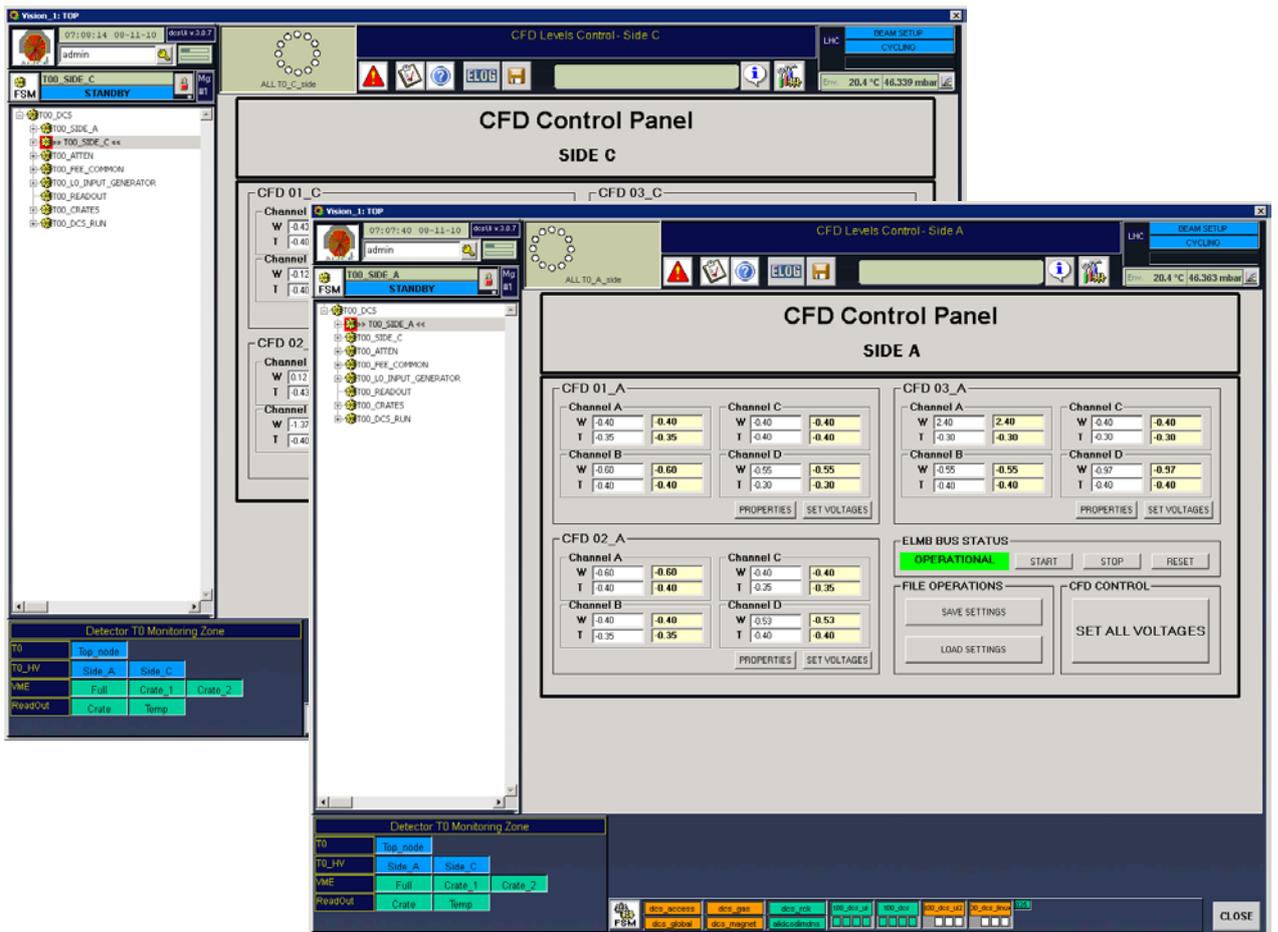


Рис. 29 Панель управления CFD

Для каждого канала предусмотрено два поля, считанных значений и поля записи. Если значение в поле чтения не соответствует заданному параметру (с погрешностью 0,03) поле подсвечивается оранжевым цветом. Когда изменения параметров внесены и подтверждены нажатием клавиши Enter, необходимо нажать кнопку Set voltages, для записи данных в модуль CFD.

Общая панель управления электронными блоками точной настройки

Для удобства настройки каналов была подготовлена панель управления, объединяющая настройки задержек, ФПП, «Или» и счетчиков.

Панель управления показана на рисунке (Рис. 30).

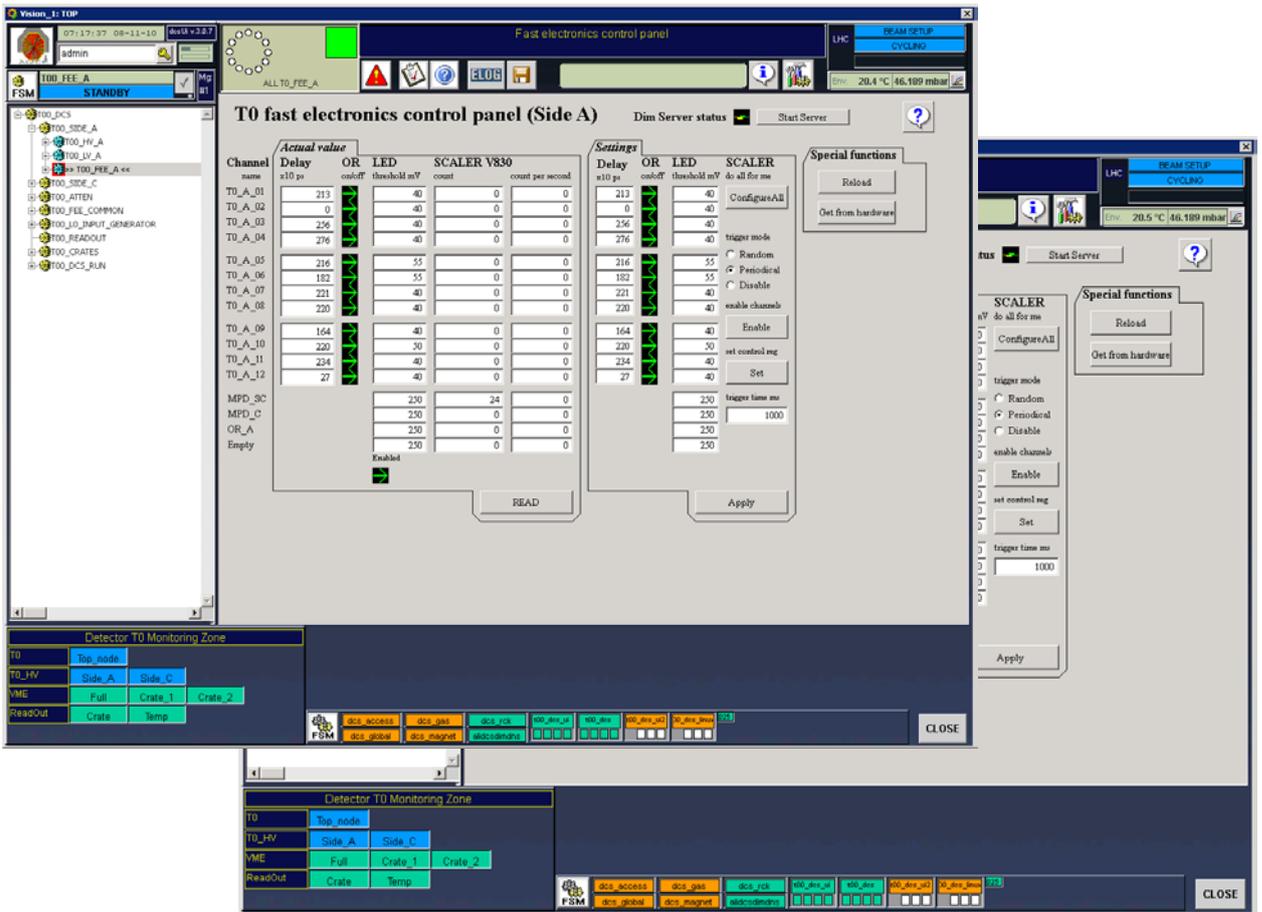


Рис. 30 Панель управления точной электроникой

Установочные параметры для облегчения восприятия обладают уменьшенным функционалом. Доступны опции позволяющие проводить настройку каналов детектора без доступа к системным регистрам модулей.

Панель управления триггерным блоком множественности MPD

Модуль MPD выделен в группу панелей относящихся к формированию триггерных сигналов. В данном модуле доступны пять параметров для установки по шине VME. Тип адресной шины 16 бит, тип шины данных 16 бит.

Следующие регистры используются для настройки модуля:

- FF40₁₆ установка порога полуцентрального события для стороны А;
- FF42₁₆ установка порога центрального события для стороны А;
- FF44₁₆ установка порога полуцентрального события для стороны С;
- FF46₁₆ установка порога центрального события для стороны С;
- FF48₁₆ установка режима работы.

Для параметра режима работы модуля доступно 4 режима:

- 0₁₆ триггерные сигналы центральности отключены и не формируются;
- 1₁₆ триггерные сигналы формируются и от А и от С;
- 2₁₆ триггерные сигналы формируются только от С;
- 4₁₆ триггерные сигналы формируются только от А.

На рисунке (Рис. 31) показана панель управления модулем MPD.

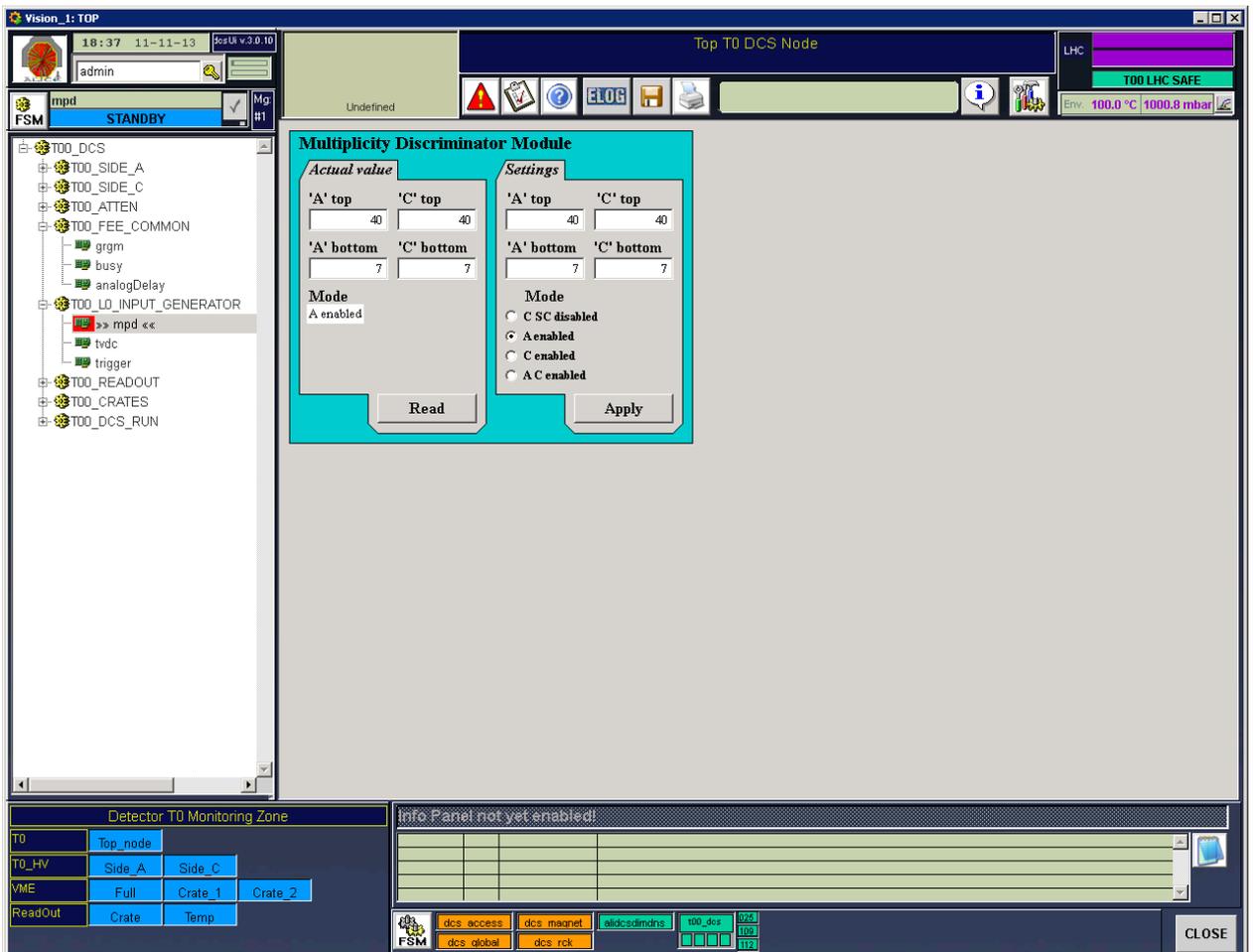


Рис. 31 Панель управления модулем MPD

Установочная область имеет цветовую индикацию, которая появляется при изменениях параметров. Если было сделано изменение, поле подсвечивается голубым. Для того чтобы изменения вступили в силу, требуется подтвердить изменения кнопкой APPLY. Изменения не пропадают, если панель была закрыта. При повторном включении поля значений, расходящиеся с установочными параметрами, будут подсвечены оранжевым цветом. Чтобы привести в соответствие поля установочных значений и поля записанных значений можно

либо применить изменения, либо считать записанные значения в установочные, нажав кнопку READ.

Панель управления триггерным блоком оценки положения вертекса TVDC

Модуль TVDC формирует триггерный сигнал вершины события. На выход выдается сигнал, при попадании входного сигнала во временные ворота, которые задаются нижним и верхним порогом.

Шина адресов 16 разрядная, шина данных 16 разрядная.

Модуль имеет два регистра, в которые записываются 8-ми битные значения порогов.

- $FFC0_{16}$ – нижний порог (Чтение/Запись) 1бит = 20пс;
- $FFC2_{16}$ – верхний порог (Чтение/Запись) 1бит = 20пс.

На рисунке (Рис. 32) показана панель управления модулем TVDC.

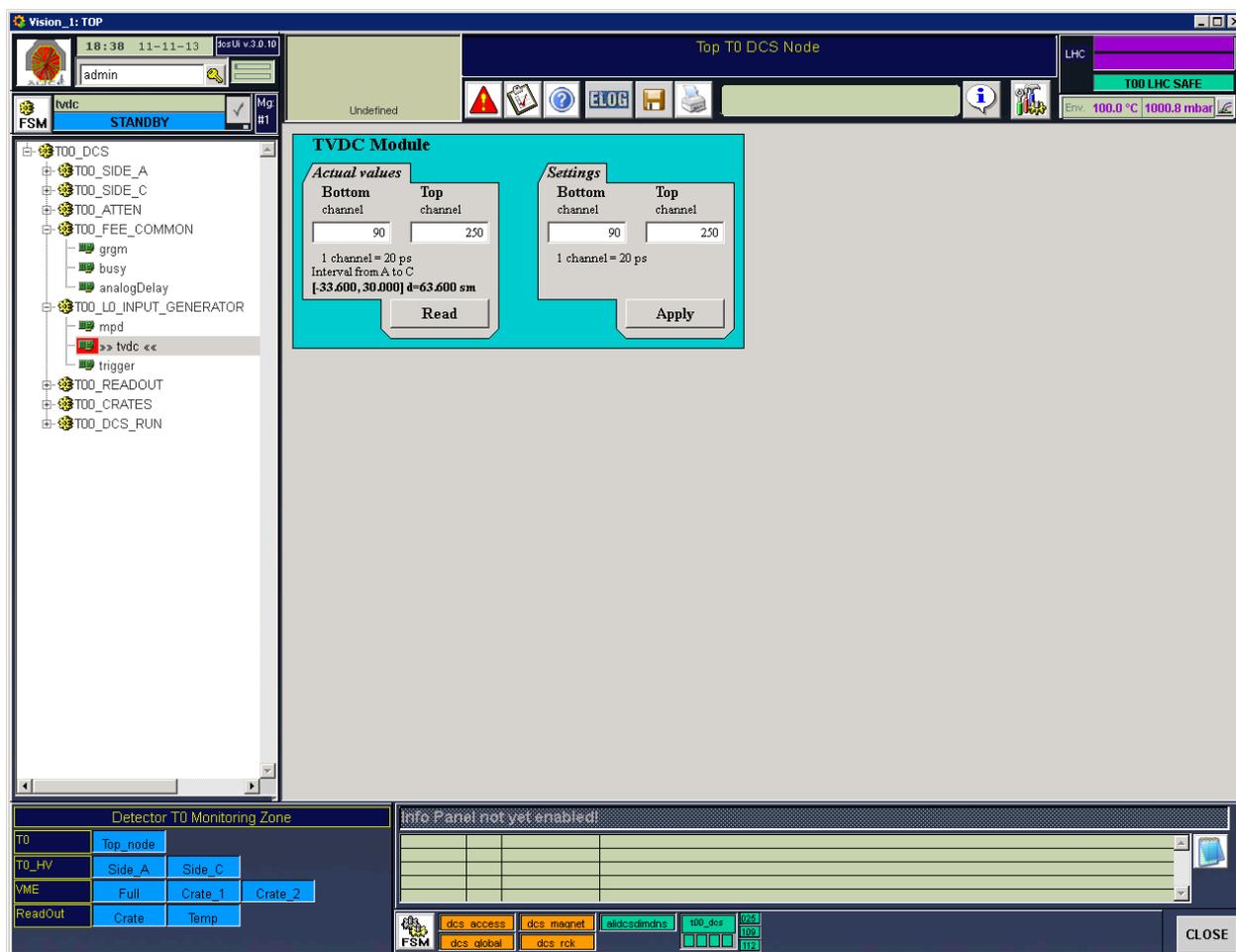


Рис. 32 Панель управления модулем TVDC

Левая часть панели показывает записанные в модуль значения. Правая часть позволяет устанавливать новые параметры. При изменении значения в поле, поле подсвечивается голубым цветом. Нажатие кнопки APPLY приведет к записи значений в модуль. Можно считать данные из модуля, нажав кнопку READ. Считывание данных из модуля может быть полезно в случае отказа от введенных новых установочных параметров.

Панель управления триггерным блоком формирования триггерных сигналов для центрального триггерного процессора TOTU

Модуль TOTU отправляет триггерную информацию детектора T0 в центральный триггерный процессор. Данный модуль имеет 5 каналов передачи и один запасной. Каждый канал имеет 4 режима работы. Нормальный, тестовый, индикатор канала, генератор произвольного триггера. Каждый канал дополнительно имеет задержку для выравнивания выходных сигналов.

Также есть общий дополнительный режим блокировки сигнала от лазерной системы. Данный режим блокирует передачу сигналов лазерной калибровки во время набора данных.

Управление модулем осуществляется по шине VME. Шина адресов 16 разрядная, шина данных 16 разрядная.

Базовый адрес модуля:

- FC00₁₆.

Для каждого канала доступно 3 регистра:

- Базовый + 0₁₆ – статусный,
 - биты [0-1] режим работы,
 - биты [2-6] задержка канала,
 - биты [7-15] идентификатор канала;
- Базовый + 2₁₆ – нижний регистр 32 битного генератора;
- Базовый + 4₁₆ – верхний регистр 32 битного генератора.

Дополнительный регистр блокировки лазерного сигнала:

- FC24₁₆ – регистр блокировки,

- биты [0-5] – значение задержки,
- биты [6-11] – длительность импульса,
- бит [12] – включение/выключение блокировки.

Панель управления модулем TOTU представлен на рисунке. (Рис. 33)

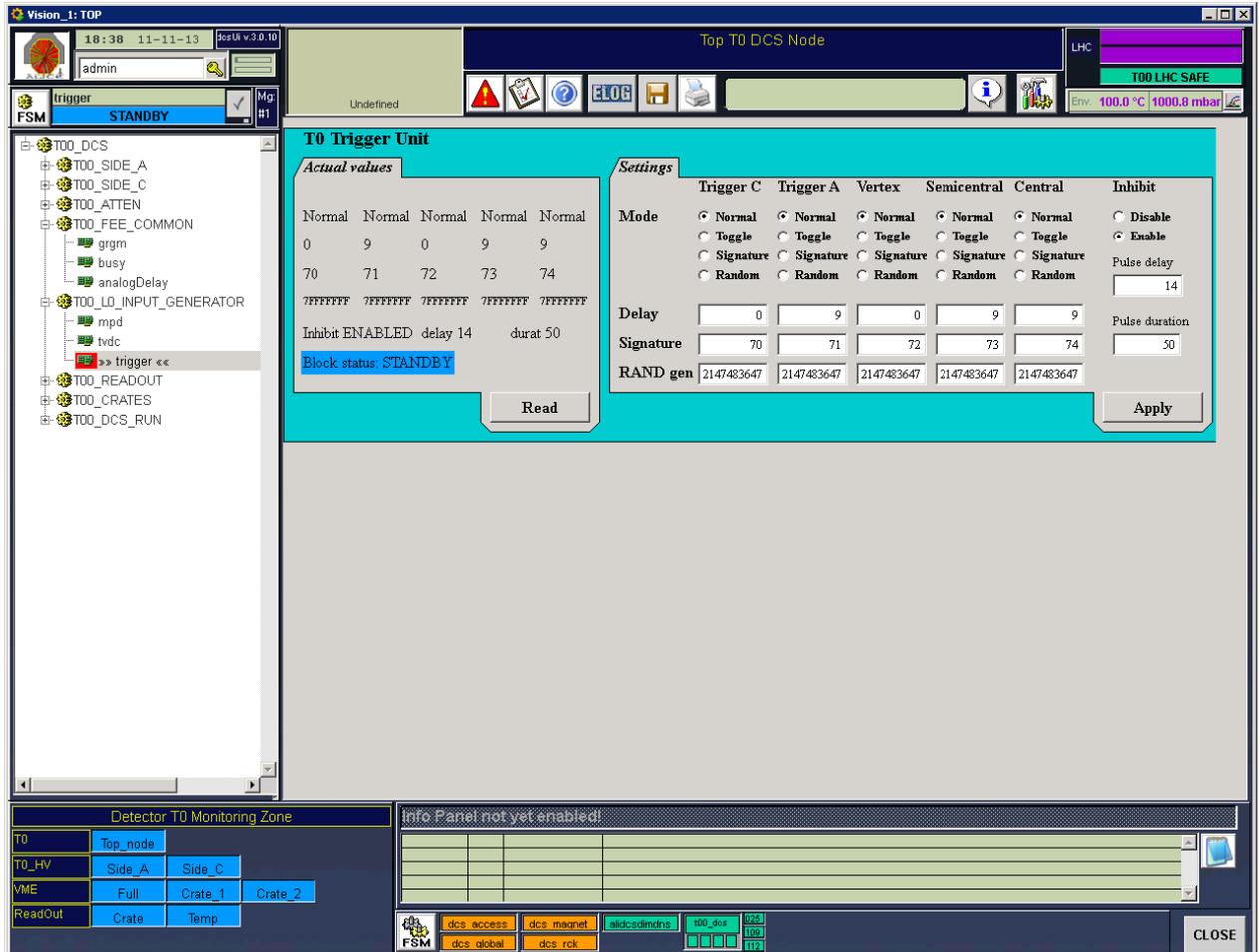


Рис. 33 Панель управления модулем TOTU

Панель имеет область записанных значений и область установочных параметров. При внесении изменений в область установочных параметров поле подсвечивается голубым цветом. Чтобы записать значения в модуль, необходимо нажать кнопку APPLY. В случае несоответствия значений установочных параметров параметрам записанным, последние будут подсвечены оранжевым цветом. Изменения можно отменить, считав значения из модуля в установочные параметры, нажав кнопку READ.

Общая панель управления триггерной электроникой

Для удобства работы с триггерными блоками детектора T0, панели были объединены на одной панели.

Управление модулями из этой панели идентично индивидуальному управлению.

Общая панель управления показана на рисунке ниже. (Рис. 34)

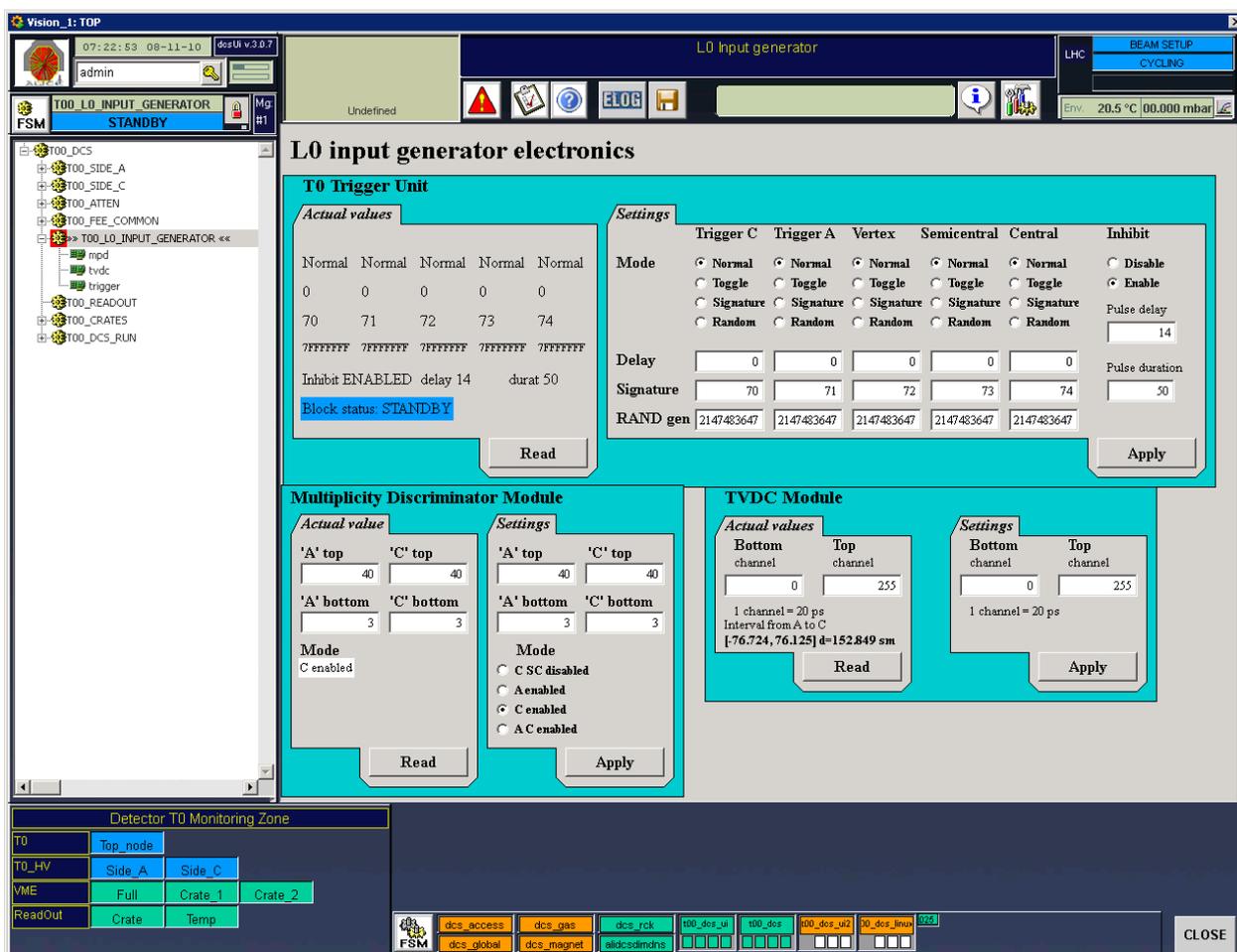


Рис. 34 Панель управления триггерной электроникой

Панель управления блоком передачи сигнала Busy

Модуль BUSY представляет собой модуль разветвителя сигналов.

На вход модуля подается сигнал busy для TTC. Логика TTC требует, чтобы на вход подавался логический сигнал формата LVDC, если же сигнала нет, модуль TTC принимает это как сигнал, что детектор не отвечает и блокирует передачу триггерных сигналов.

Выход канала busy должен быть всегда открыт, для того чтобы исключить блокировку детектора. По умолчанию, после подачи питания на крейт VME в модуле все каналы закрыты.

Размерность шины адреса 24 бит, размерность шины данных 32 бита. Базовый адрес модуля:

- $B80000_{16}$

В регистр $B801D0_{16}$ записана единица в бит 0 для открытия канала. Используется только один канал.

Функция модуля заключается только в открытии канала. На панели возможно одно действие открыть канал или закрыть. Если значение в области установок отличается от значения, записанного в модуль, оно будет подсвечено голубым цветом. Чтобы принять изменение, оператор должен нажать кнопку APPLY. Если изменение не было принято, то при следующем обращении к панели область записанного значения будет подсвечиваться оранжевым. Можно принять изменения нажав кнопку APPLY или считать значение из модуля нажав кнопку READ.

Панель управления модулем представлена на рисунке (Рис. 35).

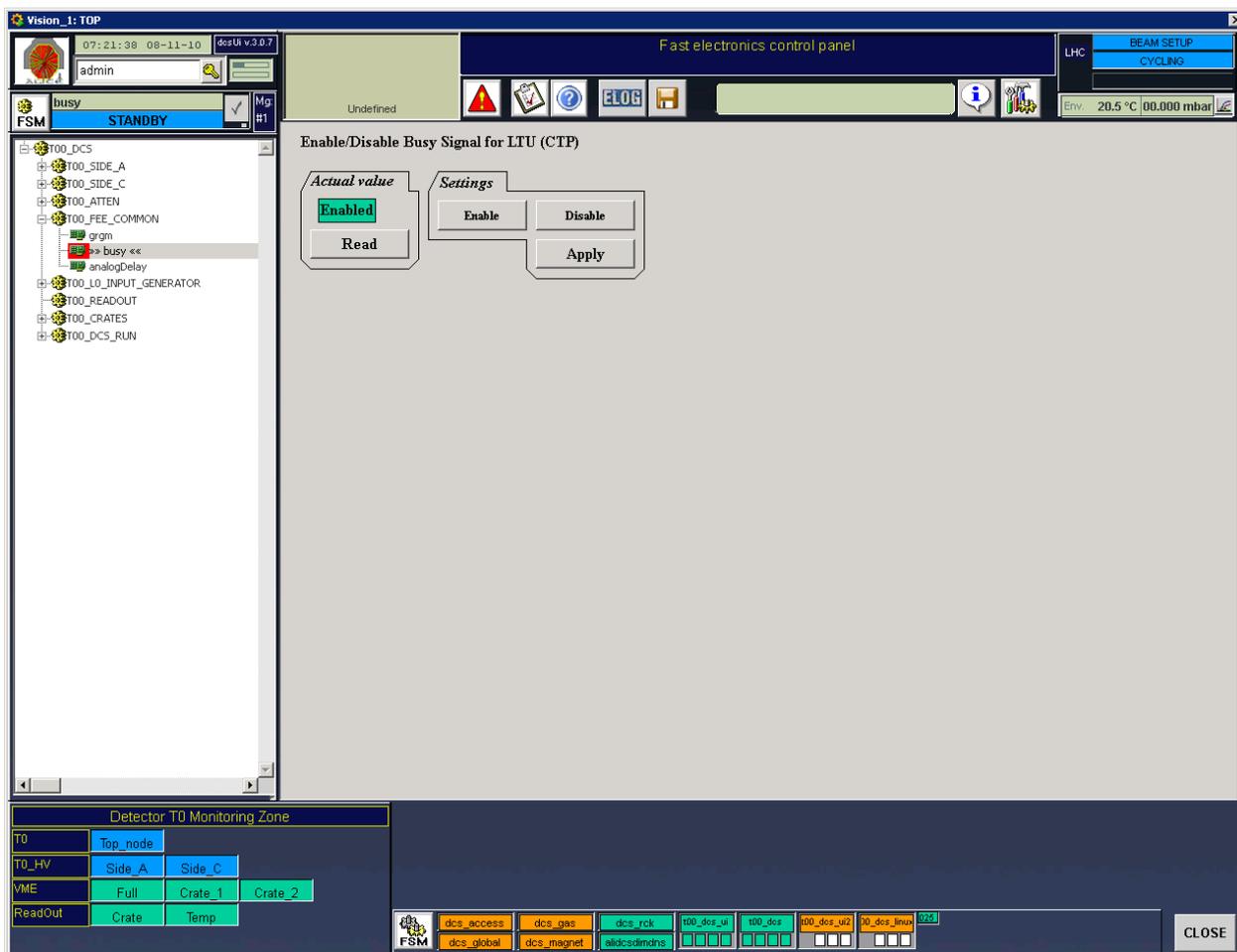


Рис. 35 Панель управления модулем FanOut

Панель управления модуля синхронизации управляющих сигналов

Модуль задержек для синхронизации сигналов отличается от модуля цифровых задержек количеством каналов и диапазоном задержки.

У модуля задержки доступно два канала для управления. Шаг управления 0,5 нс., полный динамический диапазон 0 – 32767 нс.

Модуль аналоговых задержек имеет 16 битную шину данных и 16 битную адресную шину.

Базовый адрес модулей:

- FD40₁₆ – модуль задержки лазерного сигнала и сигнала ВС;
- FD80₁₆ – модуль выравнивающих задержек.

Панель управления представлена на рисунке (Рис. 36).

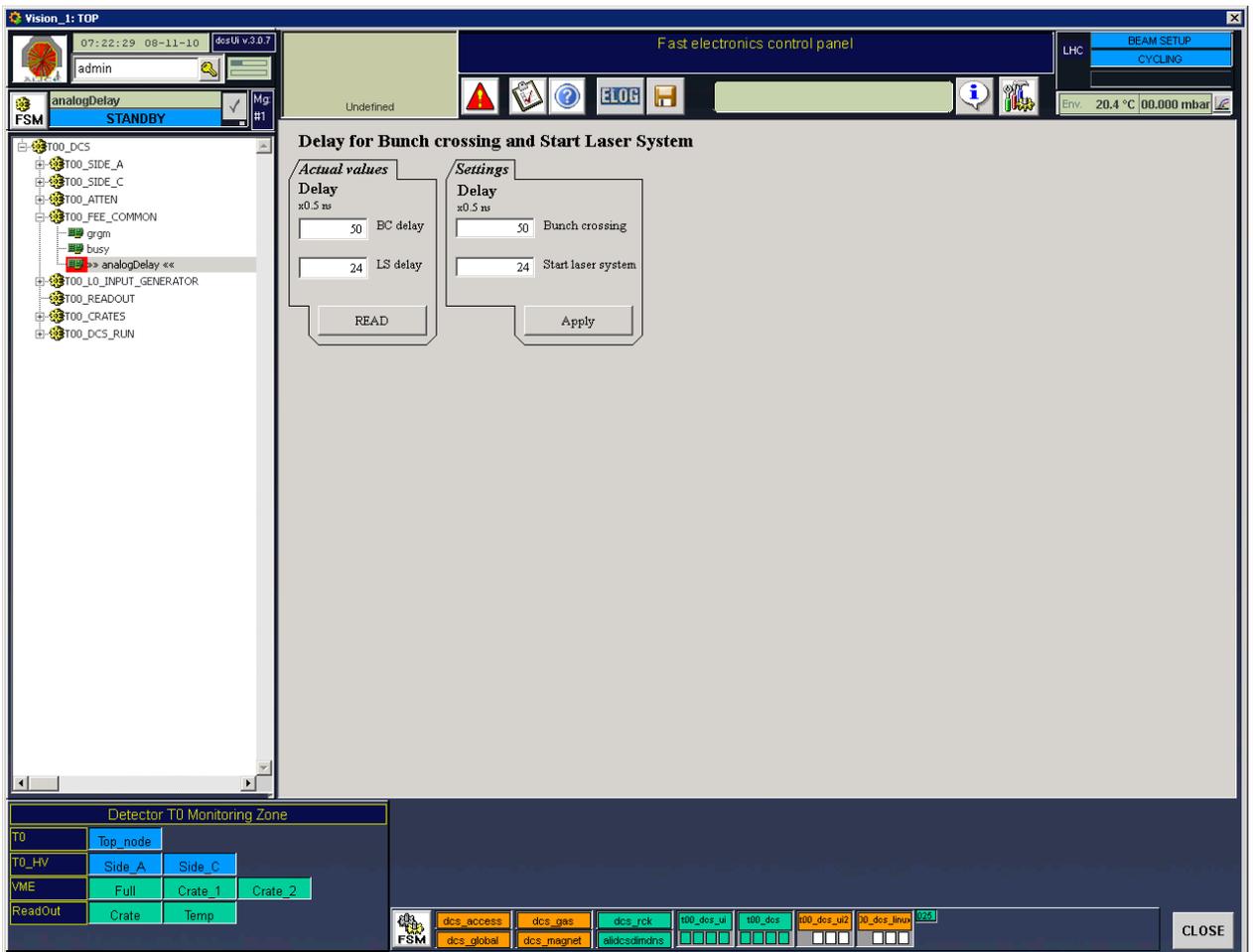


Рис. 36 Панель управления модулем синхронизации сигналов

В панели управления модулем реализован механизм цветовой информационной индикации. Если в поле установки параметров будут внесены изменения, поле будет подсвечено голубым цветом. Применить изменения и записать данные в регистры модуля можно нажатием кнопки APPLY. Если изменения не были приняты, при следующем обращении к панели поля записанных значений, не соответствующих установочным параметрам, будут подсвечены оранжевым цветом. Исправить ситуацию можно применив новые параметры или считав записанные параметры в установочные, путем нажатия кнопки READ.

Панель управления модулем GRPG

Модуль GRPG отвечает за формирование ворот.

Интерфейс управления модуля GRPG имеет 16 битную шину адреса и 16 битную шину данных.

Базовый адрес модуля: FA00₁₆.

Описание регистров:

- FA02₁₆ – источник опорного сигнала;
 - бит 0 - использование внешнего генератора;
 - бит 1 - открыть ворота для OR A;
 - бит 2 - открыть ворота для OR C;
- FA04₁₆ – Частота генератора, 0 выключен;
- FA06₁₆ – формирование опорного сигнала, 0 не формировать;
 - бит 0 – по OR A;
 - бит 1 – по OR C;
 - бит 2 – по внешнему входу;
 - бит 3 – по логической формуле (OR A или OR C) и синхросигнал.

Панель управления модуля позволяет менять следующие настройки. Подформирование длины выходных сигналов с модулей OR, источник временной отметки начала события, подключение внешнего источника временной отметки, генератор временной отметки.

Панель управления модуля GRPG представлена на рисунке. (Рис. 37)

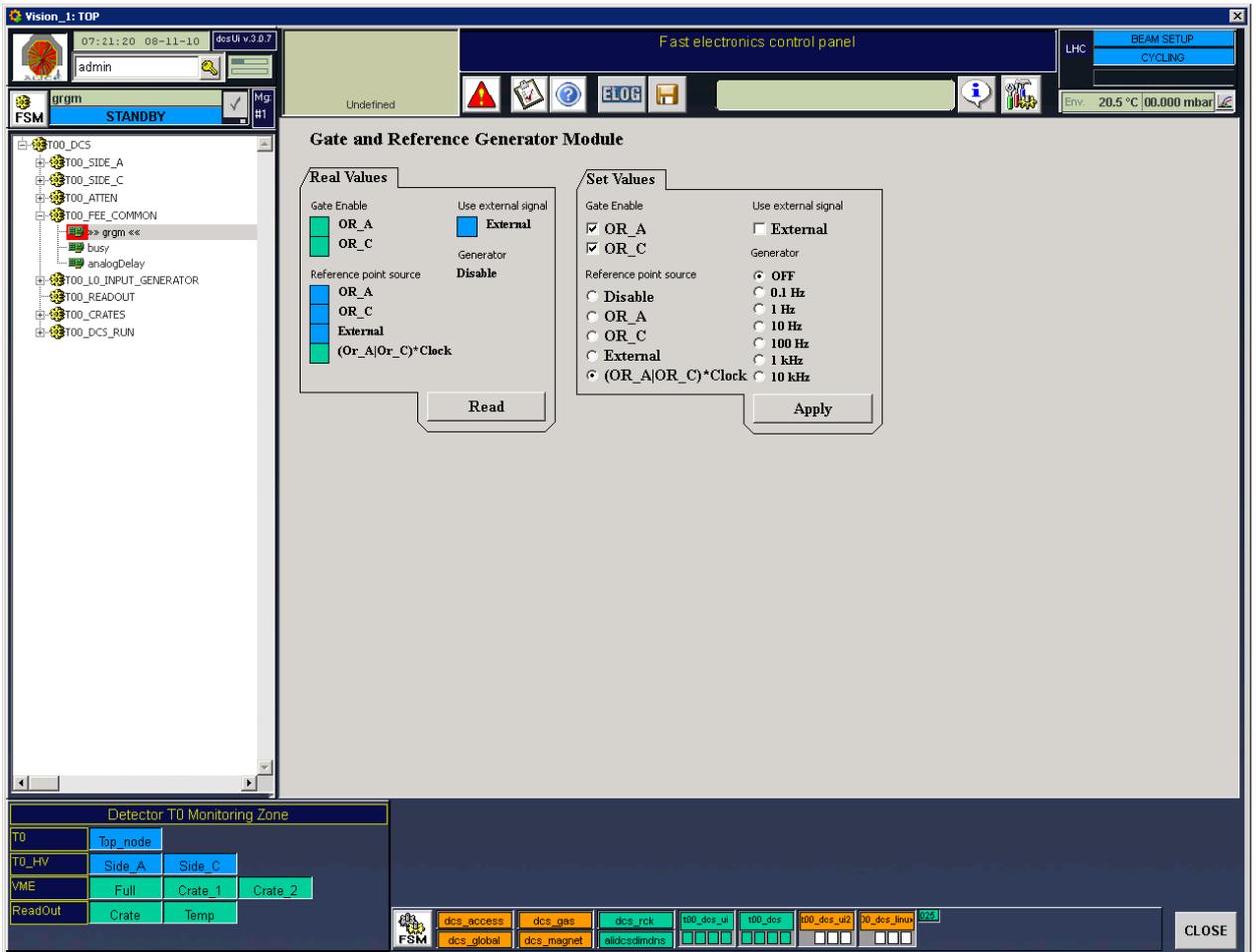


Рис. 37 Панель управления блоком GRPG

Панель модуля оснащена цветовой индикацией изменения состояния параметров установки. При обращении оператора и измененные параметры будут подсвечены голубым цветом. Внесенные изменения не будут записаны в модуль, пока не будет нажата кнопка APPLY. Подтверждение установленных значений кнопкой APPLY является защитой от случайного внесения изменений, а также позволяет оптимизировать запись данных в регистры модуля. Если значения не были приняты, то при следующем обращении к панели управления модуля несоответствующие значения будут подсвечены оранжевым цветом. Оператор может, как принять изменения, так и отменить изменения в установках, считав данные из регистров, нажатием кнопки READ.

Панель управления каналами крейта считывающей электроники

Панель управления крейтом считающей электроники предоставляет интерфейс взаимодействия с крейтом. Логика управления задана в скрипте управления. Основная сложность использования панелей заключается во времени отклика элементов панели. В случае управления крейтом считывающей электроники, время необходимое для выравнивания значений напряжения составляет порядка 20 секунд. Если во время исполнения, программа будет прервана, например закрытием панели, произойдет ошибка. Чтобы команда исполнилась полностью, программа управления перенесена в скрипт, который исполняется в фоновом режиме и не может быть прерван действием пользователя.

Включение крейта считывающей электроники происходит в четыре этапа. После нажатия кнопки Full crate on, сначала будет подано напряжение в +48В на сервисную линию, далее в программе следует проверка, есть ли напряжение в 48В на выходе и установился ли ток. Если выполнены условия, то принимается, что операция прошла успешно. Следом включается силовая линия +48В и проводится проверка по напряжению и току, если все условия выполнены, канал считается включенным. Перед следующей операцией выполняется команда сброса всех флагов ошибки в крейте управления. Данная операция разблокирует каналы управления низковольтного питания. Когда каналы разблокированы, подается напряжение +5В. Если значения напряжения и тока удовлетворяют проверочным значениям, канал принимается включенным. Следующим действием подается напряжение на канал +3,3В. В канале также проверяется значение напряжения и тока, после чего канал принимается как включенный. Когда все 4 канала признаются работающими, общий статус крейта считывающей электроники меняется на «включен». В крейте считывающей электроники может размещаться до 11 модулей. В логике управления реализована возможность индивидуального включения каждой отдельной станции модуля, если станция не используется, для уменьшения наводок и потерь её следует исключить. В системе управления крейтом предусмотрена возможность программного отключения разъемов.

В крейте находятся 3 модуля DRM, TRM и CPDM. Они располагаются на 1, 3 и 7 станциях соответственно.

Панель управления крейтом считывающей электроники показана на рисунке ниже. (Рис. 38)

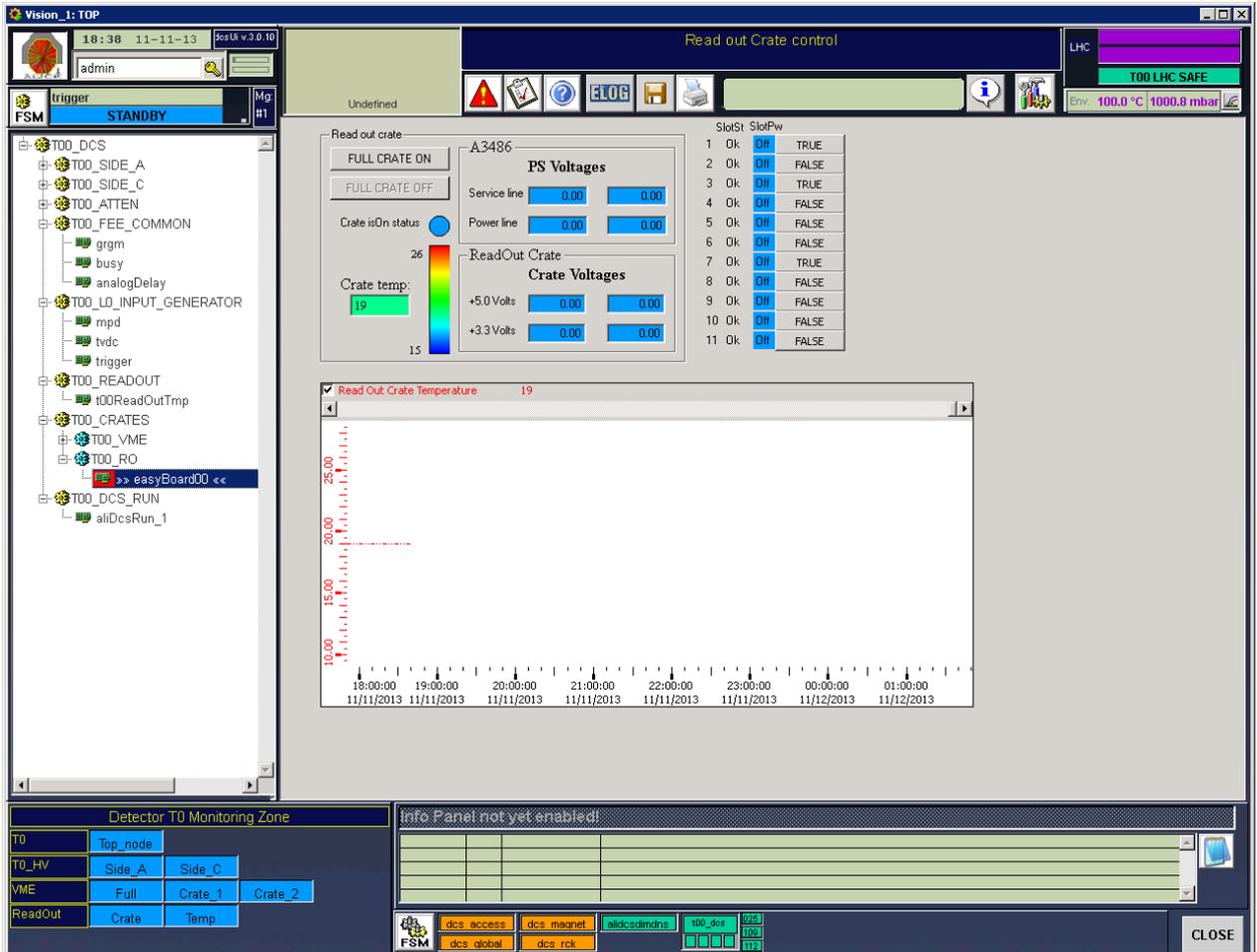


Рис. 38 Панель управления питанием крейта считывающей электроники

Модули в крейте потребляют мощность порядка 90 ватт, и вырабатывают большое количество тепла. Крейт подключен к системе центрального водяного охлаждения для наиболее эффективного отвода тепла. Тем не менее, в панели управления есть возможность контролировать температуру задней магистральной панели. Значения температуры архивируются и могут быть извлечены для анализа при необходимости.

Панель управления высоковольтными каналами

Для выполнения своей задачи фотоэлектронным умножителям необходимо подать напряжение порядка 1600-1800 вольт. Эту задачу выполняет электронный блок A1733N с 12 выходными каналами. Управление этим блоком осуществляется из панели управления через OPC сервер.

На панели управления находится информация о текущем напряжении на детекторе, состоянии включения, потребляемом токе. Оператору доступны следующие функции, включить-выключить канал, выставить напряжение, задать предельно допустимый ток потребления, выставить предельное значение напряжения, указать шаг увеличения и уменьшения напряжения в секунду.

На рисунке (Рис. 39) представлена панель управления 12 каналами фотоумножителей.

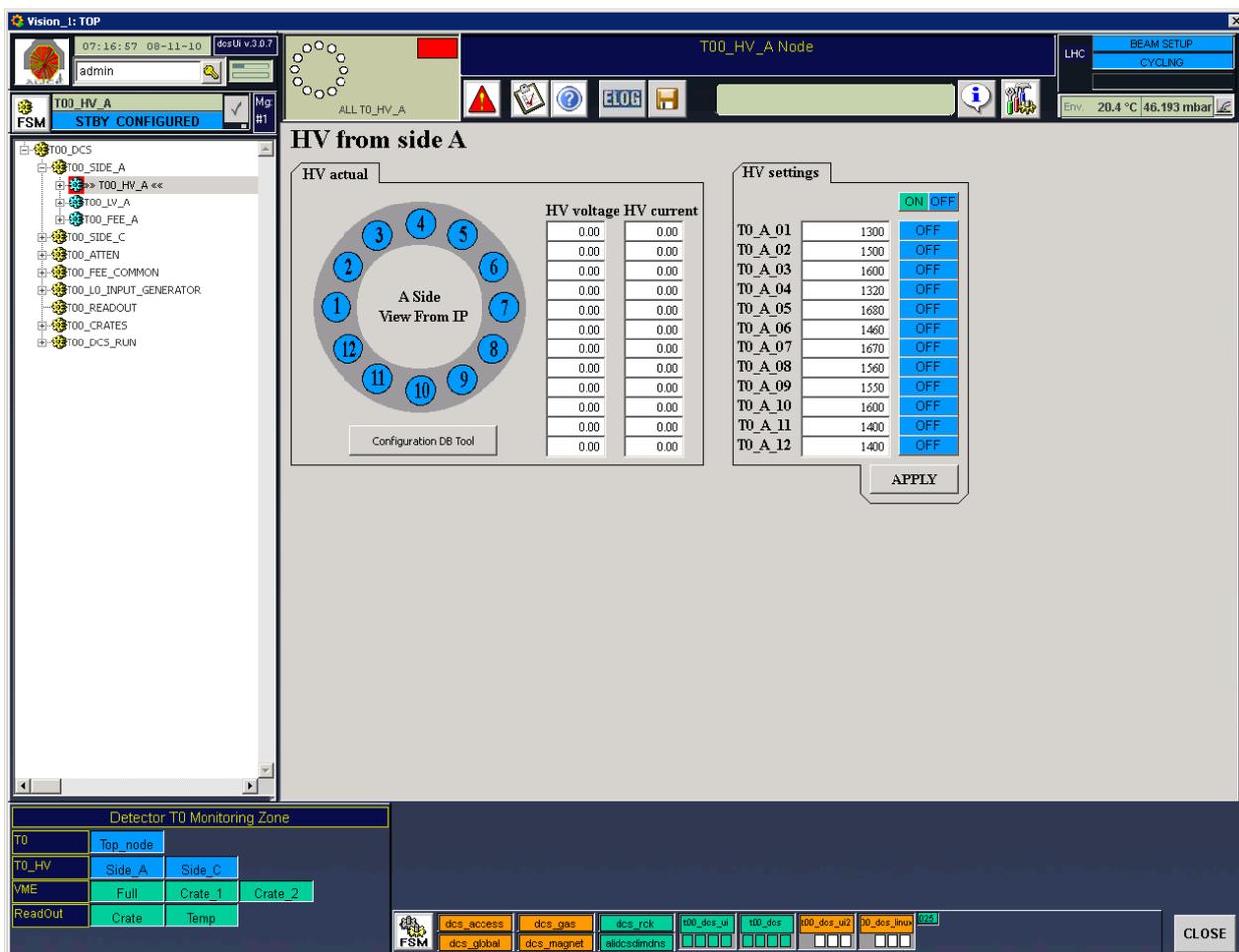


Рис. 39 Панель управления высоковольтными каналами

Данная панель позволяет выставлять значение напряжения и включать канал. Данная панель является упрощенной моделью управления каналом высоковольтного напряжения, для работы оператора.

На рисунке представлена панель управления отдельным каналом высоковольтного напряжения. (Рис. 40)

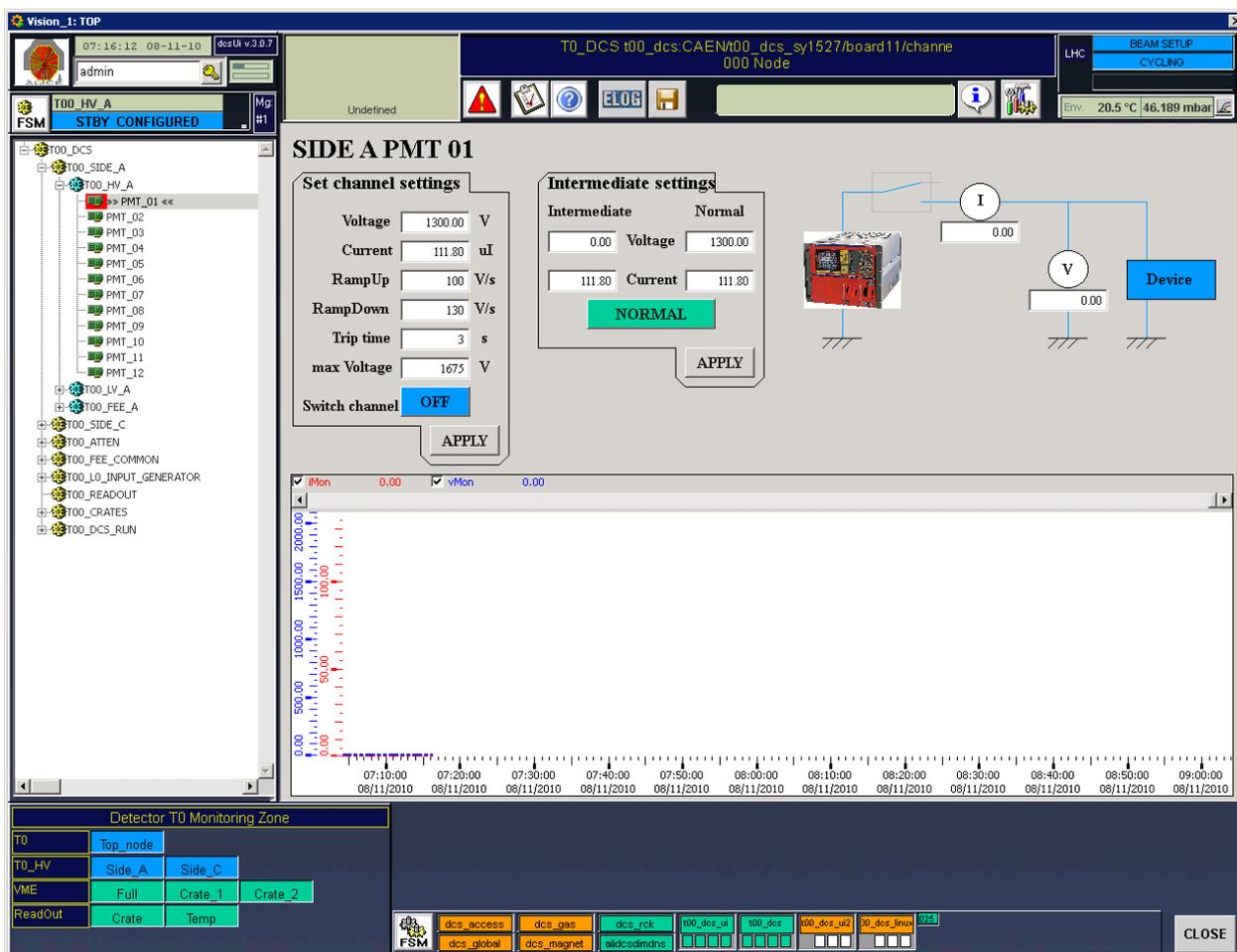


Рис. 40 Панель индивидуального управления высоковольтного канала

На данной панели доступны расширенные настройки канала, такие как предельное значение допустимого тока, скорость нарастания сигнала, скорость спада сигнала, допустимое время превышения тока и предельное значение напряжения.

Дополнительно была введен режим сниженного значения напряжения. Данный режим необходим при выводе пучков заряженных частиц и позволяет задавать пониженное значение напряжение, чтобы ограничить пиковое значение сигнала, при потере пучка и высвечивании его в фотоумножители детектора.

Сниженное, но ненулевое, значение напряжения позволяет находиться детектору в так называемом теплом состоянии. Это означает, что для включения канала требуется минимальное время. В текущей ситуации, большинство детекторов требует больше времени для включения, чем детектор T0, поэтому применяется нулевое значение напряжения, для максимальной защиты детектора от загрузки при потере пучка.

Для управления сниженным напряжением была добавлена промежуточная база значений установок. При изменении режима соответствующие значения копируются в установочные значения канала, после чего, напряжение в канале автоматически приводится к новому значению.

На панели выводится график напряжения и тока. Значения напряжения и тока записываются в базу данных. Запись производится раз в 5 минут или при изменении значения на 10%, в зависимости, что наступит раньше.

Панель управления низковольтными каналами

Для питания блока предусилителей на вход блока подается напряжение в 6 и 9 вольт. Источником питания является модуль CAEN A1513B. У модуля имеется 6 выходных каналов с реверсивной полярностью. Выходное напряжение может принимать значение 0-10 В с предельным током 2,7 А на канал. Модуль оснащен двумя 37 штыревыми выходами по 3 канала на выход. Для питания блока предусилителей используются два выхода по 2 задействованных канала.

Панель управления низковольтным напряжением представлена на рисунке (Рис. 41).

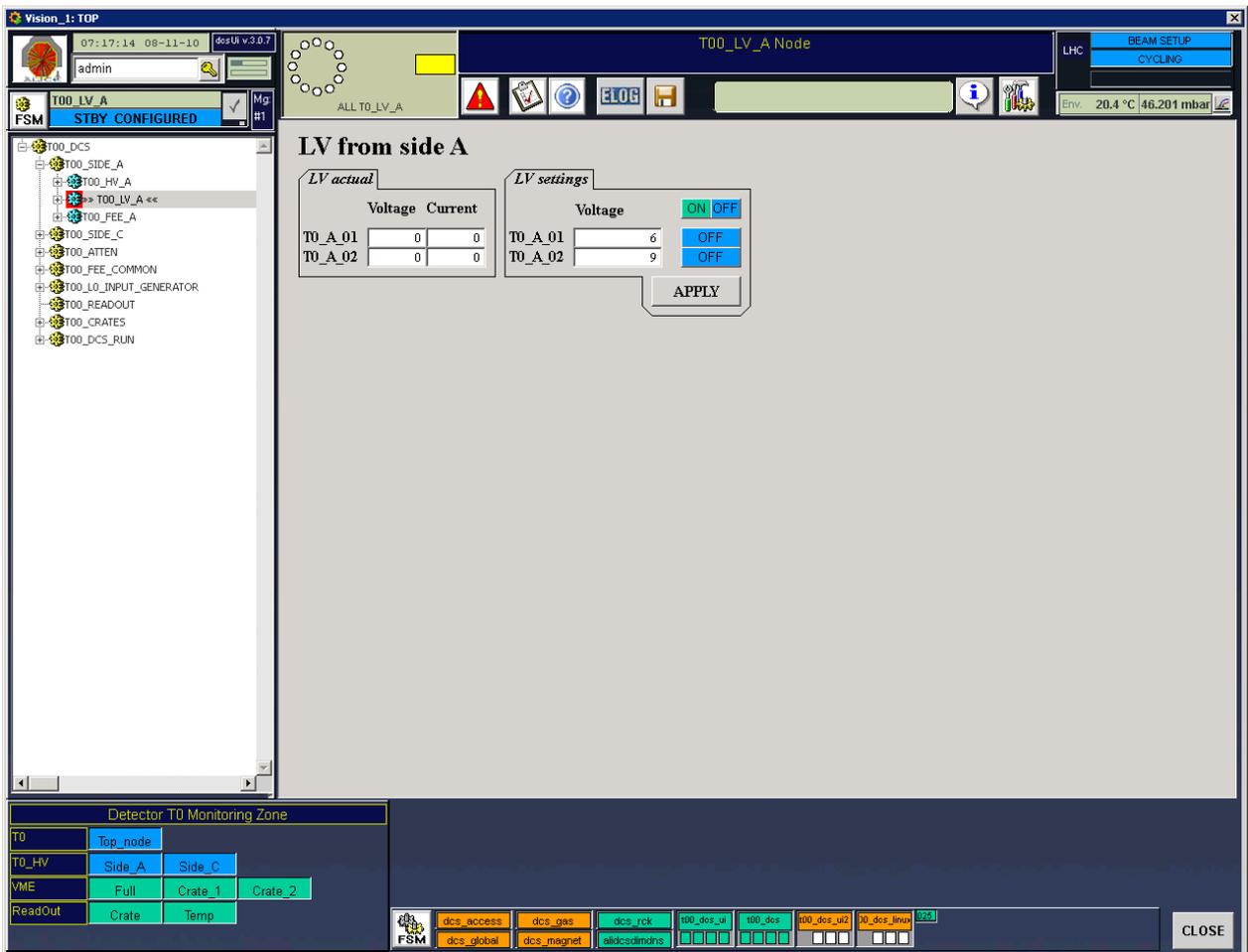


Рис. 41 Панель управления низковольтными каналами

Представленная панель является облегченной версией управления каналами.

Панель управления крейтом VME

На панели управления крейтами VME имеются 4 блока. Центральный блок сверху показывает состояние OPC клиента. Если индикатор напротив названия OPC клиента показан красным цветом, то имеется проблема коммуникации клиента и сервера. Следует провести анализ состояния системы.

Следующий блок показывает состояние CanBUS. В текстовом окошке показано количество устройств, подключенных к шине CanBUS. Детектор T0 использует 2 крейта, подключенных последовательно. Каждый крейт имеет свой уникальный ID. Два следующих блока относятся к крейтам. Каждый блок позволяет включить индивидуальный крейт, а также перейти к панели настроек. (Рис. 42)

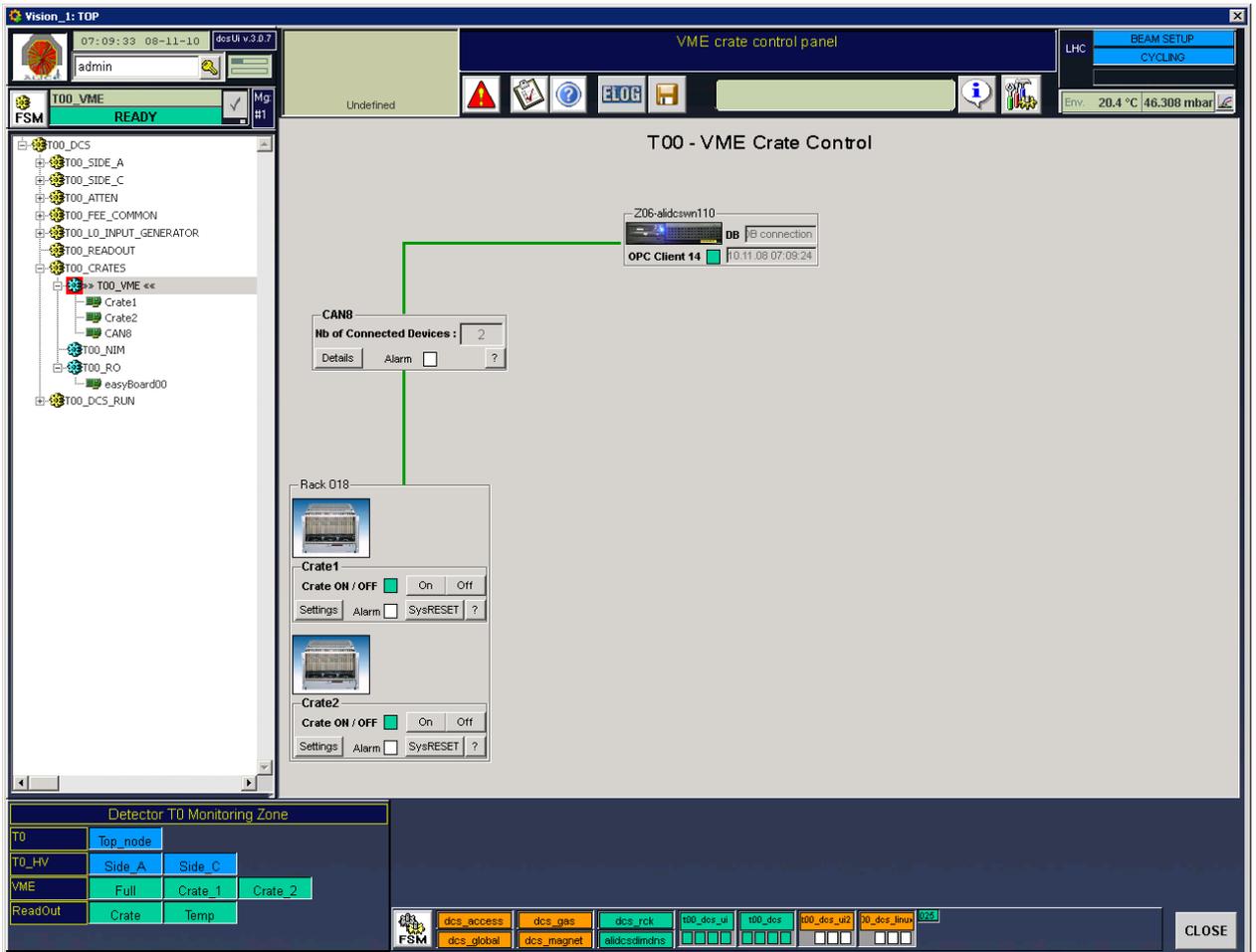


Рис. 42 Панель управления питанием крейтов VME

На рисунке представлена панель управления индивидуальным магистральным крейтом VME. (Рис. 43) Через данную панель осуществляется контроль параметров индивидуальных каналов. В крейте VME для управления быстрой электроникой используются каналы +5 В, +12В и -12В.

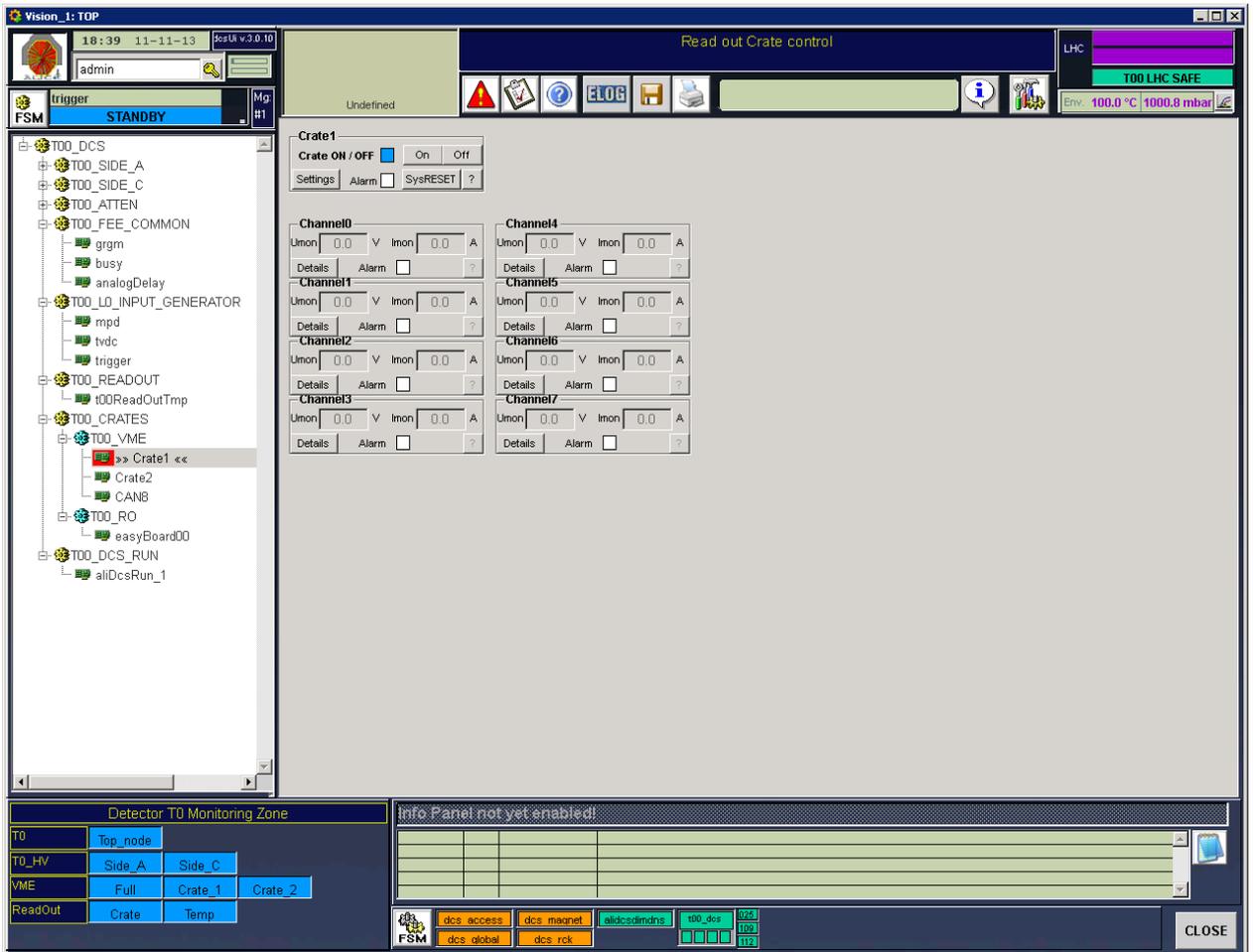


Рис. 43 Панель управления каналами питания крейта VME

Панель управления лазерной калибровкой

Управление системой калибровки осуществляется через панель, представленную (Рис. 44). Оптический аттенуатор управляется по последовательному порту. Для того чтобы отправить команду, требуется составить правильное строковое выражение.

Панель управления предоставляет интерфейс для интуитивно понятного изменения показателя ослабления и последующего преобразования значения ослабления в строковую команду для оптического аттенуатора.

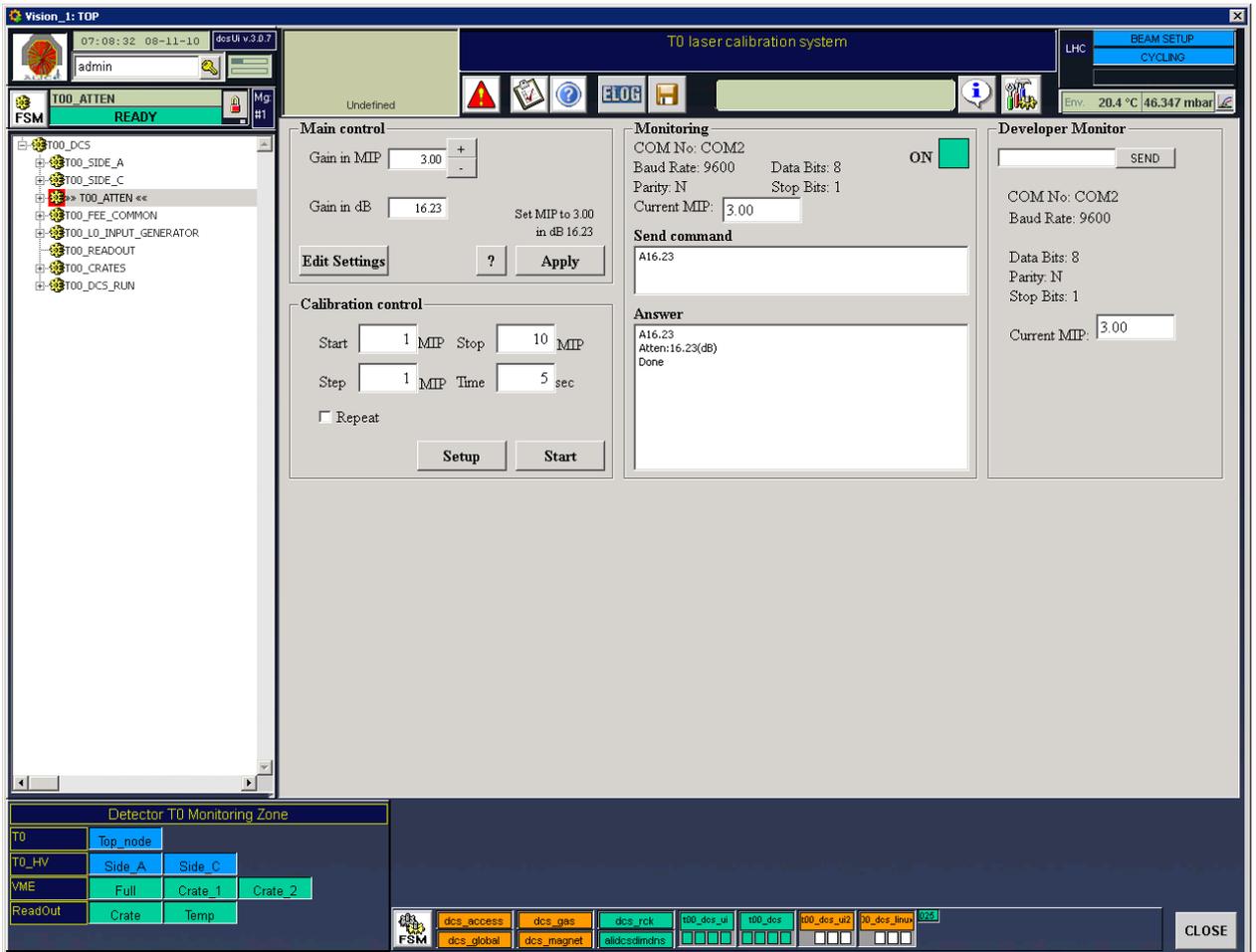


Рис. 44 Панель управления лазерной калибровки детектора T0

На исполнение команды аттенюатору требуется некоторое время, чтобы исключить возможность прерывания исполнения команды оператором, код исполняется в скрипте.

Для обеспечения совместимости скрипта и панели, функции, используемые в них, описаны в библиотеке.

2.6 Расширенные средства управления

Система управления предоставляет большое количество доступных интерфейсов, однако существуют задачи, выполнение которых выходит за рамки возможностей системы управления. В таком случае необходимо разработать дополнительный интерфейс для работы.

Сервер связи с оборудованием

Для удаленной работы с крейтом необходимо иметь программу-сервер, отвечающую за передачу информации от контроллера к компьютеру и обратно.

Ниже приведена схема работы программы. При запуске формируется класс данных для обмена информацией с контроллером, при успешном определении контроллера формируется класс данных для каналов электроники. Задача класса данных электроники сформировать канал связи для приема поступающих от клиента данных (команд) и направить их в блок электроники на исполнение (запись в регистр). При успешной записи данных проводится контрольный запрос модуля на полученные данные (при возможности такой операции), т.е. сервер обращается к модулю с командой прочитать регистр. Прочитанная информация выставляется сервером как сервис и может быть прочитана клиентской частью.

Для организации взаимодействия клиента и сервера используется открытый протокол DIM, разработанный командой разработчиков из CERN.

Приведенный механизм работы успешно используется в работе с детектором в эксперименте ALICE, но он также имеет ряд недостатков, так в программе сервере не предусмотрен механизм проверки данных на ограничения связанные с размером передаваемых данных. На данном этапе такая проверка проводится в клиентской части, что считается достаточным при отладочной и настроенной работе с детектором. Существуют и другие замеченные недостатки, обнаруженные в процессе эксплуатации.

Все замечания будут учтены в новой версии программы, доработка которой ведется непрерывно.

Клиентская часть реализована на базе встроенного механизма работы с ДИМ протоколом в используемой SCADA системе, для чего был написан код конфигурации сервисов и команд.

Описание функциональных особенностей сервера связи

Для управления быстрой электроникой детектора из SCADA системы написана программа-сервер, передающая команды управления в электронику и снимающая текущие настройки для отображения их в системе управления.

Программа использует две дополнительные библиотеки CAENVMElib.lib и dim.lib

Библиотека CAENVMElib.lib отвечает за интерфейс взаимодействия сервера и электроники. При наличии связи с контроллером крейта, могут быть использованы функции чтения и записи регистров.

Библиотека dim.lib позволяет настроить интерфейс взаимодействия сервера с системой управления и контроля, используя механизм передачи данных через сервисы и команды (каналы приема-передачи).

На рисунке представлена схема сервера связи с оборудованием. (Рис. 45)

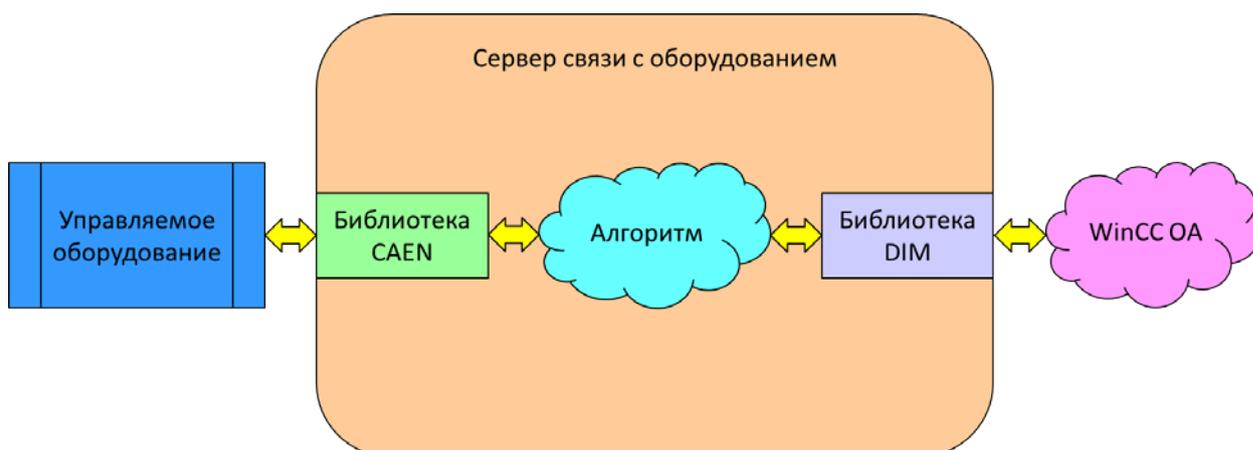


Рис. 45 Схема сервера связи с оборудованием

Клиент-серверное приложение для конфигурации считывающей электроники

Считывающая электроника детектора представляет собой контроллер в интерфейсе VME, и модули считывания данных со специально организованным внутренним буфером.

Управление контроллером крейта стандарта VME со считывающей электроникой осуществляется через оптоволоконный канал. Оптический PCIe

контроллер установлен на компьютере системы управления под управлением операционной средой Linux.

Программное обеспечение конфигурирования считывающей электроники располагается на компьютере под управлением операционной среды Linux. Для инициализации считывающей электроники был подготовлен сервер связи на основе протокола DIM на стороне Linux компьютера, и клиент на стороне системы управления. Управляющий сервер, по команде системы управления, запускает программу конфигурации и в случае успешного исполнения программы возвращает код успешного завершения процедуры.

Сервер использует DNS запущенный на узле оператора.

Сервер запускается под административной учетной записью в режиме автономной работы.

2.7 Система управления экспериментом ALICE, интеграция детектора T0

Группа DCS эксперимента ALICE разработала центральную систему управления детекторами.

Задача центральной системы DCS:

- обеспечить управление оборудованием эксперимента [25] [26]
- обеспечить интерфейс обмена данными со службами CERN (LHC, пожарная команда) [27]
- обеспечить безопасность оборудования эксперимента (газ, электричество, охлаждение) [28]
- обеспечить визуализацию параметров для экспертов
- обеспечить архивацию критических параметров
- обеспечить автоматическую настройку
- обеспечить интерфейс для работы оператора [29]
- обеспечить доступ к документации по системе управления [30]

Центральная система управления контролирует 18 детекторов, каждый из которых имеет собственную систему управления. 100 отдельных систем включены

в одну распределенную систему. Все системы контролируют порядка 1500 устройств.

Каждый детектор имеет автономную систему, основанную на рекомендациях и специальных средствах разработки, предоставляемых центральной системой управления. В общем, управление детектором сильно фрагментировано, представляет собой множество команд низкого уровня, задача эксперта системы управления детектором подготовить систему управления в виде набора стандартных команд, воспринимаемых центральной системой управления.

В то время как система управления детектором в основном подготавливает электронику к работе, центральная система управления устанавливает обмен данными с остальными центральными системами и готовит эксперимент к набору данных.

Система управления экспериментом ALICE успешно выполняет все требования, предъявляемые к ней. [31]

Матрица безопасных состояний

Решение о техническом состоянии детектора, готовности детектора к выводу пучка или сбору данных принимается экспертами детектора. Определив ключевые параметры безопасности, была составлена таблица переменных, состояние которых напрямую влияет на определение безопасности детектора.

Для детектора T0 параметрами определения безопасности детектора являются:

- Высоковольтное напряжение, 24 канала;
- Низковольтное напряжение, 4 канала.

Для оператора центральной системы подготовлен параметр, который однозначно определяет степень защищенности детектора относительно вывода пучка.

Всего имеется 2 уровня защиты детектора: SAFE, SUPERSAFE и противоположный им по смыслу, рабочий режим NOT_SAFE.

Для определения состояния детектора была разработана методика поканального определения состояния и логического объединения состояний в один параметр.

Каждый детектор предоставляет похожую информацию, для эксперимента составляется матрица состояний или матрица безопасности.

Система конечных состояний детектора T0

Важная задача, решаемая АСУ, одновременное управление всеми подсистемами в режиме реального времени. Для этого используется система конечных состояний. Автомат конечных состояний позволяет разбить систему на подсистемы и держать их под постоянным контролем и управлением.

Небольшие программы, написанные на Си-подобном скриптовом языке определяют состояние в котором находится подсистема и позволяет собрать эту информацию в единый центр, таким образом, давая непосредственное представление о реальном состоянии целиком системы.

В систему конечного автомата внесены подсистемы управления напряжением, крейтами и блоками электроники. Так же возникла необходимость следить за состоянием магнитного поля детектора ALICE, для чего была налажена возможность получения интересующей нас информации от системы контроля магнита.

Для управления оборудованием стартового детектора была разработана древовидная структура, где объекты управления, объединенные общим назначением, объединены в отдельные группы. (Рис. 46)

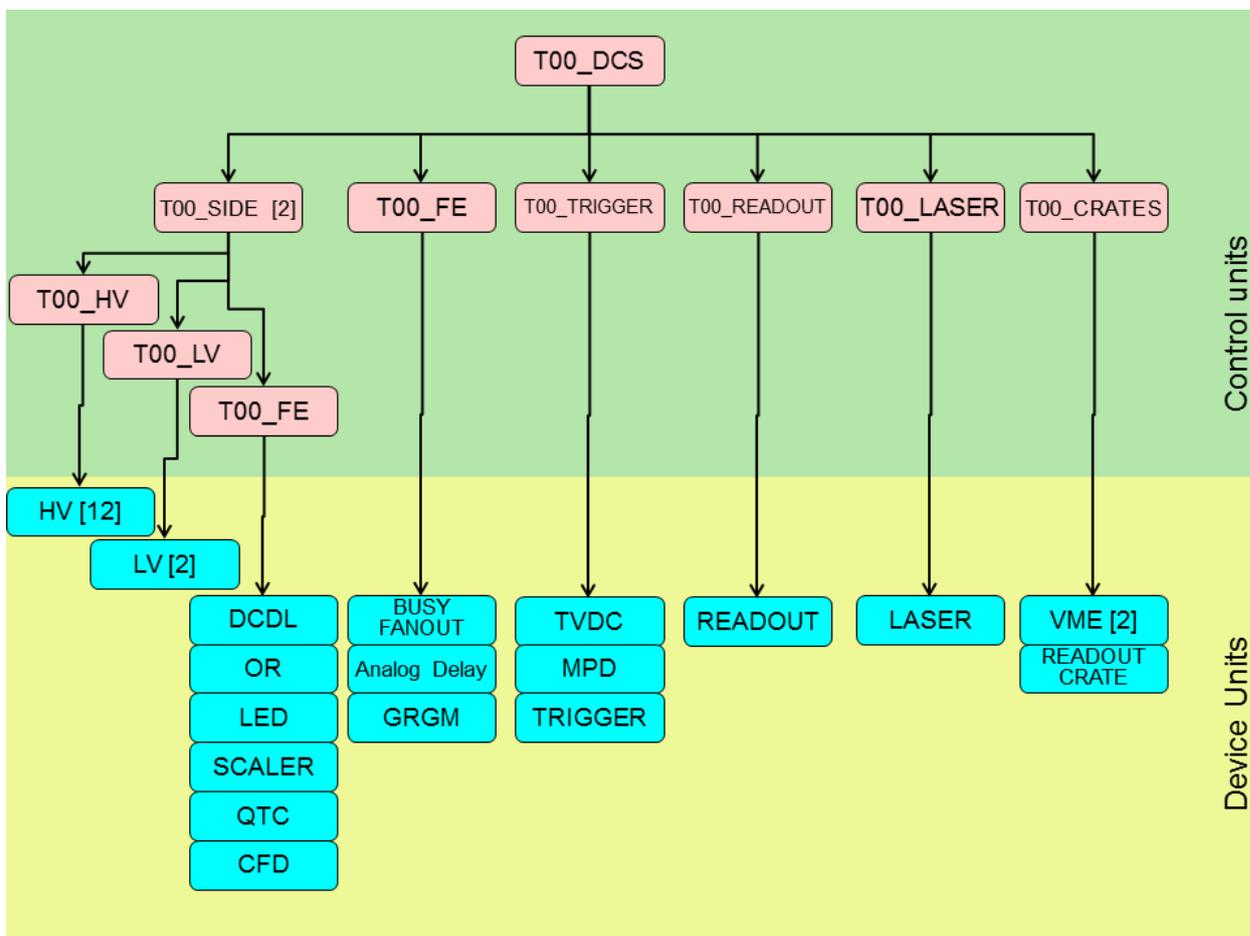


Рис. 46 Структурная схема конечного автомата

В системе управления детектором на главный узел управления должна приходить информация от всех подсистем и на информационной панели отображаться их состояние. Для определения состояния верхнего узла и каждого дочернего, была разработана методика для составления условий перехода из одного состояния в следующее. Метод составления условий переходов основан на систематическом перечислении всех возможных условий переходов для каждого состояния. Таким образом достигается полное перекрытие всех возможных сценариев изменения состояния.

Информация о текущем состоянии детектора, собранная со всех подсистем детектора, может использоваться другими системами.

Так, состояния детекторов собираются со всех систем на центральную систему ECS. Условие готовности детектора ALICE к работе определяется полной готовностью всех детекторов.

Базовая информация о готовности системы собирается от системы управления крейтами питания. При готовности крейтов VME, питающих блоки быстрой электроники и крейта с электроникой read-out, система будет переведена из режима выключен «OFF» в режим предварительной готовности к включению «STANDBY». На рисунке (Рис. 47) приведена схема состояний.

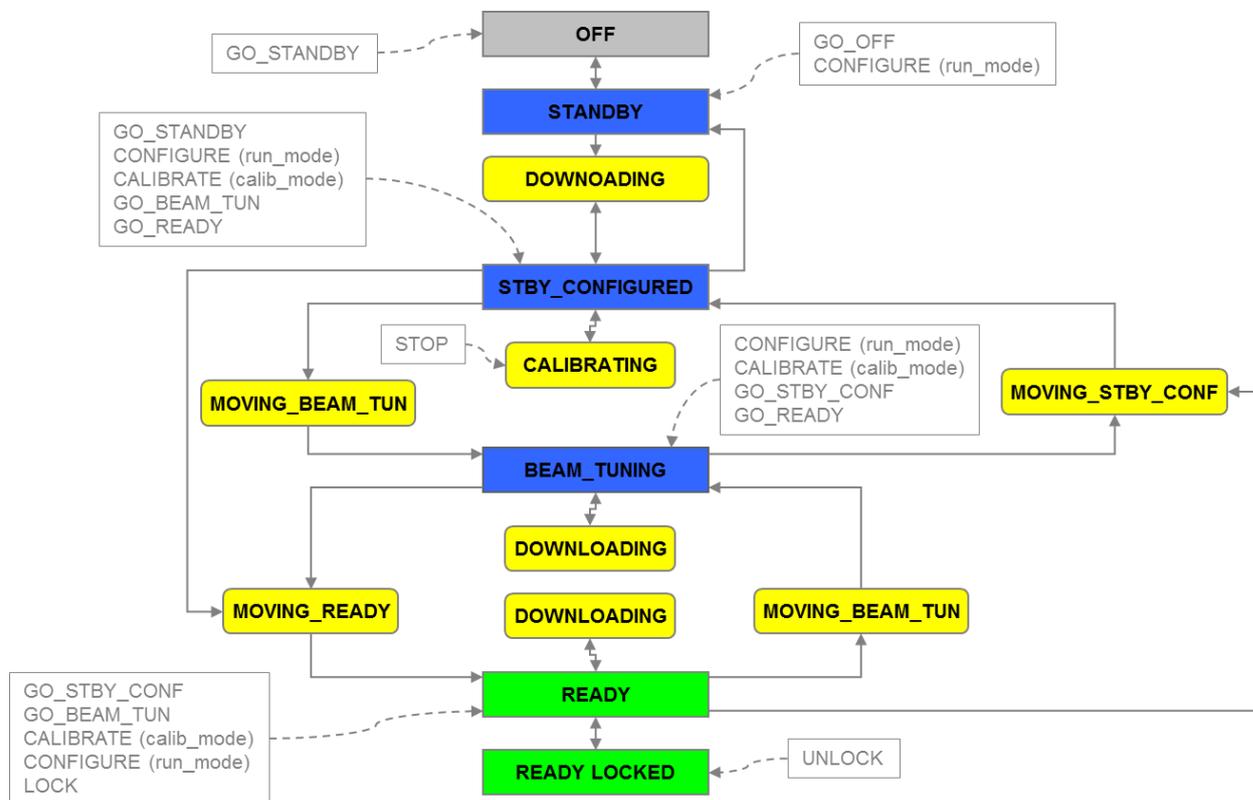


Рис. 47 Схема состояний FSM

В состоянии «STANDBY» каналы электроники находятся в неопределенном состоянии. Для загрузки параметров в каналы необходимо исполнить команду для загрузки параметров из базы данных «CONFIGURE». После этого система находится в состоянии «STBY_CONFIGURED». В этом состоянии каналы готовы, но находятся в неактивном состоянии. По команде «GO_READY», каналы переводятся в активное состояние и готовы к набору данных. Специальный режим «BEAM_TUNING» требуется для безопасной работы детектора во время вывода пучка. В этом состоянии детектор находится в состоянии готовности, но с пониженными напряжениями.

Настройка DIM сервера для удаленного управления блоком формирования триггерных сигналов

В SCADA системе WinCC был настроен сервер, использующий DIM протокол для возможности управления модулем триггерной электроники удаленно. Такой запрос был сделан триггерной группой для обеспечения тестирования триггерной системы детектора Т0 без участия экспертов.

Настройка архивирования параметров системы управления и контроля для препроцессорной обработки SHUTTLE

SHUTTLE - это пакет каркасного расширения для координации 18 детекторов и 5 главных систем для получения, обработки и публикации непрерывного потока данных. Параметры систем, полученные из DCS после завершения набора данных, используются в процедуре “preprocessor” для преобразования в формат данных ROOT и дальнейшей записи в OCDB базу данных. «Preprocessor» специальная процедура, индивидуальная для каждого детектора, для подготовки данных произведенных системами реального времени, как DCS, которые могут затем использоваться в реконструкции событий.

Данные, необходимые для последующей реконструкции, должны быть подготовлены системой DCS. Соответствующие каналы должны иметь логическое имя, известное программе SHUTTLE, и настроены для архивации в базе данных. Описание процедуры настройки архивации приведено в главе «Настройка архивирования параметров» на странице 60. Присвоение логического имени осуществляется в параметре канала: «_original.._common»

2.8 Методы автоматической настройки и калибровки детектора

В рабочем режиме управление детектором осуществляется оператором центрального диспетчерского пульта, и процессы калибровки и настройки должны происходить автоматически, без участия экспертов со стороны детектора Т0.

Благодаря системе автоматического наблюдения и контроля была реализована автоматическая настройка и калибровка детектора.

Автоматическая настройка детектора

Во время набора данных система управления детектора Т0 получает в режиме реального времени интересующие нас параметры от центральной системы DCS. Для детектора Т0 важно значение магнитного поля, так как от этого зависят настройки каналов высоковольтного напряжения. Поэтому перед тем, как будет запущен набор данных, все детекторы и детектор Т0 получают команду на конфигурирование электроники.

Детектор Т0 по команде сверяет значение магнитного поля и загруженной конфигурации. Если значение магнитного поля составляет 0,5 Т, то для настройки каналов применяется конфигурация с повышенными значениями каналов высоковольтной электроники, для компенсации падения амплитуды.

Важной особенностью детектора Т0 является его чувствительность к положению синхросигнала. Для компенсации смещения положения синхросигнала был введен управляемый модуль задержек, который позволяет задерживать сигнал до 32,7 мкс., с шагом в 0,5 нс.

Для автоматической настройки детектора Т0 был предложен метод, который позволяет автоматически подбирать задержку канала синхросигнала, для корректной работы триггерного детектора Т0.

Процедура автоматической настройки происходит следующим образом:

- Считываются каналы выходов модулей OR;
 - Канал 31 для OR_A;
 - Канал 13 для OR_C;
- В случае отсутствия счета хотя бы на одном из них, начинается перебор значений задержки, одновременно анализируя показания счетчиков;
- И канал OR_A и канал OR_C имеют плато в скорости счета, когда размер плато определен, требуется установить задержку таким образом, что оба канала остаются на плато.

Определение задержки возможно только во время сеанса столкновения пучков. Ручная настройка занимает значительное время работы сеанса, до получаса чистого времени набора данных. Процедура автоматической настройки чрезвычайно важна, так как позволяет значительно сократить время поиска задержки и позволяет поддерживать стабильно высоким временное разрешение стартового детектора T0.

Автоматическая калибровка детектора

Калибровка детектора одна из важных задач, необходимая для набора данных. Подробно система описана в главе «Калибровка и функционирование T0 детектора в экспериментах на установке ALICE» на странице 121.

Один из методов калибровки позволяет проводить калибровку перед набором данных в автоматическом режиме. Метод заключается в передаче в систему DCS кода желаемого ослабления лазерной системы во время калибровочного набора данных. Система набора данных отправляет в систему DCS служебную информацию, такую как номер файла набора данных и тип данных, в то время как на блоки электроники подается калибровочный триггер. По соглашению с экспертами системы DAQ в служебную информацию добавлен код конфигурации аттенюатора лазера. Данный метод позволяет осуществлять набор калибровочных данных нажатием одной кнопки.

В системе DCS была создана соответствующая структура данных, где коду конфигурации сопоставляется значение сигнала лазера в терминах однозарядной релятивистской частицы. Так коду 1 соответствует 1 MIP, коду 2 – 1,2 MIP, коду 6 – 2 MIP и т.д. Код 0 отправляется во время стандартного набора данных, и является индикатором отсутствия калибровочного триггера. Всего было запрограммировано 18 кодов и 0 код запрета калибровки.

Как только код появляется в системе DCS, он преобразуется в соответствующее значение MIP и записывается в аттенюатор лазера. Процедура калибровки не требует вмешательства в работу системы DCS, и позволяет

проводить калибровочный набор данных даже не достаточно квалифицированному оператору.

Был предложен новый метод автоматической калибровки детектора, который заключается в возможности калибровки во время набора данных. Как уже было сказано, структура пучка обладает промежутками, в которых нет взаимодействующих частиц. Такие технические промежутки удобно использовать для запуска калибровочного лазера. Таким образом, за время одного полного цикла обращения пучков можно получить несколько калибровочных событий. Тем не менее, такой способ подразумевает фиксированное значение ослабления лазера, так как времени на изменение значения ослабления требуется в несколько раз больше, чем промежуток между двумя калибровочными событиями. Подробнее реализация метода рассмотрена в главе 3.3 «Калибровочная информация во время набора данных».

2.9 Возможности T0 детектора для анализа состояния пучка

При работе с детектором T0 была продемонстрирована возможность использования детектора для наблюдения за пучком. Расположение детектора позволило получать данные в режиме реального времени о состоянии пучка. В системе DCS используется счетчик, показания которого могут считываться и данные по состоянию пучка могут быть переданы в центральную систему управления DCS для дальнейшей обработки и вывода информации на терминал.

Оценка светимости по данным детектора T0

Счетчики, используемые в электронике детектора, позволили делать оценку светимости пучков в эксперименте ALICE в режиме реального времени. [32] Данные о светимости от детектора T0 передаются в проект центрального измерения параметров эксперимента ALICE. Одновременно с детектором V0, детектор T0 является одним из детекторов-люменометров.

Такая оценка стала возможной после вычисления сечения захвата в определенном интервале телесных углов детекторов V0 и T0 во время Ван-дер-Мер

сканирования. Техника этого сканирования заключается в постепенном сведении встречных пучков, сначала в горизонтальном направлении, а затем в вертикальном, и последующим измерением скорости счета при нормировке на интенсивность пучков, на частоту столкновения пучков и на площадь под кривой сканирования. Полученные значения наблюдаемых сечений взаимодействия приведены в таблицах (Таблица 2, Таблица 3) для столкновений p-Pb и Pb-p соответственно. [33] Эти значения при измерении скорости счета детекторов V0 и T0 в физических сеансах используются для расчета светимости столкновения пучков коллайдера, что необходимо для определения абсолютных значений сечений всех исследуемых процессов.

Таблица 2 Наблюдаемые сечения для V0 и T0 детекторов при двух сканирований пучков в p-Pb столкновении при численном и аналитическом анализе. Приведены также средние значения для двух сканирований и статистические ошибки

Method	σ_{V0} [b]			σ_{T0} [b]		
	First scan	Second scan	Average	First scan	Second scan	Average
Numerical	2.087±0.001	2.098±0.001	2.093±0.001	1.590±0.001	1.598±0.001	1.594±0.001
Fit	2.087±0.001	2.099±0.001		1.596±0.001	1.599±0.001	

Таблица 3 Наблюдаемые сечения для V0 и T0 детекторов при двух сканирований пучков в Pb-p столкновении при численном и аналитическом анализе. Приведены также средние значения для двух сканирований и статистические ошибки

Method	σ_{V0} [b]			σ_{T0} [b]		
	First scan	Second scan	Average	First scan	Second scan	Average
Numerical	2.110±0.002	2.141±0.003	2.122±0.002	1.586±0.002	1.607±0.003	1.594±0.002
Fit	2.106±0.002	2.138±0.002		1.581±0.002	1.605±0.002	

Для оценки светимости в системе управления детектором T0 были введены дополнительные переменные по просьбе руководителя проекта мониторинга пучков на установке ALICE.

- Acceptance

- Cross section
- Efficiency
- Unit = Hz/ubarn

Для вычисления светимости по скорости счета была введена формула:

$$\frac{P_1}{P_2 \times P_3 \times P_4} \left[\frac{\text{Hz}}{\text{ubarn}} \right] \quad (8)$$

Где P_1 – счет событий $T0_{\text{vertex}}$, P_2 – Cross section, P_3 – Acceptance, P_4 – Efficiency.

Оценка фоновых событий по данным детектора T0

Благодаря высокому временному разрешению детектора T0 удается анализировать временную структуру пучка и определять произошло ли событие от основного сгустка пучка или от «сателлита» при характерных временных сдвигах 1-2 нс.

На рисунке (Рис. 48) представлен двумерный график, соответствующий вершине $(T0C - T0A)/2$ и времени $(T0A + T0C)/2$ событий. В центре «правильные события», остальные – фоновые взаимодействия. Видно, что события хорошо разделяются и о времени и по вершине взаимодействия. Наблюдаемые диагонали соответствуют взаимодействию с остаточным газом. Отдельный максимум при положительном значении $T0C - T0A$, сдвинутый по времени примерно на 2,5 нс, а по вершине взаимодействия на 70 см, показывает эффект столкновения основного сгустка пучка с сателлитом. Максимум, отделенный от номинальной точки взаимодействия на расстояние по времени на 12 нс и по пучку на 360 см со стороны A, по-видимому, можно объяснить взаимодействием основного сгустка с материалом T0A детектора. Аналогично максимум со сдвигом на 2,5 нс и на 70 см можно объяснить взаимодействием основного сгустка с материалом T0C детектора. Интересный эффект наблюдается при значении $T0C - T0A$ около – 6 нс, где диагональ от взаимодействия пучка с газом превращается в вертикальную прямую, что объясняется регистрацией частиц от столкновений пучок-газ со стороны за T0C детектором, вне установки.

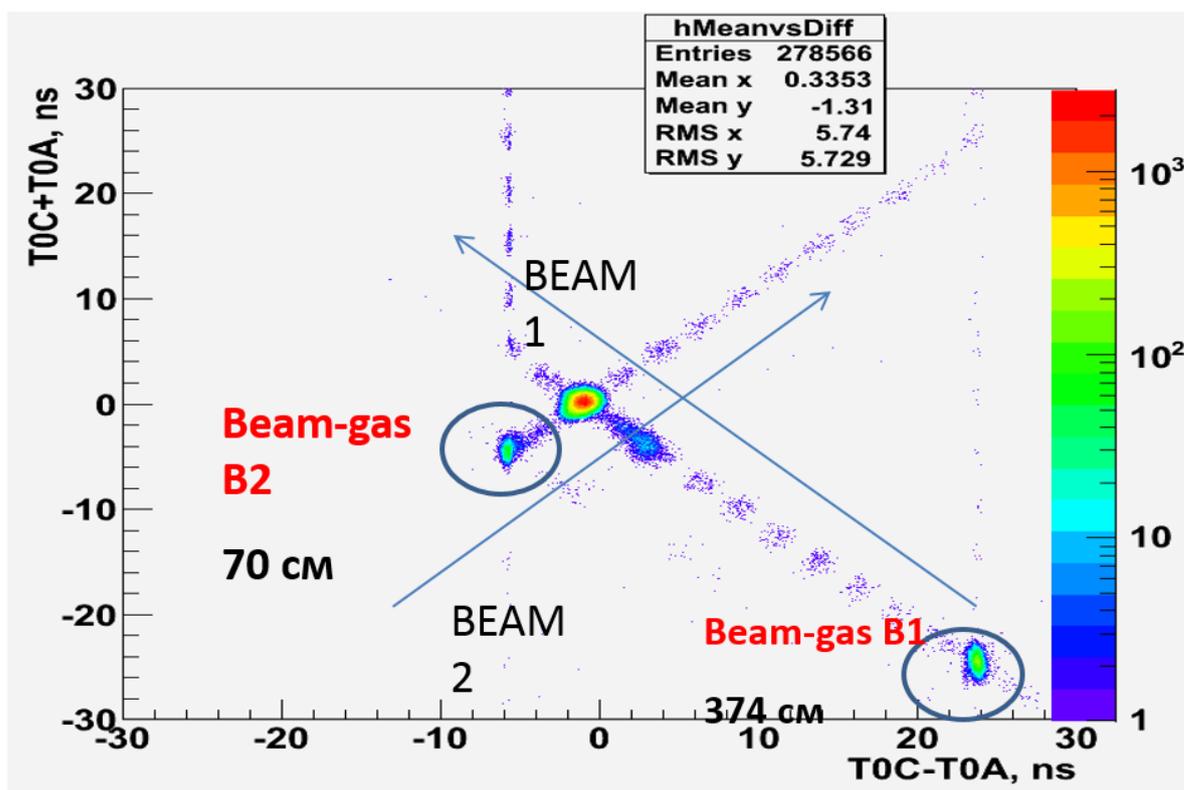


Рис. 48 Двумерное распределение событий по координате и времени для взаимодействия ионов свинца

Таким образом показано, что детектор T0 позволяет оценить фон во время набора данных. Данную функцию не планировалось использовать изначально, но после того, как было показано соответствие измеренного уровня фона с помощью детекторов V0 и T0, было принято решение использования детектора T0 для этой цели в то время как детектор V0 был не доступен.

Для реализации оценки фоновых событий детектором T0 в электронные сигналы были внесены два дополнительных сигнала. T0A & T0C без синхросигнала T0A | T0C без синхросигнала. Данные сигналы подключены к каналам счетчика на позиции 32 и 16 соответственно. Для оценки фона используется формула:

$$T0_BKGD = T0_TOT - OTVX \quad (9)$$

$$T0_TOT = T0A | T0C \quad (10)$$

Где OTVX – сигнал со счетчика 15.

В данных вычислениях присутствует некоторая составляющая светимости ввиду малого акцептанса. Некоторые хорошие события имеют сигнал только с одной стороны, в то время как сигнал OTVX формируется только, когда сигнал присутствует с двух сторон.

На рисунке (Рис. 49) показан результат работы детектора T0 по измерению фона и выводу информации на центральный терминал показателей пучка на установке ALICE.

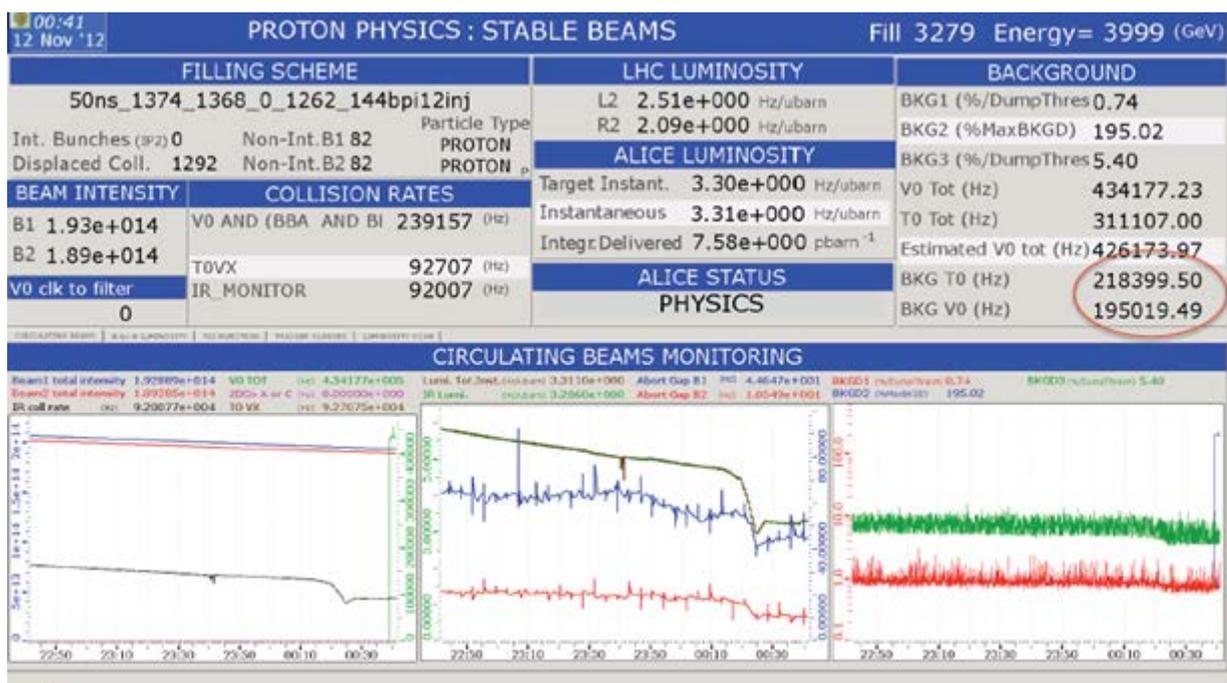


Рис. 49 Информация о фоновых событиях пучка, полученная от детектора T0

2.10 Подготовка оператора для работы с детектором

Разработана и внедрена методика подготовки оператора для работы с системой управления стартового детектора, максимально приближенная к реальным условиям.

Основная задача оператора системы управления детектором состоит в принятии решений. Именно от оператора, в конечном счете, зависит работоспособность детектора и качество набранных данных.

Оператор производит управление детектором в зависимости от условий проведения эксперимента. Несмотря на достаточно высокий уровень

автоматизации системы управления, окончательно решение о изменении состоянии детектора принимает оператор.

Важным фактом является умение оператора быстро и адекватно проанализировать текущую ситуацию на ускорителе и текущее состояние детектора, чтобы принять решение о переводе детектора в рабочее состояние, однако если рабочее состояние не достижимо в виду присутствия неполадок, уметь обнаружить источник неполадок и по возможности восстановить систему.

Многие узлы управления уже имеют инструмент для восстановления рабочего состояния системы после сбоя, однако автоматизированная система не способна провести самостоятельную диагностику причины возникновения неполадки. Поэтому для принятия решение о восстановлении после сбоя необходим оператор.

Тренировочный проект

Для подготовки операторов для работы с системой управления детектором Т0 был подготовлен проект, в котором эмулируется работа оборудования, таким образом, оператор не может влиять на работу установки, но может протестировать работу системы и ее отдельных узлов.

2.11 Выводы к главе 2

- 1) Разработана методика построения модульной системы контроля и управления, основанная на современном программном продукте WinCC.
- 2) Рассмотрена, созданная автором диссертации, автоматизированная система диспетчерского контроля и управления детектором Т0, и интеграция в систему управления экспериментом ALICE (DCS- Detector Control System или Slow Control).
- 3) На базе современного комплекса SCADA системы была разработана не имеющая аналогов система автоматической настройки детектора в зависимости от состояния инфраструктуры эксперимента, оценка

- светимости и фона встречных пучков, автоматическая калибровка и автоматизированная настройка временных характеристик детектора.
- 4) Предложена распределенная система управления для улучшения быстродействия, основанная на построении диспетчерского графического интерфейса для взаимодействия с оператором.
 - 5) Проведена настройка системы управления оборудованием детектора Т0 и создано 6 панелей управления системой DCS и 20 панелей для управления блоками и каналами детектора.
 - 6) Разработана методика управления системой лазерной калибровки на основе пикосекундного лазера P1L040G и управляемого оптического аттенюатора.
 - 7) Рассмотрены результаты использования детектора Т0 для определения светимости коллайдера и выделения фоновых событий.
 - 8) Создан тренировочный проект для подготовки операторов для работы с системой контроля и управления.

Глава 3 Калибровка и функционирование T0 детектора в экспериментах на установке ALICE

Для настройки и тестирования детектора T0 в его состав включена лазерная система, позволяющая осуществлять настройку временных параметров с требуемой точностью. Импульсный полупроводниковый лазер запускается сигналами с центрального триггерного процессора, Central Trigger Processor (CTP) ALICE так, что срабатывание лазера происходит в отсутствие сгустков (такой интервал длительностью ≈ 3 мкс. появляется в структуре каждые 89 мкс.).

3.1 Конструкция системы лазерной калибровки

Основой системы лазерной калибровки является лазер P1L40G (Рис. 50) фирмы advance photonic system с длительностью импульса менее 40 пс. И длиной волны 400 нм. Такая длина волны соответствует максимальной спектральной чувствительности фотоумножителей используемых в качестве детектора.



Рис. 50 P1L40G импульсный лазер фирмы APS

Импульсный лазер соединен с системой оптических волокон, состоящих из оптического аттенюатора и системы оптических делителей, посредством которых

световые импульсы подаются на 24 детектора одновременно. Упрощённая структурная диаграмма лазерной калибровки показана на рисунке. (Рис. 51)

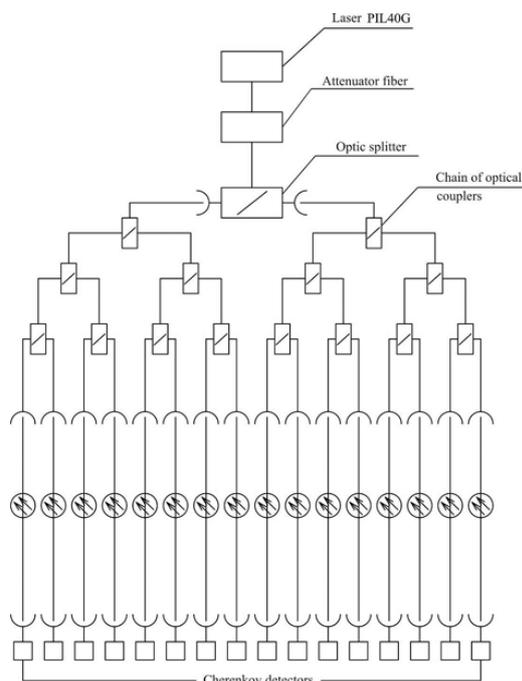


Рис. 51 Структурная схема лазерной системы для калибровки детекторов

Выходной оптический сигнал лазера подается через фокусирующее устройство на оптический аттенюатор, что позволяет изменять амплитуду импульса в широком диапазоне. От выхода оптического аттенюатора сигнал подается на оптический делитель, который состоит из оптической пластины, которая разделяет с малыми потерями импульсный сигнал на 2 канала. На выходе делителя стоят FC оптические разъемы. Дальнейшее разделение оптических импульсов на 24 канала должно быть выполнено с помощью цепочки оптических разветвителей на оптических волокнах. (Рис. 52)

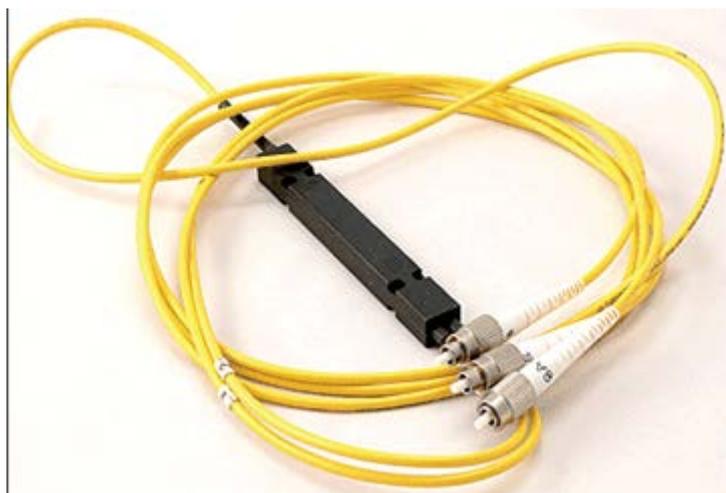


Рис. 52 Общий вид оптического разветвителя с фактором разветвления 50 на 50, соединенного с разъемом FC

Потеря светового потока на каждом разветвителе достигает 3 дБ. После разветвителя импульсный сигнал подается на 24 канала и передается на черенковские детекторы с помощью оптических волокон OZ optics LTD, которые предназначены для передачи оптического сигнала с длиной волны примерно 400 нм. Оптические волокна заключены в оболочку из защитного пластика диаметром 3 мм и оканчиваются оптическими разъемами типа FC.

Длина всех кабелей должна быть одинакова и может быть сделана длиной от 10 до 30 м. Длины оптических волокон одинаковы с точностью 5 мм. Оптические волокна должны давать одновременно импульс на все детекторы без нарушения времени начала сигнала и с минимальными потерями. Поскольку оптические волокна не закреплены внутри защитной оболочки возникает задержка сигнала в оптических волокнах с разной геометрической длиной. Это должно быть учтено при построении линии лазерной калибровки и отбора ее элементов. Необходимо выполнять точную подстройку времени задержки в каждом канале калибровки. Поскольку практически невозможно сделать одинаковую задержку всех каналов, возможно расхождение по времени оптических сигналов, и различие задержек

может быть скорректировано с помощью управляемых цифровых пикосекундных линий, размещенных на выходах детектора. С целью передачи оптических сигналов на черенковские детекторы, оснащенные ФЭУ 187, сконструирован специальный оптический переходник. (Рис. 53)

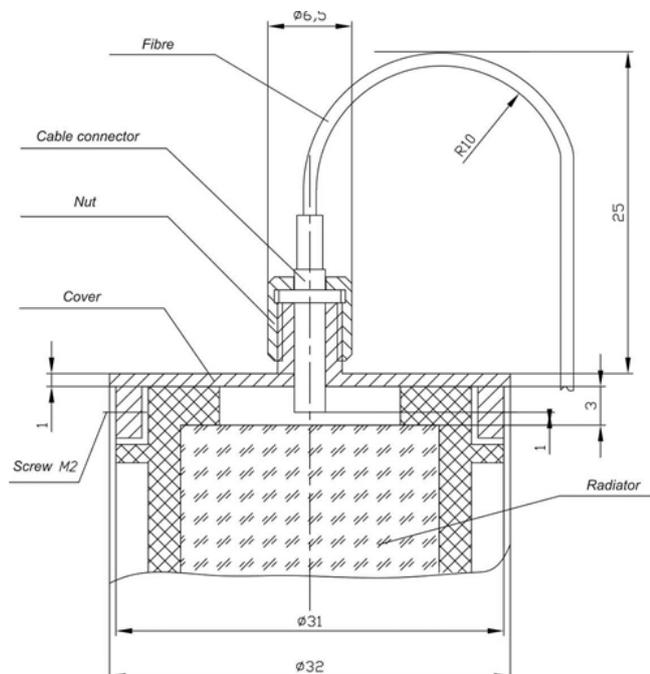


Рис. 53 Узел сопряжения для подачи оптического сигнала на черенковский детектор

Этот переходник состоит из направляющего рукава на плоскость детектора, где керамический переходник для оптического волокна фиксируется с помощью фиксирующего колпачка. Такая конструкция позволяет быстро заменять подающую часть волокна и обеспечивает перпендикулярность направления светового импульса по отношению к плоскости радиатора черенковского детектора.

Использование тонкого оптического волокна с оболочкой 0,9 мм в диаметре позволяет значительно уменьшить площадь радиатора, закрытую инжектирующей системой и обеспечить необходимый радиус оптического волокна. Такая конструкция позволяет эффективно подавать оптический сигнал на черенковский радиатор. Оптические волокна фирмы OZ optics LTD имеющие длину 1,5 м и имеющие пластиковую оболочку 3 мм в диаметре используется во входной системе

лазерной калибровки. Наконечник сегментов оптических волокон оканчивается FC разъемом, который позволяет соединить оптические волокна с оптической калибровочной системой. Кончик оптического волокна, заведенный на радиатор детектора, не закреплен в защитной оболочке, чтобы уменьшить радиус кривизны оптического волокна.

Все разъемы соединения оптических волокон и оптических разъемов соединяются оптическими переходниками типа FC, показанными на рисунке ниже (Рис. 54).



Рис. 54 Оптический переходник FC типа

Эти оптические переходники обеспечивают соединение одномодовых волокон с потерями 0,2 дБ

3.2 Подготовка детектора к измерениям

Одной из основных целей детектора T0 является точное определение времени взаимодействия (точная временная привязка «T0»). Это время используется ТОФ детектором как ноль, относительно которого считаются время пролета частиц.

В процессе реконструкции необходимо:

- выбрать самое первое сработавшее ФЭУ с каждой стороны ТА и ТС;
- вычислить среднее время срабатывания $(T0A+T0C)/2$: эта величина показывает время взаимодействия не зависящее от положения точки взаимодействия.

Чтобы правильно выбрать самое первое ФЭУ, надо точно знать величины, на которые нужно сдвинуть измеренное время, чтобы компенсировать разницу

задержек в кабелях и электронике, а также время-амплитудную зависимость электроники.

Калибровка детектора T0 состоит из 2х частей:

- 1) выравнивание задержек во временных каналах;
- 2) измерение время-амплитудной зависимости для каждого канала.

Все калибровочные данные записываются в специальную, общую для всех детекторов, базу данных (OCDB), которая хранится в AliEn и используется при реконструкции событий.

Процедуру калибровки детектора придется проводить несколько раз:

- В отсутствие магнитного поля. Необходимо настроить систему и проверить характеристики и соответствие работы всех модулей.
- После включения магнита. С помощью импульсного лазера процедуру калибровки детектора необходимо повторить. При включении магнитного поля амплитуды сигналов с фотоумножителей уменьшатся для каждого ФЭУ индивидуально. Для того, чтобы сохранить одинаковыми амплитуды, придётся менять напряжение на ФЭУ, что неизбежно приведёт к незначительному изменению задержек в каналах.

Выравнивание задержек во временных каналах.

В связи с тем, что задержки в кабелях и электронике не могут быть измерены заранее с пикосекундной точностью (длина кабелей по которым сигнал идет к считывающей электронике различна для лазера и физических данных) T0 использует программу online калибровки DA (detector algorithm). Эта программа все время пока идет набор физических данных накапливает гистограммы разницы времени прихода частиц на первый и все остальные детекторы – (T1A-TiA) и (T1C-TiC) – всего 24 гистограммы. После того как в этих гистограммах накапливается 20000 событий они фитируются и определяется среднее значение сдвига между каналами. С учетом этих сдвигов в каждом из последующих событий определяется наименьшее время прилета со сторон A и C, и в специальную гистограмму Z вычисляется и записывается координата точки взаимодействия в единицах

измерения «номер канала». Пределы всех гистограмм находятся в специальном файле и могут изменяться по мере необходимости. Результатом работы DA являются 25 одномерных гистограмм. В конце каждого набора данных автоматически запускается программа SHUTTLE, которая собирает со всех детекторов результаты работы DA и записывает их в OCDB, чтобы их можно было использовать для offline калибровки перед реконструкцией.

Измерение время амплитудной характеристики

Время-амплитудная характеристика является уникальной для каждого временного канала и может меняться при изменении температуры и атмосферного давления. Для того чтобы временной сдвиг, вызванный разницей амплитуд сигналов, правильно учитывался при реконструкции необходимо в перерывах между набором физических данных запускать специальный набор данных.

3.3 Калибровочная информация во время набора данных

Первоначально предполагалось, что лазерная система калибровки предназначена только для настройки и калибровки двадцати четырех временных и амплитудных каналов детектора T0. Однако для контроля временных, амплитудных и триггерных параметров детектора во время набора физических данных потребовалось использование лазерной системы калибровки. Для запуска лазерной системы используется специальный калибровочный триггер. Стратегия такого триггера состоит в том, что во время работы LHC существует период, когда нет столкновения протонов или ионов. Этот период называется “Long gap”, его длительность 119 BC или 2,975 мкс. В это время центральный триггерный процессор подает на детектор T0 по оптической линии TTC пре-импульс (pre-pulser) за 2 микросекунды до передачи стандартной последовательности триггерных сигналов (L0, L1, L2a). По сигналу pre-pulser запускается лазерная система и по триггеру L2a данные передаются в систему считывания данных (DAQ). Так как детектор T0 является триггерным детектором, поэтому сигналы с детектора от лазерной системы также формируют триггерные сигналы L0, что

может инициализировать ложную последовательность триггеров. Была разработана специальная версия модуля (TUT0), которая позволяет увеличить количество триггерных сигналов от детектора T0 до 6 и обеспечивает программируемую блокировку триггерных сигналов от лазерной системы.

Использование новых возможностей тиггерной системы позволяет осуществлять контроль над качеством набираемых данных по специальному триггеру. В течение каждого физического набора данных во время “Long gap” включается система лазерной калибровки для проверки работы детектора. Спектры от лазера фиксированной амплитуды хорошо показывают проблемы детектора и электроники. Шесть гистограмм выводятся на панель дежурного: эффективность временных, амплитудных и триггерных каналов, а также положение временных сигналов CFD и LED для каждого ФЭУ. Это положение программа мониторинга (AMORE) сравнивает с правильным положением спектра и сигнализирует в случае проблем.

3.4 Исследование физических характеристик детектора в магнитном поле до 0,5 тесла

В CERN в ноябре 2009 года были проведены измерения зависимости коэффициента усиления фотоумножителей от напряженности магнитного поля для всех ФЭУ. В связи с необходимостью выбора рабочих напряжений фотоумножителей таким образом, чтобы можно было работать в широком диапазоне амплитуд сигналов ФЭУ 187, средний ток фотоумножителя при всех ожидаемых загрузках согласно технической спецификации не должен превышать значения 2 микроампера и амплитуда сигнала не зависела от напряженности магнитного поля .

Поскольку все образцы и фотоумножителей имеют разные напряжения питания при номинальном (максимальном) усилении $\sim 10^6$, измерения проводились следующим образом. Для каждого фотоумножителя выбиралось значения рабочих напряжений, при которых усиление было равно усилению в отсутствие магнитного поля.

Далее при выбранных значениях рабочих напряжений проводились измерения амплитуды при разных значениях внешнего магнитного поля. Результаты измерений приведены на рисунке (Рис. 55). На рисунке черным цветом показана зависимость амплитуды выходного сигнала детектора Т0-С от количества МIP при отсутствии магнитного поля и красным цветом при напряженности магнитного поля 0,5 Т при одних и тех же значениях напряжений на ФЭУ. На рисунках видно значительное уменьшение коэффициента усиления фотоумножителей при значениях напряженности магнитного поля 0,5 Т. Зеленым цветом показана зависимость амплитуды при повышенных значениях напряжения.

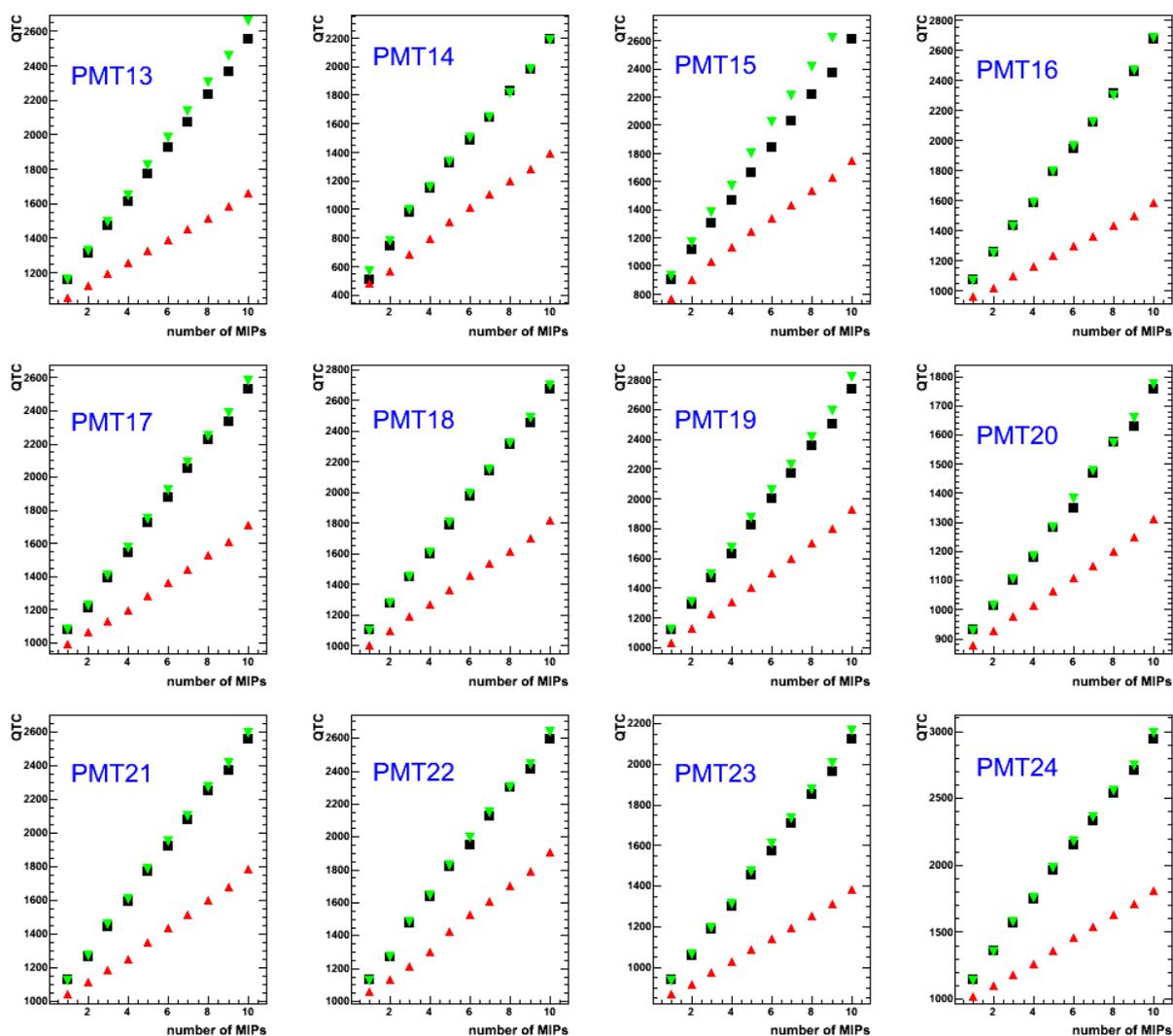


Рис. 55 Зависимость амплитуды выходного сигнала детектора Т0-А от числа релятивистских части (MIP) без магнитного поля и при воздействии магнитного поля

Наблюдаются некоторые изменения задержек в зависимости от напряженности магнитного поля, причем эта зависимость несколько меняется в зависимости от приложенного напряжения. Изменения задержки составляют величину порядка 100-150 пс. при поле 0,5 Тл, что будет необходимо учитывать при настройке и калибровке детектора.

3.5 Выводы к главе 3

- 1) Приведена конструкция системы лазерной калибровки на основе пикосекундного лазера, и методика калибровки и настройки временных параметров детектора Т0 в промежутках между сгустками пучка.
- 2) Изложен метод одновременной калибровки 24-х черенковских счетчиков детектора Т0 с помощью оптического аттенюатора и системы оптических делителей.
- 3) Рассмотрена последовательность подготовки детектора к измерениям: выравнивание задержек во временных каналах; измерение время-амплитудной зависимости для каждого канала и контроль достигнутого временного разрешения на уровне 50 пикосекунд.
- 4) Приведены результаты измерения зависимости коэффициента усиления фотоумножителей от напряженности магнитного поля для всех ФЭУ.

Глава 4 Физические результаты о столкновении протонов и ядер, полученные на установке ALICE

Благодаря высокому временному разрешению, детектор T0 используется времяпролетной системой для идентификации частиц. Точное время взаимодействия, определяемое детектором T0 для запуска времяпролетной системы, обеспечивается с разрешением 40 пикосекунд для столкновения протонов и 25 пикосекунд для столкновения ядер свинца, что позволяет идентифицировать пионы, каоны и протоны до значения импульса несколько ГэВ/с. Расположенный при больших значениях быстрой детектор T0 дает информацию о множественности и о распределении по псевдобыстроте заряженных частиц дополнительно к данным V0 и FMD детекторов. В последующих разделах рассмотрены некоторые физические результаты, полученные с использованием детектора T0.

Выдающиеся параметры детектора T0 позволили предложить на основе имеющихся разработок проект создания модернизированного детектора FIT (fast interaction trigger), который, возможно, начнет работать в третьем сеансе на LHC в 2018 году.

4.1 Измерение зависимости распределения заряженных частиц от псевдобыстроты при столкновении ядер свинца при энергии 2,76 ТэВ.

Получение данных о распределении заряженных частиц в зависимости от псевдобыстроты позволяет получить информацию о новом состоянии ядерной материи при сверхвысоких температурах и сжатии, создаваемых при столкновении ультрарелятивистских тяжелых ионов. Это распределение зависит от механизма рождения заряженных частиц и от начальных условий столкновения ядер. Оно может быть описано в моделях, учитывающих жесткое рассеяние и вклад мягких процессов. Измерение этого распределения при энергиях LHC необходимо для исследования механизма продольного скейлинга при сравнении с данными, полученными при более низких энергиях на коллайдере RHIC [34], [35], [36].

Первые результаты о зависимости распределения заряженных частиц от псевдобыстроты на коллайдере LHC были получены в работах [37], [38]. Данные полученные на детекторе T0 дополняют результаты детекторов V0, FMD и SPD, которые имеют больший захват по псевдобыстроте: V0-A $2,8 < \eta < 5,1$ и $-3,7 < \eta < -1,7$, FMD $1,7 < \eta < 5,0$ и $-3,4 < \eta < -1,7$, SPD $|\eta| < 2$ и $|\eta| < 1,4$ для внутренних и внешних слоев. Конструкции и расположение этих детекторов кратко рассмотрены во введении диссертации. Детектор T0 имеет значительно меньший захват по псевдобыстроте $-3,28 < \eta < -2,97$ и $4,61 < \eta < 4,92$. Однако, большая достоверность данных и отбор фоновых событий позволяет получать результаты с меньшими статистическими и систематическими ошибками.

Основной трудностью при анализе данных детекторов при больших быстротах является получение информации о реальных фоновых частицах, возникающих при взаимодействии первичных частиц с материалом детекторов. Малая плотность материалов, из которых изготовлены центральные детекторы внутреннего треккера, ограничивают число вторичных частиц. Однако, различные служебные конструкции, такие как трубки для охлаждения детекторов, кабели для считывания информации, дают значительный вклад в поток вторичных частиц, который иногда достигает до 200% от первичных, что было получено при симулировании по методу Монте-Карло. Для оценки фона вторичных частиц в детекторах V0, T0 и FMD были проведены дополнительные измерения на, так называемых, «сателлитных» сгустках пучка, отделенных от основных на 2,5 наносекунды. При этом вершина взаимодействия сдвигается на 37,5 см в продольном направлении и при этом первичные частицы не проходят через значительную часть материала, которая имеется при рождении в номинальной вершине. При этом также увеличивается интервал доступных псевдобыстрот, которые перекрываются с интервалом псевдобыстрот детектора SPD, что позволяет нормировать данные детекторов V0, T0 и FMD на данные SPD, где роль вторичных частиц невелика.

Распределения заряженных частиц в зависимости от псевдобыстроты должны быть измерены при различных значениях центральности столкновения. Эта информация была получена из данных детекторов ZDC и ZEM (калориметры под нулевым углом) по величине энергии, выделяемой в ZDC спектаторными нуклонами и по числу частиц, рождаемых при малых углах и регистрируемых детектором ZEM [39]. Конструкция этих детекторов описана во введении. Число спектаторных нуклонов уменьшается для более центральных событий, в то время, как число частиц, испускаемых под малыми углами, имеет обратную зависимость. Все события были разделены на пять классов по центральности (0-5%, 5-10%, 10-20%, 20-30%, 30-40%).

На рисунке ниже (Рис. 56) приведены зависимости плотности распределения заряженных частиц от псевдобыстроты для пяти интервалов по центральности столкновения.

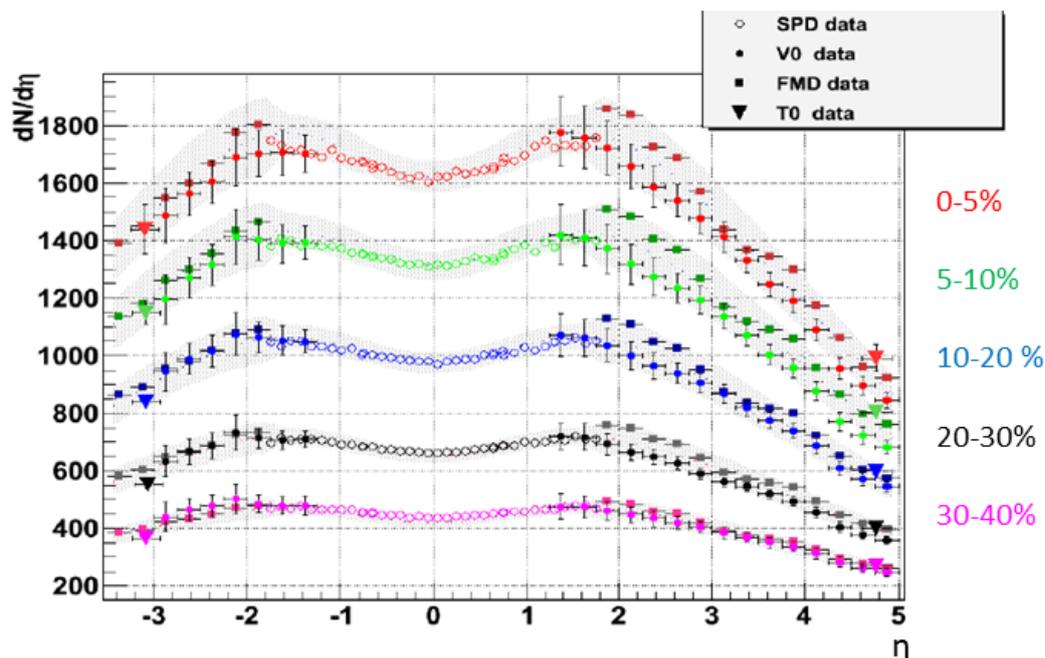
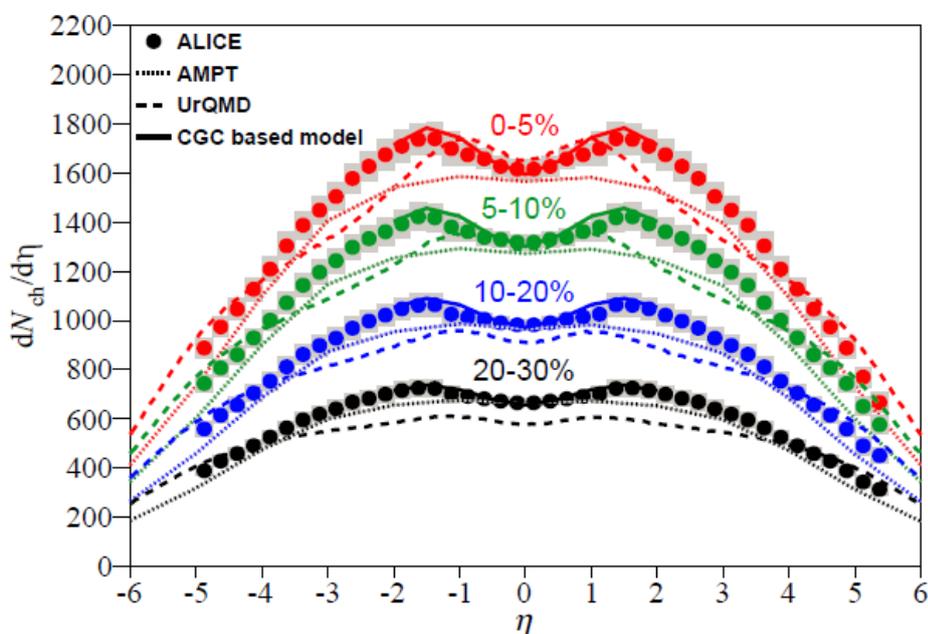


Рис. 56 Распределение плотности первичных заряженных частиц при столкновении ядер свинца с энергией 2,76 ТэВ на нуклон [40]

Приведенные ошибки экспериментальных точек включают как статистические, так и систематические ошибки. Систематические ошибки

определяются, в основном, данными SPD детектора, центрального трекера ITS, поскольку нормализация всех данных сделана по данным SPD. Их оценка приведена в работе [41].



**Рис. 57 Сравнение экспериментальных данных с теоретическими расчетами
(Из работы [38])**

Сравнение полученных данных с результатами расчетов по некоторым моделям [42], [43], [44], [45] показано на рисунке выше (Рис. 57).

На рисунке ниже (Рис. 58) показано, насколько хорошо выполняется условие продольного скейлинга, когда выход частиц в системе одной из сталкивающихся частиц не зависит от энергии пучка [46], а определяется только величиной $\eta' = \eta - y_{\text{beam}}$ в области фрагментации налетающей частицы (так называемая, предельная фрагментация).

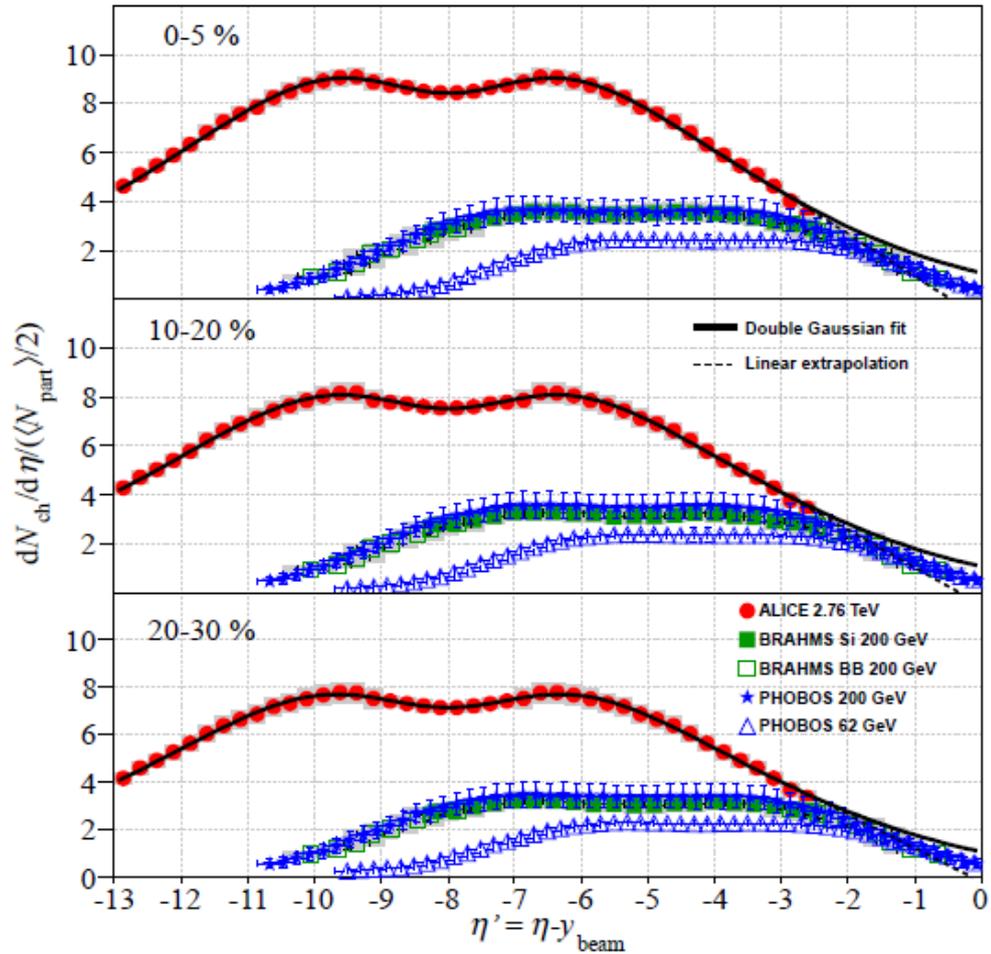


Рис. 58 Сравнение зависимости плотности распределения по псевдобыстроте от энергии в системе координат налетающего ядра при трех значениях центральности (Из работы [38])

4.2 Измерение множественности при столкновении p-p, p-Pb и Pb-Pb.

Сравнение множественности заряженных частиц, рожденных при столкновении протонов с протонами, протонов с ядрами свинца и ядер свинца с ядрами свинца, позволяет получить информацию о роли коллективных эффектов при столкновении ультррелятивистских ядер на ЛНС. Поскольку значение множественности зависит от достигнутой при столкновении плотности энергии, она входит в расчеты всех наблюдаемых величин. Однако, несмотря на такую важную роль множественности, теоретические расчеты, основанные на

лагранжиане КХД давали самые различные оценки, в основном, в сторону превышения, как множественности при энергиях RICH из данных на SPS, так и при энергиях на LHC из данных на RHIC. Необходима разработка непертурбативных моделей КХД на достаточно больших радиусах взаимодействия. Поэтому измерение множественности при столкновении протонов и ядер на LHC является первоочередной задачей. При этом измерение множественности должно быть проведено при нескольких значениях прицельного параметра столкновения от наиболее центральных до периферических взаимодействий. Степень центральности столкновений может быть также выражена через число нуклонов, участвующих во взаимодействии. Как было рассмотрено в предыдущем разделе, эта величина может быть получена с помощью детектора ZDC по значениям числа спектаторов или по числу частиц, рождаемых под малыми углами и регистрируемых детектором ZEM. Измерение множественности заряженных частиц выполняется детекторами центрального трекера при значениях псевдобыстрот $-1 < \eta < +1$ и детекторами V0, T0 и FMD при больших псевдобыстротах.

На рисунке ниже (Рис. 59) приведены распределения множественности в зависимости от числа взаимодействующих нуклонов при столкновении ядер свинца, т.е. в зависимости от центральности столкновения при псевдобыстротах детекторов центрального трекера [41].

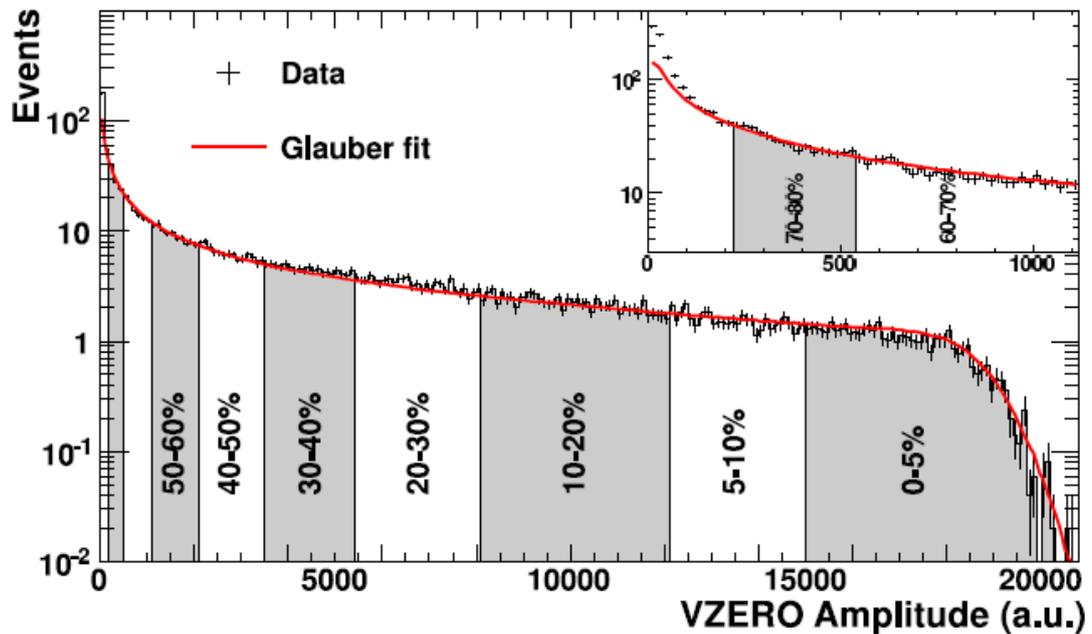


Рис. 59 Распределение амплитуд сцинтилляционных счетчиков V0 детектора при различных центральностях столкновения ядер свинца и описание по модели Глаубера (Из работы [41])

С точностью до нормировки эти данные хорошо описываются по модели Глаубера. В качестве параметра центральности использованы данные об амплитуде сигналов заряженных частиц на V0 детекторе, т.е. больший сигнал соответствует большей центральности столкновения.

Важно также сравнить величины выхода заряженных частиц на пару взаимодействующих нуклонов $\frac{dN}{d\eta} / \frac{N_{part}}{2}$ на единицу псевдобыстроты при энергиях RHIC и LHC. Из рисунка ниже (Рис. 60) видно, что число рожденных при столкновении заряженных частиц при увеличении энергии от 0,2 ТэВ до 2,76 ТэВ растет примерно в два раза, но характер зависимости от среднего числа взаимодействующих нуклонов остается прежним. Для примера на рисунке также приведены величины множественности для столкновения протонов с протонами, т.е. при $N_{part} = 2$, что хорошо укладывается в общую зависимость.

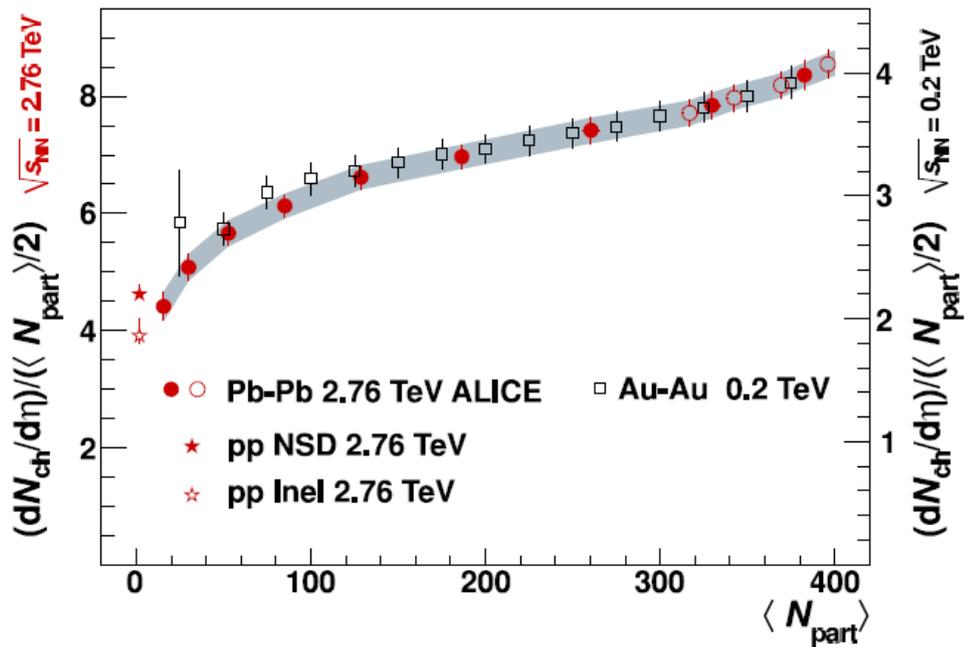


Рис. 60 Зависимость плотности распределения множественности заряженных частиц на пару взаимодействующих нуклонов от числа взаимодействующих нуклонов по данным ALICE - шкала слева, и по данным RHIC - шкала справа (Из работы [41])

Зависимость множественности от энергии \sqrt{s} для столкновения протонов и ядер показана на рисунке ниже (Рис. 61), где приведены данные нескольких экспериментов на RHIC, NA50 и ALICE. [37] Наблюдается рост выхода заряженных частиц на единицу псевдобыстроты в 4 раза по сравнению с данными SPS. Увеличение выхода заряженных частиц для столкновения ядер по сравнению со столкновениями протонов и протонов с антипротонами не так велико, как предполагалось раньше, только в 2 раза при энергиях 2,76 ТэВ.

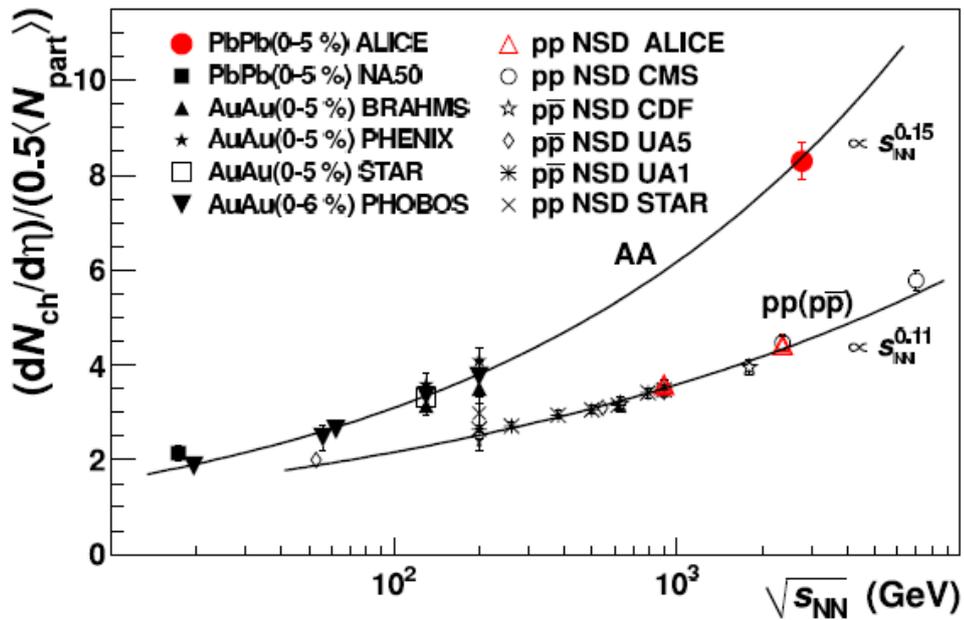


Рис. 61 Зависимость плотности распределения множественности заряженных частиц на пару взаимодействующих нуклонов на единицу псевдобыстроты от энергии для центральных столкновений ядер и для не одно-частичных дифракционных столкновений протонов и антипротонов (Из работы [37])

Более информативно, чем просто измерение множественности при различных значениях центральности столкновения является исследование зависимости среднего поперечного импульса $\langle p_T \rangle$ от множественности [47]. Эти данные позволяют исследовать механизм рождения заряженных частиц.

4.3 Определение угла плоскости реакции при столкновении ядер свинца

Данные T0 детектора были использованы для исследования коллективных эффектов при столкновении ультррелятивистских ядер, приводящих к анизотропии потока рожденных при взаимодействии частиц [48]. Для определения параметров анизотропии при использовании данных TPC детектора необходимо определение положения плоскости реакции. Угол плоскости реакции может быть определен по азимутальному распределению рожденных заряженных частиц в детекторах V0, T0 и FMD или по регистрации спектров в детекторе ZDC. Для определения вектора плоскости реакции (плоскости симметрии) было необходимо

ввести ряд поправок в полученные данные детекторов V0, T0 и FMD, такие как уравнивание коэффициентов усиления в разных каналах детекторов, введение поправок на неоднородность и на неточность выстроенности детекторов. В результате анализа по методу использования данных от 3-х детекторов для одного и того же события [49] были получены значения разрешения угла плоскости реакции при различных комбинациях детекторов и для различных центральных соударения. Как видно из рисунка ниже (Рис. 62), наилучшее разрешение получено для T0 детектора совместно с TPC и V0C (или V0A).

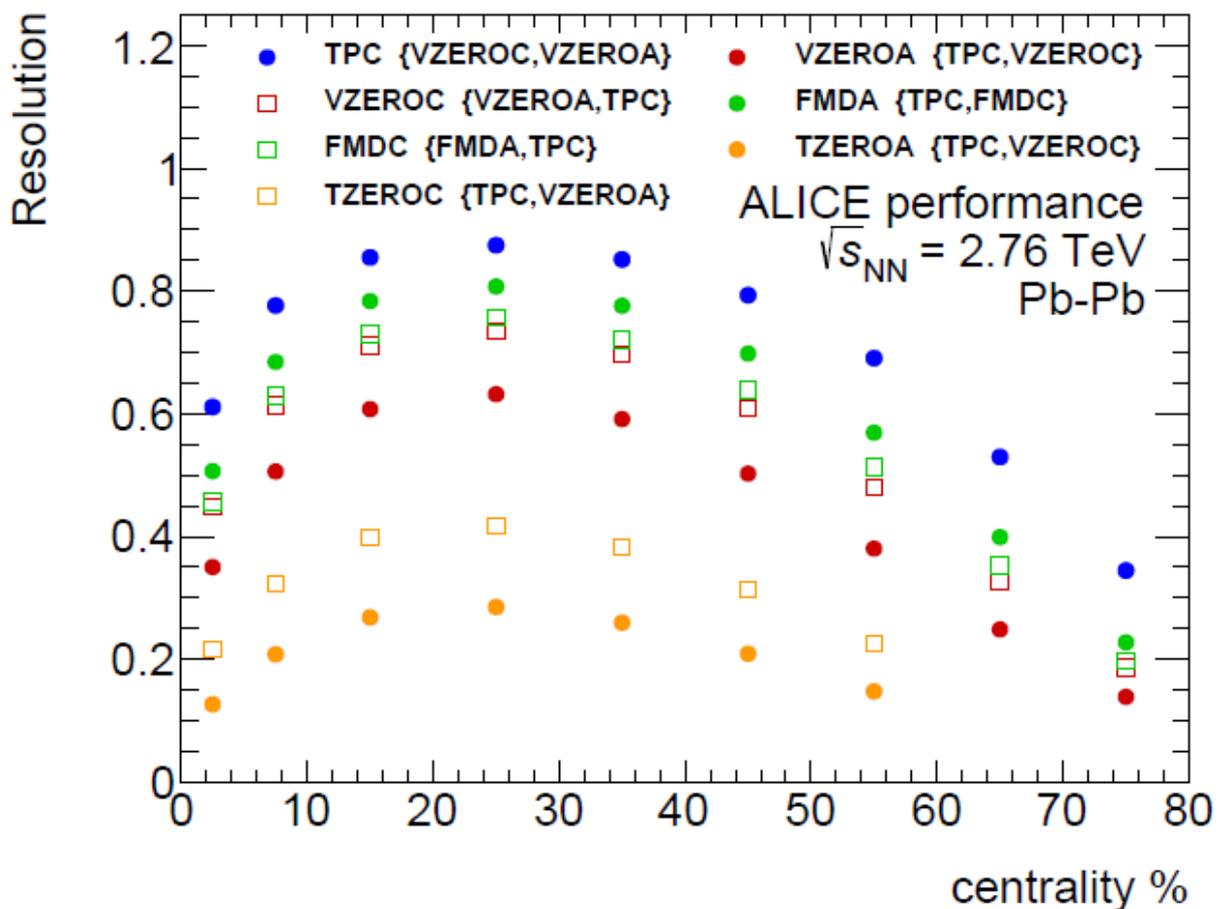


Рис. 62 Величина разрешения плоскости реакции при различных центральных взаимодействиях, рассчитанный по методу использования 3-х детекторов для каждого события согласно различным комбинациям детекторов, например T0 (TPC, V0) (Из работы [48])

На основе данных об угле плоскости реакции были получены значения параметра асимметрии для эллиптического потока V_2 при различных центральностях взаимодействия. Значения V_2 , полученные для различных комбинаций детекторов хорошо согласуются между собой (см. Рис. 63).

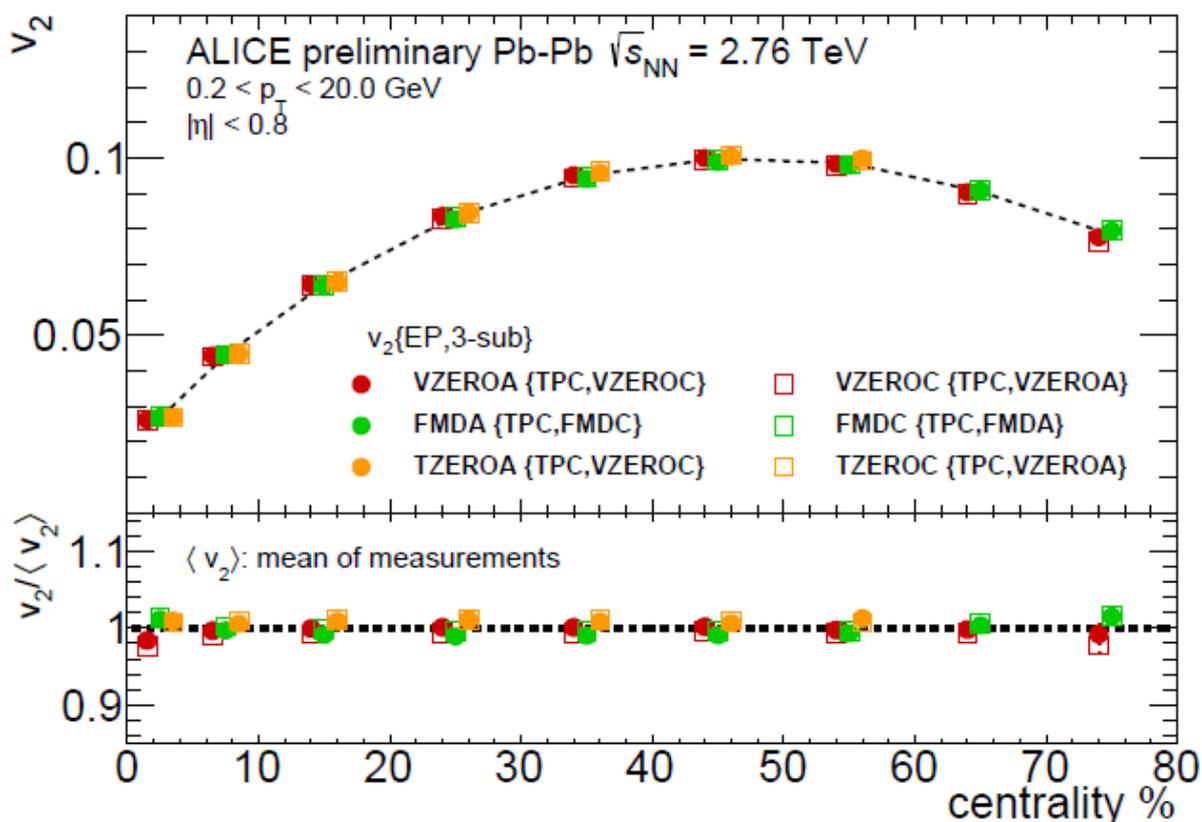


Рис. 63 Эллиптический поток заряженных частиц V_2 , рассчитанный по определенному углу плоскости реакции детекторами V0, T0 и FMD со стороны А и С (Из работы [48])

4.4 Идентификация заряженных частиц при использовании время пролетной системы при запуске детектором T0

Конструкции время пролетного детектора и детектора T0 рассмотрены во введении и в первой главе диссертации. Детектор TOF, состоит из набора многозачерных резистивных плоских камер (MRPC), расположенных на расстоянии около 380 см от оси пучка и покрывает полный азимутальный угол в диапазоне быстрот $|\eta| < 0,9$. Временное разрешение детектора TOF около 80

пикосекунд для пионов с импульсом около 1 ГэВ/с, что позволяет идентифицировать пионы и каоны до 2,5 ГэВ/с и протоны до 4 ГэВ/с.

Детектор T0, состоящий из двух сборок черенковских счетчиков T0C и T0A с двух сторон от точки взаимодействия, формирует сигнал срабатывания детектора, который поступив в систему сбора данных определяет стартовое время события для времяпролетной системы.

На рисунке (Рис. 64) слева показано распределение стартового времени события, т.е. времени столкновения двух частиц пучков, измеренного как сумма сигналов от T0C и T0A детекторов при столкновении ядер свинца при энергии $\sqrt{s} = 2,76$ ТэВ по сравнению с номинальным временем ЛНС.

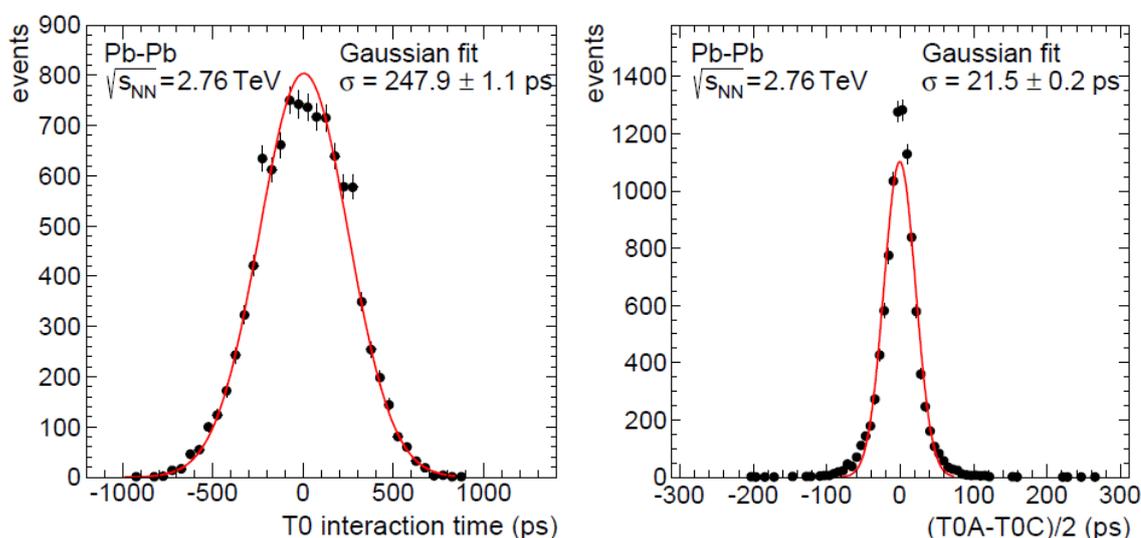


Рис. 64 Распределение времени взаимодействия по отношению к сигналу синхронизации, измеренное как сумма времен T0A и T0C (слева), и разрешение системы T0 детекторов, определяемое как разность времен T0A и T0C (справа). В разность времен внесена коррекция по положению вершины взаимодействия по данным трекера ITS (из работы [50])

Ширина распределения показывает, насколько время взаимодействия может отклоняться от сигнала ЛНС. Ширина обусловлена конечным размером сгустков пучков. Временное разрешение детектора T0, полученное как разность сигналов от T0A и T0C, составляет 20-25 пикосекунд для столкновения ядер (рисунок выше справа) и около 40 пикосекунд для столкновения протонов [50].

Детектор T0 имеет эффективность регистрации заряженных частиц ~100%. Из-за маленького аксептанса детектора реальная регистрация рожденных заряженных частиц составляет 100% для наиболее центральных столкновений и около 50% для событий с центральностью около 90%. Для столкновения протонов при энергии $\sqrt{s} = 7$ ТэВ - эффективность 50% для совпадений (T0A и T0C) и 70% для одного из детекторов T0 (T0A или T0C).

Стартовое время события также может быть оценено по времени срабатывания детекторов TOF, если, по меньшей мере, три частицы достигают этого детектора. Для этого разработан комбинаторный алгоритм по различным возможным массам частиц. Этот метод используется только в тех случаях, когда сигнал с T0 детектора отсутствует.

На рисунке (Рис. 65) приведено распределение скоростей частиц, полученных в TOF системе в зависимости от импульса частиц, рожденных при столкновении ядер свинца. Аналогичный результат для столкновения протонов с ядрами свинца приведен на рисунке (Рис. 66). Из рисунков видно, что уровень фоновых событий выше для столкновения ядер свинца, но разделение электронов, пионов, каонов, протонов и дейтронов одинаково. Распределение протонов, каонов и пионов по времени пролета для импульсов около 1 ГэВ/с показано на рисунке (Рис. 67).

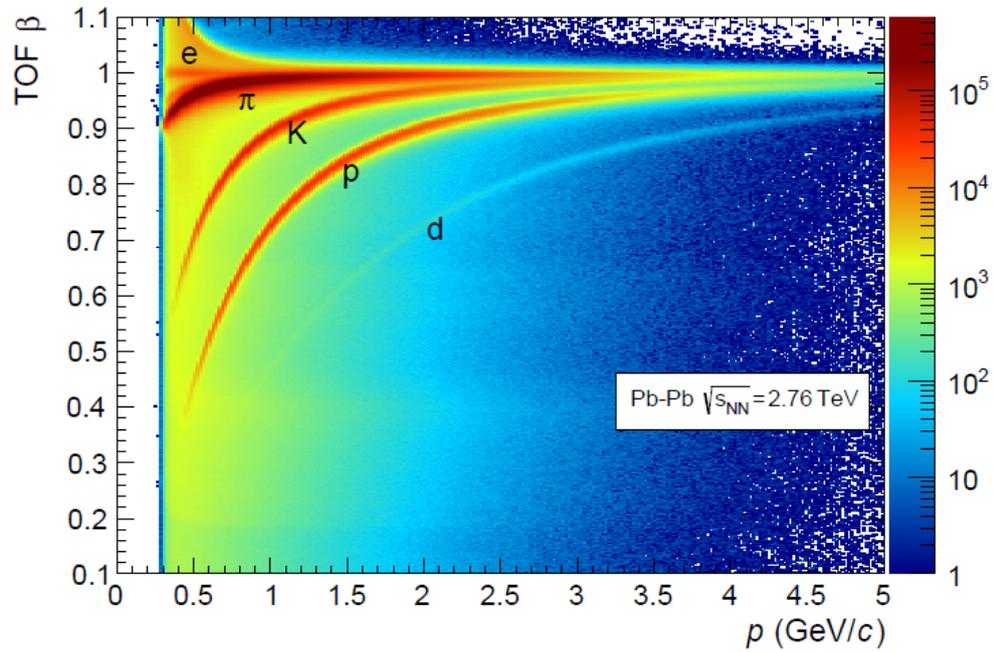


Рис. 65 Распределение скоростей β , измеренное системой детекторов TOF в зависимости от импульса заряженных частиц, рожденных при столкновении ядер свинца (из работы [50])

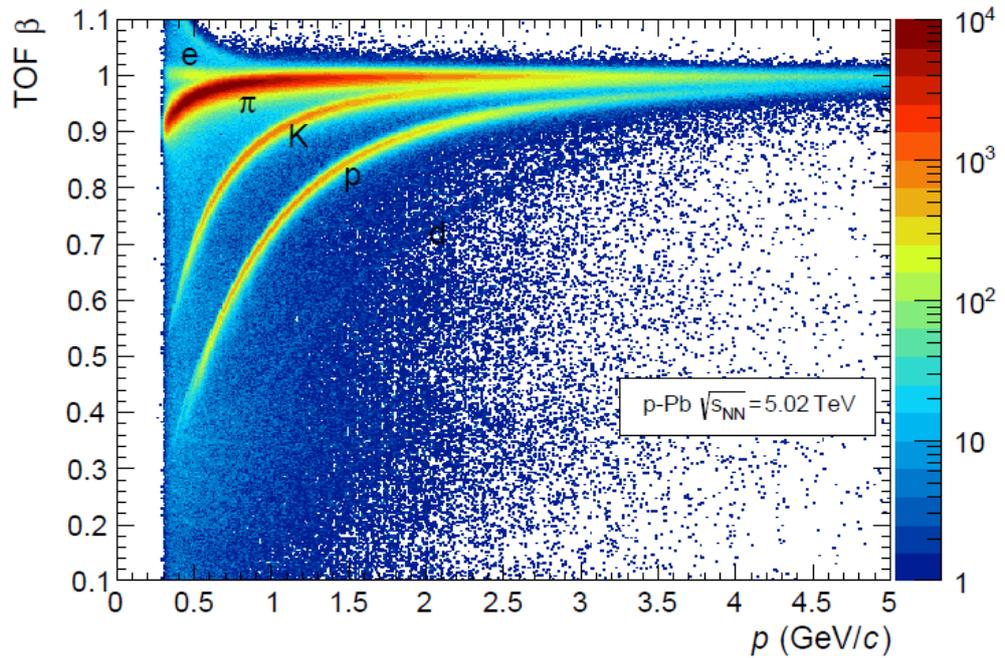


Рис. 66 Распределение скоростей β , измеренное системой детекторов TOF в зависимости от импульса заряженных частиц, рожденных при столкновении протонов с ядрами свинца (из работы [50])

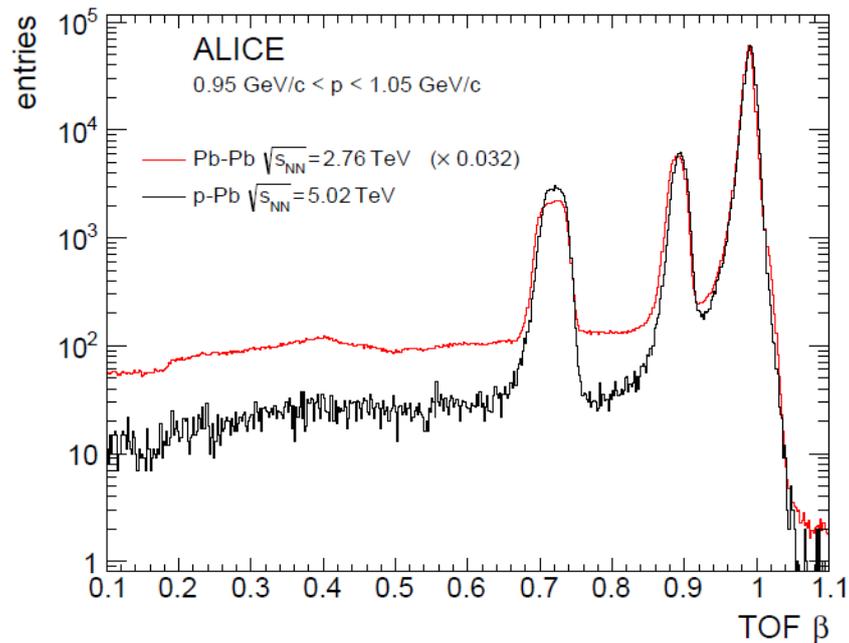


Рис. 67 Распределение заряженных частиц с импульсами $0,95 \text{ ГэВ/с} < p < 1,05 \text{ ГэВ/с}$ по скоростям β , измеренное системой детекторов TOF-T0. Данные Pb-Pb нормированы к p-Pb в одной точке $\beta = 0,99$ (из работы [50])

Идентификация заряженных частиц при использовании системы TOF позволила получать экспериментальные данные по множественности и поперечному импульсу отдельно для пионов, каонов, протонов и лямбда частиц в столкновениях ядер свинца и в столкновениях протонов с ядрами свинца. Исследование протон-ядерных столкновений является промежуточным между протон-протонными ядро-ядерными столкновениями по размеру образующейся ядерной системы и по плотности рождаемых частиц. Поэтому можно изучать эффекты начальных и конечных состояний, а также экранирование партонов, насыщение по модели конденсата цветного стекла и т.д.

Как было показано в предыдущих главах, автоматизированная калибровка и контроль параметров детектора T0 средствами DCS позволяет получить стабильно высокое (для взаимодействий Pb-Pb ~ 25 пс и p-Pb ~ 30 пс) временное разрешение стартового детектора времяпролетной системы.

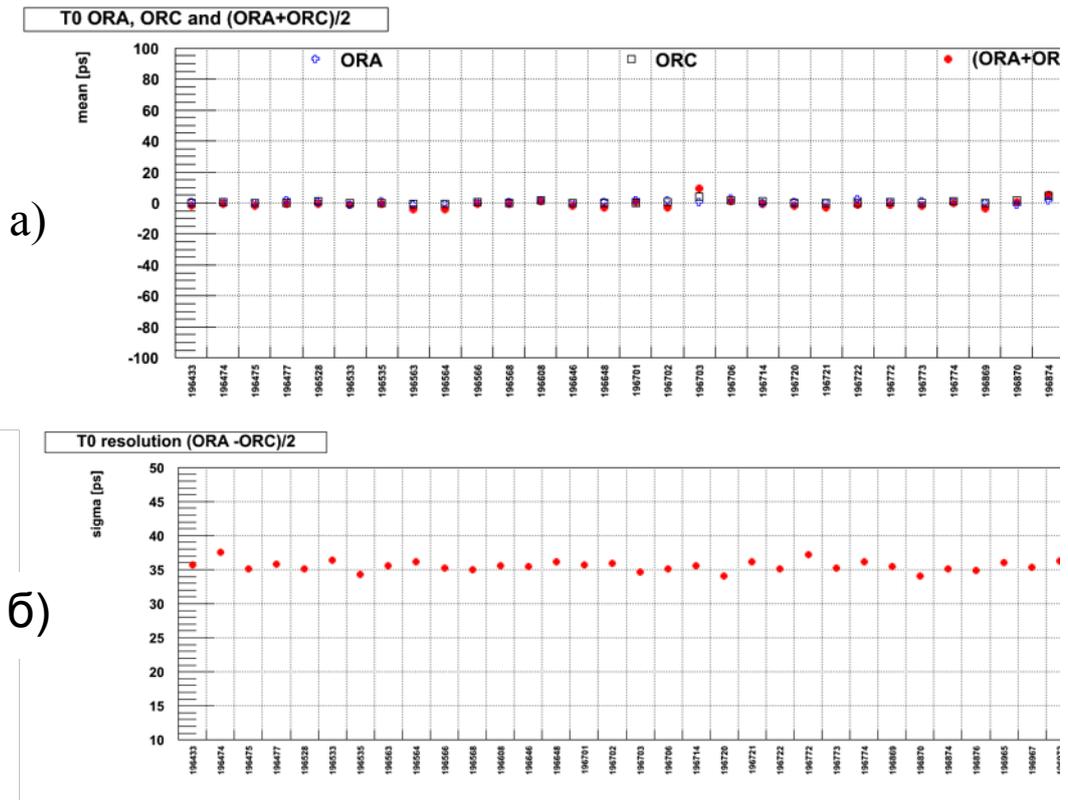


Рис. 68 (а) Зависимость стабильности временной отметки от номера измерения (б) Зависимость временного разрешения от номера измерения

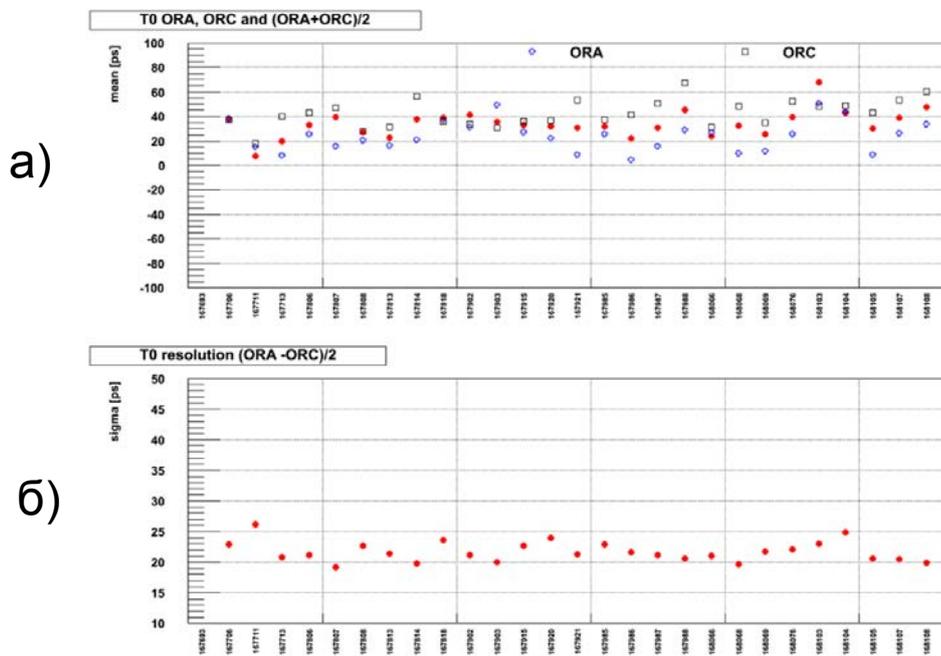


Рис. 69 (а) Зависимость стабильности временной отметки от номера измерения (б) Зависимость временного разрешения от номера измерения

Как показано на рисунке (Рис. 68) временное разрешение детектора T0 поддерживается на стабильном уровне, однако без системы контроля стабильность временных характеристик нарушается (Рис. 69). Таким образом стабильность временного разрешения детектора T0 влияет на стабильность временных показателей времяпролетной системы и соответственно на разделение спектров при идентификации частиц.

4.5 Выводы к главе 4

- 1) Высокие временные и функциональные свойства детектора T0 позволили использовать его в качестве триггера при проведении ряда физических измерений.
- 2) Вследствие расположения детектора T0 при больших быстротах при его использовании получены новые физические данные о множественности заряженных частиц, определении угла плоскости реакции и параметра асимметрии V_2 при столкновении ядер свинца.
- 3) Уникальное временное разрешение на уровне 25-40 пикосекунд использовано во время пролетной системе идентификации частиц в качестве стартового детектора.
- 4) Временное разрешение стартового детектора времяпролетной системы зависит от системы управления детектором T0.

Заключение

Основной результат диссертации заключается в создании системы управления и контроля детектором T0, что обеспечило его стабильную работу в течение всего периода первых измерений на установке ALICE в 2009-2013 гг. T0 детектор является основным из передних детекторов установки ALICE, расположенных под малыми углами к пучкам коллайдера LHC. Он является главным триггером для запуска остальных детекторов, а также дает «пробуждающий» сигнал на детектор переходного излучения. Обладая высоким временным разрешением до 25 пикосекунд, T0 детектор служит для формирования начальной временной отметки для системы времяпролетных детекторов. Большое значение для количественных измерений сечений взаимодействия имеет использование T0 детектора для определения светимости пучков коллайдера. В ограниченном интервале быстрот он служит для определения множественности, рожденных при столкновении заряженных частиц. Триггерная электроника обеспечивает возможность выработки триггерных сигналов с частотой 40 МГц.

Разработанная система управления и контроля позволяет наиболее эффективно использовать перечисленные возможности детектора T0, а также проведение калибровочных измерений с использованием лазера.

За время работы T0 детектора на установке ALICE были получены новые физические результаты, некоторые из которых рассмотрены в диссертации. Это определение множественности взаимодействия, распределение заряженных частиц по быстрой и поперечному импульсу при различных центральных столкновениях ядер, определение угла плоскости реакции, идентификация заряженных частиц и распределение пионов, каонов, протонов и антипротонов по поперечному импульсу.

В результате эффективной работы T0 детектора было принято решение при модернизации установки ALICE заменить все передние детекторы на новый T0 детектор, получивший название FIT (Fast Interaction Trigger). Выполненные разработки системы управления и контроля будут также использованы в

намеченном на 2015 год сеансе измерений дифракционных взаимодействий с детекторами AD-A и AD-C, при больших значениях быстрот на больших расстояниях от точки взаимодействия.

Я выражаю благодарность моему научному руководителю Каравичевой Татьяне Львовне за интересную научную работу, за опыт и знания, получение под её руководством. Я благодарю сотрудников лаборатории релятивистской ядерной физики и конструкторского отдела радио электроники, Курепина А.Б., Решетина А.И., Коневских А.С., Каравичева О.В., Маевскую А.И., работа с которыми проходила в дружеской обстановке и интересной научной атмосфере и принесла мне большую пользу. Благодарю сотрудников европейского центра ядерных исследований CERN и участников эксперимента ALICE, за теплый прием и всестороннюю помощь при реализации проекта моей научной работы.

Благодарю мою семью за поддержку моих стремлений и помощь в трудные моменты.

Список сокращений и обозначений

ACORDE	(анг. ALICE Cosmic Ray Detector) Массив сцинтилляторов для регистрации космических мюонов
ADC	(анг. Analog to Digital Converter) Аналого-цифровой преобразователь АЦП
ALICE	(анг. A Large Ion Collider Experiment) Эксперимент на большом адроне коллайдере (CERN)
AliRoot	Программный пакет для Монте Карло моделирования
BG	Background Фон (фоновое излучение)
CANBus	(анг. Controller Area Network Bus) Специальный тип соединения с компьютером
CERN	Европейский центр ядерных исследований
CFD	(анг. Constant Fraction Discriminator) Формирователь временной отметки со следящим порогом
CFD DC	(анг. Constant Fraction Discriminator with Digital Correction) Временной формирователь с цифровой коррекцией
Clock	Синхросигнал (CLK)
CPDRM	(анг. Clock Pulse Distribution Readout Module) Модуль распределения синхросигнала
Crate	Т.н. «крейт» - корзина с направляющими, источником питания и магистральной шиной в которой располагаются модули электроники. Может быть выполнена в стандарте VME, NIM, CAMAC
DAQ	(анг. Data Acquisition system) Система сбора данных
DC	(анг. Digital Correction) Модуль цифровой коррекции
DCDL	(анг. Digital Control Delay Line) Модуль управляемых линий задержки

DCS	(анг. Detector Control System) Система управления и контроля детектором
DDL	(анг. Detector Data Link) Система передачи данных в DAQ
DIM	(анг. Distributed Information Management System) Протокол обмена данными
DL	(анг. Delay Line) линия задержки
DM	(анг. Database Manager) Менеджер управления базами данных WinCC
DNS	(анг. DIM Name Server) Сервер обмена именами интерфейса DIM
DRM	(анг. Data Readout Module) Модуль считывания и накопления данных
DSP	(анг. Digital Signal Processor) Цифровой процессор
ECL	(анг. Emitter Coupled Logic) Эмиттерно связанная логика (ЭСЛ)
ECS	(анг. Experiment Control System) Система управления экспериментом
ELMB	(анг. The Embedded Local Monitor Board) Локальный модуль контроля
EV	(анг. Event manager) Менеджер событий WinCC
FANOUT	(анг. Fan-out) Модуль аналогового разветвителя
FMD	(анг. Forward Multiplicity Detector) детектор множественности
Gate	Синхросигнал «ВОРОТА» в модуле OR
GEANT	Программный пакет моделирования
GRPG	(анг. Gate Reference Point Generator) Модуль распределитель синхросигнала «ворот»
HMPID	(анг. High Momentum Particle Identification Detector) детектор кольца черенковского излучения
HPTDC	(анг. High Performance TDC (Time to Digital Converter)) Время цифровой преобразователь высокого разрешения
HV	(анг. High Voltage) Канал высоковольтного напряжения

IP	(анг. Interaction Point) Точка столкновения пучков
ITS	(анг. Inner Tracking System) Внутренняя трековая система
LCS	(анг. Laser Calibration System) Система лазерной калибровки
LED	(анг. Leading Edge Discriminator) Формирователь временной отметки с постоянным порогом (ФПП)
LHC	(анг. Large Hadron Collider) Большой адронный коллайдер
LV	(анг. Low Voltage) Канал сильноточного низковольтного напряжения
LVDS	(анг. Low voltage differential signaling) Тип низковольтной логики
MIP	(анг. Minimum Ionizing Particle) Однозарядная релятивистская частица
MPD	(анг. Multiplicity Discriminator) Модуль дискриминатора множественности
MRPC	(анг. Multigap Resistive Plate Chamber) резистивные многоэлектродные плоскопараллельные пропорциональные камеры детектора TOF
MT	(анг. Mean Timer) Усреднитель временных интервалов
NIM	(анг. The Nuclear Instrumentation Module standard) Стандарт разработки электронной аппаратуры для физического эксперимента
OPC	(анг. OLE for Process Control) Стандарт разработки программного обеспечения для управления промышленной электроникой
OR	(анг. Or) Модуль логического отбора сигналов «ИЛИ»
PAW	(анг. Physics Analysis Workstation) программный пакет для физического анализа
PHOS	(анг. PHOton Spectrometer) Электромагнитный калориметр
PLD	(анг. Programmable Logic Device) Программируемая логическая интегральная схема (ПЛИС)
PMD	(анг. Photon Multiplicity Detector) детектор множественности фотонов

PMT	(анг. Photo Multiplier Tube) Фотоэлектронный умножитель (ФЭУ)
PVSSII	(нем. Prozeß Visualisierungs und Steuerungs System) Программный продукт для автоматизации процесса
Pythia	Генератор событий взаимодействия частиц
QGP	(анг. Quark Gluon Plasma) Кварк глюонная плазма
QTC	(анг. «Q»-Charge to Time Converter) Быстрый преобразователь заряд-время
RHIC	(анг. Relativistic Heavy Ion Collider) коллайдер для столкновения релятивистских тяжёлых ионов (Брукхейвен)
Root	Объектно-ориентированная структура для анализа данных
SCADA	Система диспетчерского управления и сбора данных
Shoebox	Предусилитель-разветвитель
Socket	разъем, станция
SRAM	(анг. Static Random Access Memory) оперативно запоминающее устройство (ОЗУ)
T0	Стартовый триггерный детектор (черенковский)
T0TU	(анг. T0 Trigger Unit) логический модуль формирования триггерных сигналов
TDC	(Анг. Time to Digital Converter) Время-цифровой преобразователь
TOF	(анг. Time Of Flight) Детектор, основанный на методике идентификации частиц по времени пролёта
TPC	(анг. Time Projection Chamber) Время-проекционная камера
TRD	(анг. Transition Radiation Detector) Детектор переходного излучения
TRM	(анг. TDC Readout Module) Промежуточный блок считывания и переноса информации
TVDC	(анг. T0 Vertex Digital Converter) Блок выработки триггерного сигнала T0V
UI	(анг. User Interface Manager) Менеджер визуализации WinCC
V0	Сцинтилляционный детектор множественности

VME	(анг. Virtual Machine Environment) стандарт разработки электронной аппаратуры для физического эксперимента
ZDC	(анг. Zero Degree Calorimeter) калориметр, расположенный под нулевым углом к оси ионопровода ускорителя
КГП	Кварк-глюонная плазма

Список литературы

- [1] ALICE Collaboration (K. Aamodt et al.), A Large Ion Collider Experiment - Technical Proposal, CERN, 1995.
- [2] ALICE Collaboration (K. Aamodt et al.), «The ALICE experiment at the CERN LHC,» *JINST*, т. 3, № S08002 , p. 259 pp., 2008.
- [3] ALICE Collaboration (K. Aamodt et al.), «First proton-proton collisions at the LHC as observed with the ALICE detector: Measurement of the charged particle pseudorapidity density at $s^{*(1/2)} = 900\text{-GeV}$,» *Eur.Phys.J.*, т. C65, pp. 111-125, 2009.
- [4] ALICE Collaboration (K. Aamodt et al.), «Charged-particle multiplicity measurement in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 0.9$ and 2.36 TeV with ALICE at LHC,» arXiv:1004.3034, 2010.
- [5] ALICE Collaboration (K. Aamodt et al.), «Charged-particle multiplicity measurement in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with ALICE at LHC,» arXiv: 1004.3514, 2011.
- [6] ALICE Collaboration (K. Aamodt et al.), ALICE Technical Design Report: Inner Tracking System (ITS), CERN /LHCC 99–12, 2005.
- [7] ALICE Collaboration (K. Aamodt et al.), ALICE Technical Design Report: Time Projection Chamber (TPC), CERN/LHCC 2000–001, 2000.
- [8] ALICE Collaboration (K. Aamodt et al.), ALICE Technical Design Report: Transition Radiation Detector (TRD), CERN /LHCC 2001-021, 2001.

- [9] ALICE Collaboration (K. Aamodt et al.), ALICE Technical Design Report: Time-Of-Flight system (TOF), CERN-LHCC-2000-012, 2000.
- [10] ALICE Collaboration (K. Aamodt et al.), ALICE Technical Design Report: Photon Spectrometer (PHOS), CERN / LHCC 99–4, 1999.
- [11] ALICE Collaboration (K. Aamodt et al.), ALICE Technical Design Report: Electromagnetic Calorimeter (EMCal), CERN-LHCC-2008-014, 2008.
- [12] ALICE Collaboration (K. Aamodt et al.), ALICE Technical Design Report: High Momentum Particle Identification Detector (HMPID), CERN / LHCC 98–19, 1998.
- [13] ALICE Collaboration (K. Aamodt et al.), ALICE Technical Design Report: Dimuon Forward Spectrometer (MCH), CERN / LHCC 99–22, 1999.
- [14] ALICE Collaboration (K. Aamodt et al.), ALICE Technical Design Report: Forward Detectors (FMD, T0 and V0), CERN-LHCC-2004-025, 2004.
- [15] ALICE Collaboration (K. Aamodt et al.), ALICE Technical Design Report: Photon Multiplicity Detector (PMD), CERN / LHCC 99–32, 1999.
- [16] ALICE Collaboration (K. Aamodt et al.), ALICE Technical Design Report: Zero Degree Calorimeter (ZDC), CERN / LHCC 99–5, 1999.
- [17] ALICE Collaboration (K. Aamodt et al.), ALICE Technical Design Report: Trigger, Data Acquisition, High-Level Trigger and Control System, CERN-LHCC-2003-062, 2004.
- [18] В. Григорьев, В. Каплин, Т. Каравичева, А. Н. Курепин и А. Б. Курепин, «Методы измерения амплитуд сигналов черенковских счетчиков», *Приборы и техника эксперимента*, т. 3, pp. 45-49, 2009.

- [19] А. В. Веселовский, В. А. Григорьев, В. А. Каплин, А. Б. Курепин, А. Н. Курепин и Т. Л. Каравичева, «Система быстрой электроники стартового триггерного детектора T0 эксперимента ALICE,» *Приборы и техника эксперимента*, т. 2, 2009.
- [20] В. Григорьев, В. Каплин и В. Логинов, «Исследование характеристик формирователя временной отметки CFD-DC для детектора T0 эксперимента ALICE,» в *Науч. сессия МИФИ-2005, III Конференция НОЦ CRDF: Сб. науч. тр. М.*, Москва, 2005.
- [21] А. Курепин и В. Григорьев, «Программирование формирователя временной отметки CFD-DC для детектора T0 эксперимента ALICE, CERN,» в *Науч. сессия МИФИ-2005*, Москва, 2005.
- [22] А. В. Веселовский, А. В. Григорьев, В. А. Григорьев, А. Б. Курепин, А. Н. Курепин и Т. Л. Каравичева, «Модуль формирования управляющих сигналов детектора T0 эксперимента ALICE,» *Приборы и техника эксперимента*, т. 5, pp. 73-77, 2010.
- [23] А. В. Веселовский, А. Б. Курепин, А. Н. Курепин и Т. Л. Каравичева, «Автоматизированная система управления стартовым триггерным детектором T0 эксперимента ALICE (LHC, CERN),» ИЯИ РАН Препринт, Москва, 2011.
- [24] ALICE Collaboration (K. Aamodt et al.), ALICE Technical Design Report: Trigger system, CERN-LHCC-2003-062, 07/01/2004.
- [25] A. Augustinus, G. D. Cataldo, P. Chochula, L. S. Jirdén, A. N. Kurepin, M. Lechman, O. Pinazza, P. Rosinský и A. Moreno, «Computing architecture of the ALICE detector control system,» в *Proceedings of ICALEPCS2011*, Grenoble, France, 2011.

- [26] A. Augustinus, P. M. Bond, P. Chochula, A. N. Kurepin, M. Lechman, O. Pinazza и P. Rosinský, «Managing infrastructure in the ALICE detector control system,» в *Proceedings of ICALEPCS2013*, San Francisco, CA, USA, 2013.
- [27] A. Augustinus, M. Boccioli, P. Bond, G. Cataldo, P. Chochula, L. S. Jirden, A. N. Kurepin, M. Lechman, A. D. Mauro, A. Moreno, O. Pinazza, P. Rosinský и H. Schindler, «Protecting detectors in ALICE,» в *Proceedings of ICALEPCS2011*, Grenoble, France, 2011.
- [28] A. Augustinus, P. M. Bond, P. Chochula, A. N. Kurepin, M. Lechman, O. Pinazza и P. Rosinský, «How beam driven operations optimize ALICE efficiency and safety,» *Journal of Physics: Conference Series*, т. 396, № 1, 2012.
- [29] A. Augustinus, M. Boccioli, P. Chochula, P. M. Bond, L. S. Jirdén, A. N. Kurepin, M. Lechman, O. Pinazza и P. Rosinský, «The Design and Operation of the Detector Control System of the ALICE experiment at CERN,» в *Real Time Conference (RT), 2012 18th IEEE-NPSS*, 2012.
- [30] A. Augustinus, P. M. Bond, P. Chochula, A. N. Kurepin, M. Lechman, O. Pinazza и P. Rosinský, «Managing operational documentation in the ALICE Detector Control System,» *Journal of Physics: Conference Series*, т. 396, № 5, 2012.
- [31] A. Augustinus, P. M. Bond, P. Chochula, A. N. Kurepin, M. Lechman, O. Pinazza и P. Rosinský, «Operational experiences with the ALICE detector control system,» в *Proceedings of ICALEPCS2013*, San Francisco, CA, USA, 2013.
- [32] T. Malkiewicz, F. Nendaz, A. S. Anoshko, A. Bogdanov, B. Cheynis, L. Ducroux, V. A. Grigoriev, J. -Y. Grossiord, F. F. Guber, V. A. Kaplin, T. L. Karavicheva, O. V. Karavichev, E. V. Karpechev, A. B. Kurepin, A. N. Kurepin, A. I. Maevskaya, T. Nayak, M. Oledzki, A. I. Reshetin, R. Tieulent и . W. H. Trzaska,

- «Luminosity determination in ALICE with T0 and V0 detectors,» *Indian journal of physics*, т. 85, № 6, 2011.
- [33] ALICE Collaboration (K. Aamodt et al.), «Measurement of visible cross sections in proton-lead collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV in van der Meer scans with the ALICE detector,» arXiv:1405.1849, 2014.
- [34] PHOBOS Collaboration (B. Alver et al.), «Phobos results on charged particle multiplicity and pseudorapidity distributions in Au+Au, Cu+Cu, d+Au, and p+p collisions at ultra-relativistic energies,» *Phys. Rev. C*, т. 83, № 024913, 2011.
- [35] BRAHMS Collaboration (I. G. Bearden et al.), «Charged particle densities from Au+Au collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 130$ GeV,» *Phys. Lett. B*, т. 523, № 227, 2001.
- [36] BRAHMS Collaboration (I. G. Bearden et al.), «Pseudorapidity distributions of charged particles from Au+Au collisions at the maximum RHIC energy, $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV,» *Phys. Rev. Lett.*, т. 88, № 202301, 2002.
- [37] ALICE Collaboration (K. Aamodt et al.), «Charged-particle multiplicity density at mid-rapidity in central Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV,» *Phys. Rev. Lett.*, т. 105, № 252301, 2010.
- [38] ALICE Collaboration (E. Abbas et al.), «Centrality dependence of the pseudorapidity density distribution for charged particles in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV,» *Phys. Lett. B*, т. 726, № 610, 2013.
- [39] ALICE Collaboration (B. Abelev et al.), «Centrality determination of Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV with ALICE,» arXiv:1301.4361.
- [40] Т. Л. Каравичева, Е. В. Карпечев и А. И. Маевская, *Доклад, Рабочий семинар*, 2011.

- [41] ALICE Collaboration (K. Aamodt et al.), «Centrality dependence of the charged-particle multiplicity density at mid-rapidity in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV,» *Phys. Rev. Lett.*, т. 106, № 032301, 2011.
- [42] J. L. Albacete, A. Dumitru и Y. Nara, «CGC initial conditions at RHIC and LHC,» *J. Phys. Conf. Ser.*, т. 316, № 012011, 2011.
- [43] M. Mitrovski, T. Schuster, G. Graf, H. Petersen и M. Bleicher, «Charged particle (pseudo-)rapidity distributions in proton+anti-proton/proton+proton and Pb+Pb/Au+Au collisions from SPS to LHC energies from UrQMD,» *Phys. Rev. C*, т. 79, № 044901, 2009.
- [44] Z.-W. Lin, C. M. Ko, B.-A. Li, B. Zhang и S. Pal, «A Multi-Phase Transport Model for Relativistic Heavy Ion Collisions,» *Phys. Rev. C*, т. 72, № 064901, 2005.
- [45] J. Xu и C. M. Ko, «Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}}=2.76$ TeV in a multiphase transport model,» *Phys. Rev. C*, т. 83, № 034904, 2011.
- [46] J. Benecke, T. T. Chou, C.-N. Yang и E. Yen, «Hypothesis of Limiting Fragmentation in High-Energy Collisions,» *Phys. Rev.*, т. 188, № 2159, 1969.
- [47] ALICE Collaboration (B. Abelev et al.), «Multiplicity dependence of the average transverse momentum in pp, p-Pb, and Pb-Pb collisions at the LHC,» *Phys. Lett. B*, т. 727, № 371-380, 2013.
- [48] J. Onderwaater и I. Selyuzhenkov, «Estimates of heavy-ion collision symmetry planes with the ALICE detector,» ALICE-ANA-2013-April 29, 2014.
- [49] S. A. Voloshin, A. M. Poskanzer и R. Snellings, «Collective phenomena in non-central nuclear collisions,» arXiv:0809.2949.

[50] ALICE Collaboration (B. Abelev et al.), «Performance of the ALICE Experiment at the CERN LHC,» arXiv:1402.4476, 2014.

Список рисунков

Рис. 1 Схема расположения инжекторных ускорителей и основных экспериментов Большого Адронного Коллайдера.....	5
Рис. 2 Установка ALICE	8
Рис. 3 Блок-схема электроники детектора T0	19
Рис. 4 Схема систем эксперимента.....	20
Рис. 5 Схема и расположения детектора T0 и V0	22
Рис. 6 Аналоговый предусилитель	24
Рис. 7 Принципиальная схема соединения быстрой электроники.....	26
Рис. 8 Схема системы управления детектором	45
Рис. 9 Панель управления менеджерами проекта.....	49
Рис. 10 Схема взаимодействия менеджеров.....	49
Рис. 11 Схема примера взаимодействия распределенной системы	50
Рис. 12 Панель модуля графического редактора	51
Рис. 13 Панель установки каркасных расширений.....	56
Рис. 14 Панель начальной конфигурации.....	58
Рис. 15 Панель конфигурации параметров детектора	59
Рис. 16 Панель настройки архивирования параметров.....	60
Рис. 17 Панель настройки формирования тревожных сообщений	62
Рис. 18 Интерфейс программы конфигурации CAEN.....	64
Рис. 19 Панель управления электроникой CAEN из каркасного расширения	65
Рис. 20 Платформа ELMB с модулями DAC.....	66
Рис. 21 Магистральный крейт считывающей электроники	69
Рис. 22 Лазер (PIL040G) с длиной светового импульса 45 нс.....	70
Рис. 23 Оптический аттенюатор Oz optics DA-100.....	71
Рис. 24 Устройство сопряжения последовательного порта с локальной сетью	72
Рис. 25 Панель управления блоком цифровых задержек.....	75
Рис. 26 Панель управления блока OR	77
Рис. 27 Панель управления блоком LED	79

Рис. 28 Панель управления счетчиками.....	81
Рис. 29 Панель управления CFD.....	83
Рис. 30 Панель управления точной электроникой.....	84
Рис. 31 Панель управления модулем MPD.....	85
Рис. 32 Панель управления модулем TVDC.....	86
Рис. 33 Панель управления модулем TOTU.....	88
Рис. 34 Панель управления триггерной электроникой.....	89
Рис. 35 Панель управления модулем FanOut.....	91
Рис. 36 Панель управления модулем синхронизации сигналов.....	92
Рис. 37 Панель управления блоком GRPG.....	94
Рис. 38 Панель управления питанием крейта считывающей электроники.....	96
Рис. 39 Панель управления высоковольтными каналами.....	97
Рис. 40 Панель индивидуального управления высоковольтного канала.....	98
Рис. 41 Панель управления низковольтными каналами.....	100
Рис. 42 Панель управления питанием крейтов VME.....	101
Рис. 43 Панель управления каналами питания крейта VME.....	102
Рис. 44 Панель управления лазерной калибровки детектора T0.....	103
Рис. 45 Схема сервера связи с оборудованием.....	105
Рис. 46 Структурная схема конечного автомата.....	109
Рис. 47 Схема состояний FSM.....	110
Рис. 48 Двумерное распределение событий по координате и времени для взаимодействия ионов свинца.....	117
Рис. 49 Информация о фоновых событиях пучка, полученная от детектора T0..	118
Рис. 50 PIL40G импульсный лазер фирмы APS.....	121
Рис. 51 Структурная схема лазерной системы для калибровки детекторов.....	122
Рис. 52 Общий вид оптического разветвителя с фактором разветвления 50 на 50, соединенного с разъемом FC.....	123
Рис. 53 Узел сопряжения для подачи оптического сигнала на черенковский детектор.....	124

Рис. 54 Оптический переходник FC типа	125
Рис. 55 Зависимость амплитуды выходного сигнала детектора T0-A от числа релятивистских части (MIP) без магнитного поля и при воздействии магнитного поля	129
Рис. 56 Распределение плотности первичных заряженных частиц при столкновении ядер свинца с энергией 2,76 ТэВ на нуклон [40].....	133
Рис. 57 Сравнение экспериментальных данных с теоретическими расчетами (Из работы [38]).....	134
Рис. 58 Сравнение зависимости плотности распределения по псевдобыстроте от энергии в системе координат налетающего ядра при трех значениях центральности (Из работы [38]).....	135
Рис. 59 Распределение амплитуд сцинтилляционных счетчиков V0 детектора при различных центральностях столкновения ядер свинца и описание по модели Глаубера (Из работы [41])	137
Рис. 60 Зависимость плотности распределения множественности заряженных частиц на пару взаимодействующих нуклонов от числа взаимодействующих нуклонов по данным ALICE - шкала слева, и по данным RHIC - шкала справа (Из работы [41]).....	138
Рис. 61 Зависимость плотности распределения множественности заряженных частиц на пару взаимодействующих нуклонов на единицу псевдобыстроты от энергии для центральных столкновений ядер и для не одно-частичных дифракционных столкновений протонов и антипротонов (Из работы [37])	139
Рис. 62 Величина разрешения плоскости реакции при различных центральностях взаимодействия, рассчитанный по методу использования 3-х детекторов для каждого события согласно различным комбинациям детекторов, например T0 (TRC, V0) (Из работы [48]).....	140
Рис. 63 Эллиптический поток заряженных частиц V_2 , рассчитанный по определенному углу плоскости реакции детекторами V0, T0 и FMD со стороны A и C (Из работы [48])	141

Рис. 64 Распределение времени взаимодействия по отношению к сигналу синхронизации, измеренное как сумма времен T0A и T0C (слева), и разрешение системы T0 детекторов, определяемое как разность времен T0A и T0C (справа). В разность времен внесена коррекция по положению вершины взаимодействия по данным трекера ITS (из работы [50])	142
Рис. 65 Распределение скоростей β , измеренное системой детекторов TOF в зависимости от импульса заряженных частиц, рожденных при столкновении ядер свинца (из работы [50]).....	144
Рис. 66 Распределение скоростей β , измеренное системой детекторов TOF в зависимости от импульса заряженных частиц, рожденных при столкновении протонов с ядрами свинца (из работы [50]).....	144
Рис. 67 Распределение заряженных частиц с импульсами $0,95 \text{ ГэВ/с} < p < 1,05 \text{ ГэВ/с}$ по скоростям β , измеренное системой детекторов TOF-T0. Данные Pb-Pb нормированы к p-Pb в одной точке $\beta = 0,99$ (из работы [50])	145
Рис. 68 (а) Зависимость стабильности временной отметки от номера измерения (б) Зависимость временного разрешения от номера измерения	146
Рис. 69 (а) Зависимость стабильности временной отметки от номера измерения (б) Зависимость временного разрешения от номера измерения	146