

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

В.М. Павлов, К.И. Байструков, С.В. Меркулов

СИСТЕМА СИНХРОНИЗАЦИИ И ПРОТИВОАВАРИЙНОЙ ЗАЩИТЫ

*Рекомендовано в качестве учебного пособия
Редакционно-издательским советом
Томского политехнического университета*

Издательство
Томского политехнического университета
2008

УДК 621.039.586(075.8)

ББК 31.46я73

П12

Павлов В.М.

П12 Система синхронизации и противоаварийной защиты: учебное пособие / В.М. Павлов, К.И. Байструков, С.В. Меркулов. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 143 с.

ISBN 5-98298-338-1

Учебное пособие соответствует части рабочей программы дисциплины «Система автоматизации экспериментов на материаловедческой термоядерной установке токамака КТМ» для магистерской программы «Автоматизация технологических процессов и производств», касающейся основных вопросов, связанных с решением задач проектирования функциональных схем системы автоматизации и выбора комплекса технических средств для реализации автоматизируемых функций.

Пособие разработано в рамках реализации Инновационной образовательной программы ТПУ по направлению «Атомная энергетика, ядерный топливный цикл, безопасное обращение с радиоактивными отходами и отработанным ядерным топливом, обеспечение безопасности и противодействие терроризму» и предназначено для студентов очного обучения по специальности 140306 «Электроника и автоматика физических установок».

УДК 621.039.586(075.8)

ББК 31.46я73

Рецензенты

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой
информационно-измерительной техники ТУСУРа

А.А. Светлаков

Кандидат физико-математических наук, научный сотрудник
Института сильноточной электроники СО РАН

С.А. Попов

ISBN 5-98298-338-1

© Павлов В.М., Байструков К.И., Меркулов С.В., 2008

© Томский политехнический университет, 2008

© Оформление. Издательство Томского
политехнического университета, 2008

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

СПЗ и С токамака КТМ. – Система противоаварийной защиты и синхронизации токамака КТМ.

ТОКАМАК – [ТОроидальная КАмера и МАгнитные Катушки] – комплекс технических и программных средств, необходимых для получения управляемого термоядерного синтеза.

ПСУ ТС – подсистемами управления технологических систем.

ПО – программное обеспечение.

ЦБС – центральный блок синхронизации.

СС – система синхронизации.

МРИ – мягкое рентгеновское излучение.

ЛМС – локальный модуль синхронизации.

АСУ – автоматизированная система управления.

ТОУ – технологический объект управления.

ВВЕДЕНИЕ

Большие мощности энергии, вводимой в системы токамака, делают его потенциально опасным объектом. Возможные тяжелые аварии могут привести к выходу из строя дорогостоящего оборудования или представлять опасность для персонала. По этой причине системы противоаварийной защиты являются неотъемлемой частью системы автоматизации, выполняя защитные действия синхронно для всех подсистем токамака.

Задача синхронизации подсистем в распределенном территориально и иерархически комплексе токамака также имеет первоочередное значение. Для нормальной работы установки, ее измерительных и управляющих подсистем требуется привязка к единому экспериментальному времени и асинхронным событиям (в том числе и аварийным), возникающим в системах исследовательского комплекса во время эксперимента.

Перечисленные задачи решаются системой синхронизации и противоаварийной защиты, рассматриваемой в этом учебном пособии. Учебное пособие состоит из трех разделов. В первом разделе анализируется структура системы противоаварийной защиты, перечень контролируемых параметров и алгоритмы защитных действий.

Во втором разделе рассмотрен перечень событий, возможных при работе токамака и технические решения, положенные в основу системы синхронизации.

Третий раздел содержит информацию о структуре комплекса технических средств для реализации системы синхронизации и противоаварийной защиты.

1. СИСТЕМА ПРОТИВОАВАРИЙНОЙ ЗАЩИТЫ И СИГНАЛИЗАЦИИ ТОКАМАКА КТМ

Система противоаварийной защиты и сигнализации (СПЗ) установки КТМ предназначена для контроля наиболее критичных с точки зрения целостности технологического оборудования и безопасности обслуживающего персонала параметров КТМ и предупреждения аварийных ситуаций. В случае же возникновения аварийных ситуаций СПЗ должна выполнять защитные процедуры, обеспечивающие перевод стендового комплекса в безопасное состояние и снижение последствий возможных аварий.

1.1. Структурно-функциональная схема системы противоаварийной защиты и сигнализации

Система противоаварийной защиты и сигнализации обеспечивает автоматизированное выполнение следующих функций:

- Непрерывный контроль основных технологических параметров установки КТМ и выработка управляющих воздействий в случае обнаружения аварийных ситуаций. К параметрам, отклонение которых от нормы может привести к значительным последствиям, относятся: токи и напряжения в обмотках ЭМС; температура и расход охлаждающей воды; механические и тепловые нагрузки в конструктивных элементах КТМ; нарушение режимов работы тиристорных преобразователей; течи и разгерметизация вакуумной камеры; достижение определенных критических значений важных параметров пламенного шнура, таких как положение, тороидальный ток, напряжение на обходе, интенсивность излучения, амплитуда МГД возмущений и их запираение.
- Выполнение задач контроля исправности технических средств подсистем управления и диагностики путем запроса результатов тестового самоконтроля от подсистем САЭ. Перевод установки в безопасное состояние при наличии неисправностей в элементах САЭ.
- Ведение базы данных предполагаемых и произошедших на самом деле аварий с возможностью автоматической идентификации сложившейся ситуации и вариантов локализации неисправностей с выполнением одного из видов защитных воздействий. В случае невозможности автоматической идентификации – обеспечение участия оператора в принятии решения.

В любом из режимов работы токамака КТМ возможны аварийные ситуации, при которых необходимо обеспечить защиту людей и оборудования. Большинство технологических процессов в установке токамак являются быстропротекающими и характеризуются высокими энергетическими параметрами. Особенно это характерно для электромагнитной системы КТМ совместно с источниками электропитания и подсистемы ВЧ-нагрева. Например, отказ элементов системы охлаждения и нарушение изоляции между элементами конструкций КТМ могут привести к возможности возникновения и развития серьезных аварийных ситуаций. Другим источником возможных аварий являются импульсные электромагнитные нагрузки на конструкции КТМ, особенно при срыве плазмы.

Возможность возникновения этих и других не указанных здесь событий приводит к необходимости в проектировании и разработке эффективной системы защиты и сигнализации, позволяющей уже на ранних стадиях развития аварийных состояний выполнить требуемый набор защитных мероприятий.

Система противоаварийной защиты является распределенной и имеет двухуровневую структуру (см. рис. 1.1). Нижний уровень противоаварийной защиты реализуется подсистемами управления технологических систем (ПСУ ТС). ПСУ ТС реализуют защитные действия при нарушениях работы внутри технологической системы. Общие защитные действия выполняются блоком противоаварийной защиты, который обеспечивает, в случае появления аварийных сигналов, выполнение алгоритмов отключения технологических систем КТМ в заданной последовательности. Реализация общих для экспериментального стенда алгоритмов защиты организуется путем рассылки команд подсистемам управления ТС. Функции верхнего уровня СПЗ, такие как анализ аварийных ситуаций, формирование и вывод сообщений аварийной и предаварийной сигнализации, выполняются на верхнем уровне САЭ. С этого уровня также выполняется доступ операторов к блоку противоаварийной защиты в пусковом режиме работы КТМ, а в подготовительном режиме предусмотрена возможность подключения к блоку противоаварийной защиты дополнительного переносного пульта.

В случае отказа самой системы защиты технологическая установка переводится в безопасное состояние путем реализации системой управления плазмой (СУП) алгоритма нормального останова. В соответствии с этим предусмотрена рассылка системой аварийной защиты команд другим подсистемам управления с жестко заданным периодом времени. Отсутствие команды в течение заданного времени приравнивается СУП к команде останова.

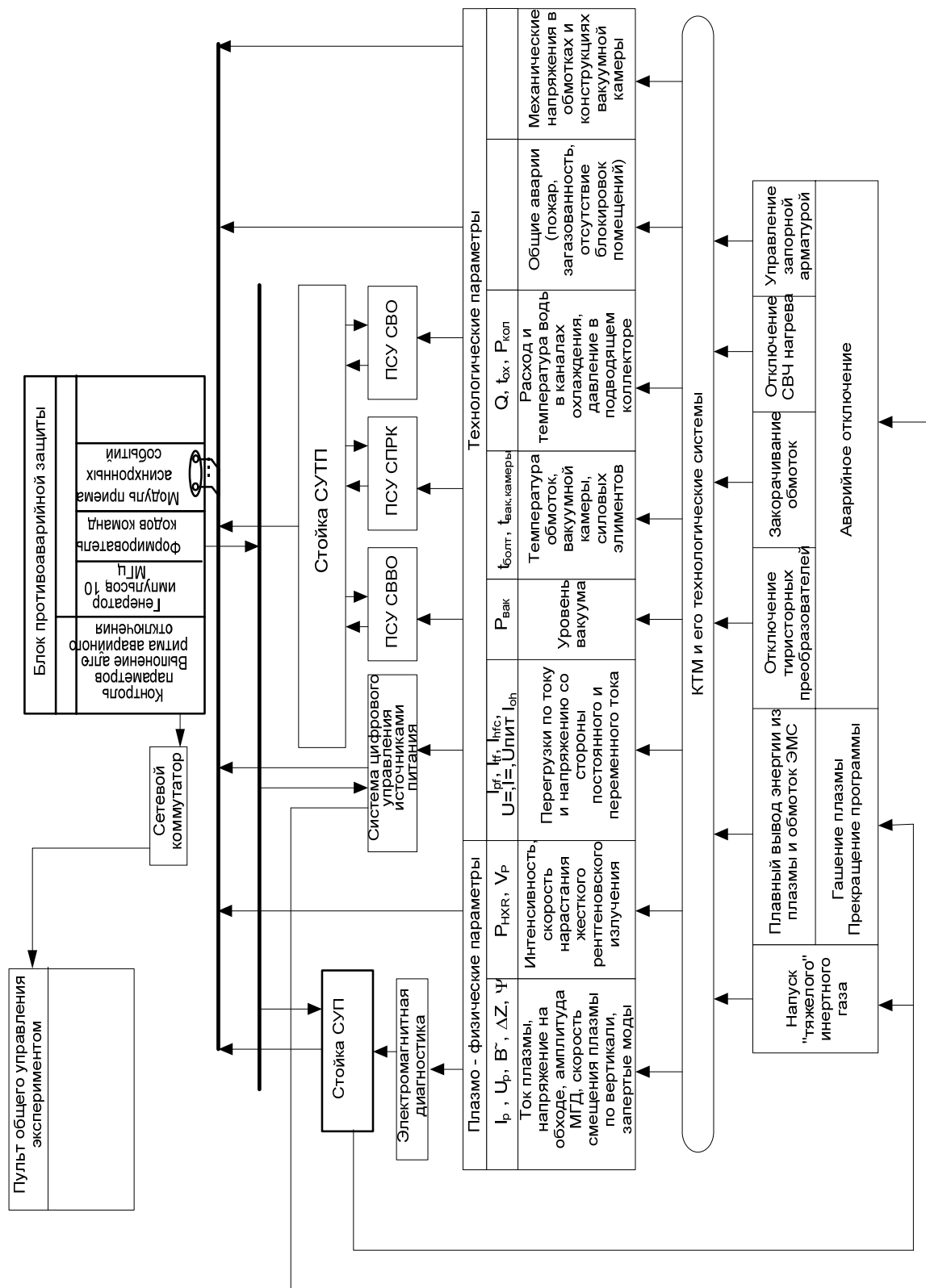


Рис. 1.1. Структурно-функциональная схема системы противоаварийной защиты

В зависимости от вида и опасности последствий аварийной ситуации блок противоаварийной защиты инициирует выполнение одного из следующих видов защитного воздействия:

1. *Гашение плазмы* – контролируемое снижение тока в обмотках полоидального поля по одной из специальных программ (в зависимости от момента поступления аварийного сигнала), обеспечивая поддержание равновесия плазменного шнура. Одновременно с этим для вывода энергии из плазмы производится напуск «тяжелого» инертного газа (Ar). Гашение плазмы выполняется в случае возникновения события, соответствующего срыву плазмы либо события предвещающего срыв. В качестве таких событий может быть выбран один из параметров плазменного шнура, либо их совокупность.

2. *Аварийное прекращение программы* – прерывание нормальной программы управления источниками питания и вывод энергии, накопленной в электромагнитной системе, путем одновременного инвертирования всех тиристорных преобразователей.

3. *Аварийное отключение* – отключение тиристорных преобразователей от сети переменного тока с последующим закорачиванием обмоток защитными короткозамыкателями.

4. *Блокировка запуска* предотвращает следующий пуск установки. Блокировка снимается после возвращения значений контролируемых параметров в допустимый диапазон.

Сигнал *Гашение плазмы* должен появляться при превышении токов в обмотках и аварийных сигналах от системы питания обмотки вертикального управления плазмой, а также в случаях отказов в контурах управления газонапуском и энергосодержанием плазмы (ВЧ-нагрев).

Сигнал *Аварийное прекращение программы* вырабатывается при наличии сигналов перенапряжения, сигналов с устройств контроля коммутационных аппаратов и сигналов о нарушении работы тиристорных преобразователей, а также сигналов на *Гашение плазмы*, если они вырабатываются до момента образования плазменного шнура. Процесс инвертирования преобразователей при *Аварийном прекращении программы* также должен контролироваться и в случае отказа должна вырабатываться команда на *Аварийное отключение* преобразователей.

На возникновение сигнала *Аварийное отключение* в основном влияют сигналы о нарушениях работы преобразователей, при которых их инвертирование становится невозможным. Кроме этого, аварийное отключение выполняется при обнаружении течей в вакуумной камере, превышении уровня механических и тепловых нагрузок на элементы катушек электромагнитной системы и вакуумной камеры, а также при снижении расхода воды в каналах охлаждения ниже нормы.

Сигнал *Блокировка запуска* генерируется СПЗ при возникновении аварийной ситуации в технологической системе установки или отказе любой из подсистем управления и диагностики САЭ в предпусковом режиме работы КТМ. Таким образом, новый запуск становится невозможным до устранения причины аварии.

Общий перечень контролируемых СПЗ параметров приведен в табл. 1.1.

В СПЗ должна быть исключена возможность срабатывания и инициирования защитных действий от случайных и кратковременных сигналов нарушения нормального хода технологического процесса, в том числе и в случае получения аномальных отсчетов (промахов) во входной измерительной информации. Для решения этой задачи блок противоаварийной защиты обеспечивает выполнение функций контроля достоверности сигналов о нарушении нормального хода технологического процесса (см. рис. 1.2). Алгоритмы защиты и аварийного отключения не допускают прерывания защитных действий в процессе исполнения, любое защитное действие выполняется до конца.

Вся необходимая для работы блок противоаварийной защиты информация записывается на энергонезависимых носителях. Любое срабатывание системы аварийной защиты регистрируется, ход защитных действий протоколируется в кольцевом буфере энергонезависимого ОЗУ и в дальнейшем подвергается подробному анализу. Длительности интервалов регистрации предыстории и развития события ограничиваются объемом памяти процессорного модуля, реализующего функции блока противоаварийной защиты.

Кроме этого, вся информация о состоянии технологического процесса, технологического оборудования, состоянии подсистем СУТП и системы аварийной защиты регистрируется в архивах и отображается на пульте общего управления экспериментом в виде диагностических сообщений, звуковой и цветовой сигнализации, многоуровневых графических мнемосхем. При переходах оператора между экранами мнемосхемы или при просмотре архива событий нижняя часть области экрана содержит последнее диагностическое сообщение.

С целью обеспечения максимальной скорости реакции оператора на событие информация, получаемая в СПЗ, перед выводом на мониторы операторских пультов подвергается предварительной обработке (группировка однородных или связанных данных, вычисление интегральных показателей, идентификация текущего состояния технологического процесса, прогнозирование событий, выработка подсказок оператору и др.).

Таблица 1.1

Перечень контролируемых параметров СПЗ

| I. Технологические параметры | | | | | | | | |
|------------------------------|--|--------|-------------------------------------|--|--------------------|--|---|--|
| № | Наименование контролируемого параметра | Кол-во | Первичный преобразователь | Диапазон измерения | Тип вх/вых сигнала | Обозначение на схеме | Примечания | |
| 1 | Температура воды в каналах охлаждения | 114 | ТХА Метран-241 | 0–100 | 4–20 мА | $t_{\text{ох}}$ | От системы вакуумно-технологической подготовки камеры | |
| 2 | Температура обмоток, вакуумной камеры и силовых элементов источников питания | 314 | ТХА Метран-241 | 0–300 | 4–20 мА | $t_{\text{болт}}$ $t_{\text{вак.}}$ камеры | | |
| 3 | Расход воды в каналах охлаждения | 114 | Реле протока РПИ-25 | 0–1.4 м ³ /ч | Сухой контакт | Q | | |
| 4 | Механические напряжения в обмотках ЭМС и элементах вакуумной камеры | 324 | Тензорезистор Ев 001 | стат. нагрузка ±3000(мкМ/М, дин. нагрузка ±1000(мкМ/М) | 4–20 мА | | Прямые измерения и обработка в ПСД | |
| 5 | Герметичность рабочей камеры | 2 | Вауард-Alpert | $10^{-3} - 10^{-10}$ торр | Цифровой интерфейс | | | |
| 7 | Выходное напряжение ИП | 10 | Датчик напряжения | 0–600 В/ 0–4 кВ/ 0–600 В/ 0–1.5 кВ | 4–20 мА | U= | | |
| 8 | Величина выпрямленного тока | 60 | Датчик тока | - | 4–20 мА | I= | От системы цифрового управления | |
| 9 | Напряжение питающей сети | 3 | Трансформатор напряжения, НОС – 0,5 | 220 кВ | 100 В | U _{пит.} | | |

Окончание табл. 1.1

| № | Наименование контролируемого параметра | Кол-во | Первичный преобразователь | Диапазон измерения | Тип вх./вых сигнала | Обозн. на схеме | Примечания |
|---------------------------------|---|--------|----------------------------|--|---------------------|---|------------------------------------|
| 10 | Ток в обмотке ЭМС | 10 | Пояса Роговского | 54 кА/ ±50 кА/ 11–20 кА/ ±2 кА/ 200 А | ±1В | $I_{рп}$, $I_{тф}$ $I_{тфс}$, I_{oh} | От системы управления плазмой |
| II. Плазмо-физические параметры | | | | | | | |
| 11 | Интенсивность и скорость нарастания жесткого рентгеновского излучения | 1 | Полупроводниковый детектор | 104÷107 рен./с см ² , 0.1÷10 МэВ | Цифровой интерфейс | $R_{нхр}$, V_p | Прямые измерения и обработка в ПСД |
| 12 | Амплитуда МГД | 2×64 | МГД зонды | 0–50 Э | ±5 В | B_{\sim} | |
| 13 | Locked Mode (запертые моды) | 2×16 | Седловые петли | 0–0,2 Вр | 5 В | Ψ_{\perp} | |
| 14 | Скорость смещения плазмы по вертикали | 4×64 | Двухкомпонентные зонды | $\Delta=0\div20$ см | Цифровой интерфейс | ΔZ | От системы управления плазмой |
| 15 | Напряжение на обходе | 12 | Петли напряжения на обходе | 0–100 В | ±5 В | U_p | |
| 16 | Ток плазмы | 4 | Пояса Роговского | 0–750 кА | ±1 В | I_p | |

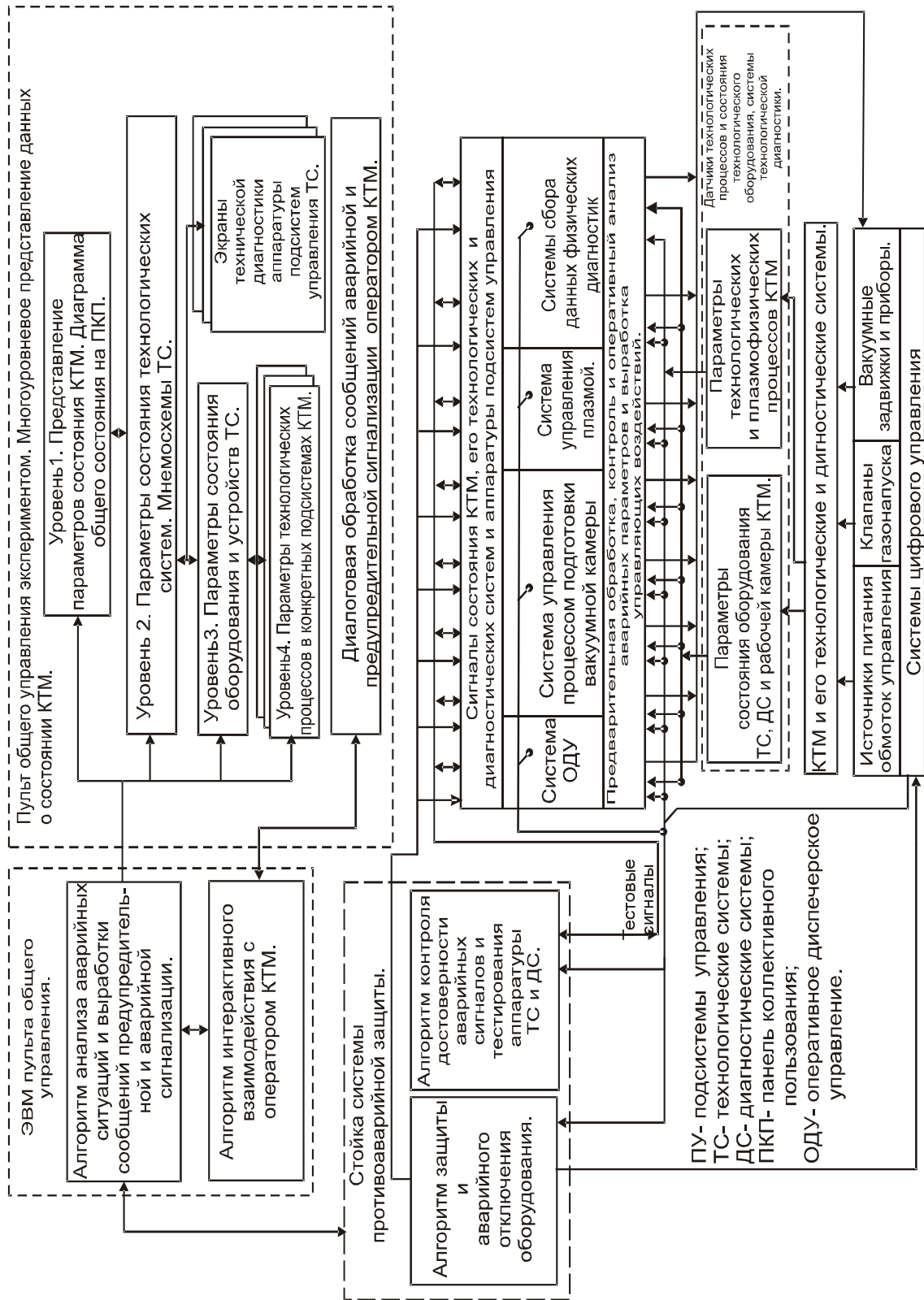


Рис. 1.2. Функциональная схема системы противоаварийной защиты

Прикладное программное обеспечение (ПО) включает в свой состав: программы реализации алгоритмов защит и блокировок, программы дистан-

ционной загрузки уставок для задач оперативного контроля технологических и плазмо-физических параметров, а также тестовое и метрологическое программное обеспечение системы. Программное обеспечение СПЗ предусматривает возможность добавления контролируемых параметров, коррекции предаварийных и аварийных уставок и алгоритмов защитных действий специально обученным персоналом технологических систем СУТП.

Взаимодействие оператора и ПО СПЗ в рабочих режимах работы КТМ возможно только с пульта общего управления экспериментом после выполнения процедуры аутентификации. Любые изменения в настройках ПО протоколируются, а оператор предупреждается о возможных последствиях изменений.

На верхнем уровне системы автоматизации (пульт общего управления экспериментом) должна быть предусмотрена реализация многоуровневого представления данных о состоянии КТМ и причинах возникновения аварийных ситуаций. Информация для этого уровня должна готовиться и обрабатываться ЭВМ и представляться оператору в обобщенной форме для исключения потери времени на выделение, поиск и суммирование информации. В то же время организуется несколько последовательных уровней детализации. На этом уровне СПЗ предусматриваются для повышения скорости реакции оператора различные виды подсказок или предоставление вариантов нескольких возможных действий по устранению или предотвращению аварии.

1.2. Контроль технологических параметров токамака КТМ

В составе технологических систем (ТС) токамака есть системы, работающие в непрерывном режиме (вакуумно-технологической подготовки камеры, водяного охлаждения). Для таких систем в предпусковом режиме тестирование и непрерывный контроль состояния оборудования самой ТС, параметров технологических процессов и выполнение локальных для технологической системы защитных действий реализуется подсистемами автоматического управления технологических систем КТМ. Аналогичным образом организуется защита ТС, работающих циклически, и находящихся в режиме ожидания пуска. В предпусковом режиме на основании результатов контроля подсистема управления делает вывод о работоспособности технологической системы и вырабатывает в случае необходимости сигналы аварийной защиты, относящиеся к данной ТС.

Блок противоаварийной защиты в предпусковом режиме осуществляет циклический запрос состояния всех технологических подсистем токамака, работающих непрерывно или находящихся в ожидании пуска, без инициирования защитных действий. На рис. 1.3 представлена блок-схема алгоритма работы СПЗ в предпусковом режиме.



Рис. 1.3. Блок-схема алгоритма работы СПЗ в предпусковом режиме

В случае нарушений в работе отдельных технологических систем защита установки выполняется путем блокировки следующего разряда. Блокировка запуска осуществляется также при отсутствии готовности любой подсистемы управления или диагностической подсистемы САЭ.

В режиме пуска токамака информация об аварийной ситуации одновременно передается в блок противоаварийной защиты. Блок противоаварийной защиты после анализа ситуации принимает решение о необходимости выполнения общего алгоритма защиты.

Так, например, общий алгоритм защиты выполняется при срабатывании локальных защит любого из выпрямительных блоков источников

питания обмоток. Рассмотрим более подробно технологические параметры, выход которых за установленные границы должен приводить к выполнению алгоритмов защитных действий.

1.2.1. Защита конструкций КТМ от механических напряжений и деформаций

Механические напряжения и деформации вакуумной камеры, внутрикамерных элементов, обращенных к плазме, силовой конструкции и электромагнитной системы (ЭМС), возникают под воздействием мощных нестационарных электромагнитных полей и периодических термических напряжений.

В результате взаимодействия электромагнитных полей и токов возникают силы, действующие на обмотки ЭМС и вакуумную камеру установок типа токамак, эти силы называют пондеромоторными. В общем случае в обмотках возникают изгибные и растягивающие напряжения, эти напряжения воспринимаются силовой конструкцией ЭМС. На основании анализа существующих работ по исследованию конструкций ЭМС токамаков [4, 5, 6, 7, 11] можно сделать вывод, что для обмоток тороидального поля предельным случаем механических нагрузок является режим создания расчетного магнитного поля при отсутствии тока в плазме. Система обмоток электромагнитной системы КТМ включает обмотку индуктора, обмотки поддержания равновесия плазменного шнура, обмотки коррекции поля и тороидальные обмотки. Для всех обмоток полоидального поля при анализе механических нагрузок необходимо учитывать эффект взаимной индукции при максимально возможных скоростях изменения тока.

Механические напряжения вакуумной камеры КТМ возникают под действием пондеромоторных сил, атмосферного давления и периодических термических напряжений. Стенки вакуумной камеры находятся под воздействием периодически меняющегося теплового потока, возникающего в результате облучения первой стенки камеры потоком заряженных частиц – ионов дейтерия, α -частиц и потоком γ -излучения [4, 8, 10]. Электромагнитные нагрузки вакуумной камеры наводятся взаимодействием токов, индуцируемых в ее узлах, и магнитных полей, создаваемых окружающими катушками [8, 9]. Значительные токи наводятся только в процессе сравнительно быстрого изменения окружающего электромагнитного поля во времени, которое происходит при пробое и спаде тока плазмы, а также в процессе тренировочных разрядов – при срывах плазмы. Вероятность случайного срыва плазмы статистически высока, а наведенные токи, возникающие в процессе этих срывов, больше, чем токи, индуцированные при пробое и гашении плазмы или в процессе тренировочных разрядов.

По разным данным, встречающимся в работах [7, 10, 11], характерное время спада тока плазмы при срыве находится в диапазоне 10 мкс – 80 мс, то есть это относительно быстропротекающий процесс.

Данные о механических напряжениях и деформациях поступают в СПЗ и при превышении уставок блок противоаварийной защиты инициирует защитные процедуры в зависимости от состояния установки КТМ. При расчете максимально допустимых уровней механических напряжений для алгоритмов контроля рекомендуется использовать значение температуры конструктивных элементов [24]. Когда установка находится в охлажденном состоянии, система защиты позволяет выполнять высокоэнергетический разряд. Если конструкция «теплая» СПЗ ограничивает величины допустимых напряжений в нижнем уровне. Если конструктивные элементы нагреты выше допустимой уставки по температуре – разряд блокируется.

Техническая структура системы контактной тензометрии рассматривается в техническом проекте на информационно-измерительную систему.

1.2.2. Контроль температуры установки КТМ

Данные о температуре используются в подсистеме управления вакуумно-технологической подготовки рабочей камеры КТМ. Основным контролируемым параметром является температура теплоносителя на выходе из каналов охлаждения в подводящем коллекторе, а также температура наиболее ответственных точек контролируемых температурных полей (места болтовых соединений обмоток, температура вакуумной камеры). При превышении установленных граничных значений по температуре в СПЗ вырабатываются сигналы прекращения пуска и выполняется блокировка следующего запуска до момента возвращения значения температуры в рабочий диапазон. Техническая структура системы контактной термометрии рассматривается в учебном пособии – ИИС САЭ КТМ.

1.2.3. Защита источников питания электромагнитной системы

Одной из самых важных задач системы противоаварийной защиты является обеспечение защиты источников питания и обмоток электромагнитной системы. Защита источников питания производится в случае аварий, возникающих как внутри какого-либо из источников, так и вне системы электропитания, например обусловленных срывами плазмы, нарушением герметичности камеры, перегревом конструктивных элементов и т. п. При этом защитные действия в каждом отдельном источнике питания должны выполняться согласованно с их одновременным отключением (выводом энергии из обмоток ЭМС).

При возникновении внутренних и внешних для источника питания аварийных событий, связанных с перегрузкой по току, перегревом силовых элементов, возникновением перенапряжений на стороне питающей сети, коротким замыканием (КЗ) на выходе преобразователя, пробоем или потерей управляемости тиристорov, потерей сигнала синхронизации с фазой питающей сети, исчезновением охлаждающей воды, контроллер источника питания (ИП) отправляет сообщение об аварии в систему СПЗ и выполняет защитные действия.

Для защиты выпрямителей широко применяются быстродействующие автоматические выключатели с возможностью дистанционного управления. Отключение автоматов происходит при срабатывании электромагнитных устройств выключателя при достижении аварийным током порогового значения. Для повышения эффективности защиты иногда используют сочетание автоматического выключателя и короткозамыкателя, создающего КЗ на входе выпрямителя так, что аварийный ток минует цепи тиристорov. Затем происходит срабатывание автомата.

В управляемых выпрямителях, выполненных на тиристорax, можно использовать способы защиты, реализованные посредством электронных устройств. Основными из них являются: блокирование управляющих импульсов тиристорov, принудительное прерывание аварийных токов с помощью коммутирующей емкости, перевод выпрямителя в инверторный режим и др. Электронные защиты наиболее эффективны при внешних авариях, когда все схемы выпрямителя функционируют нормально.

Наиболее простым способом защиты является снятие управляющих импульсов тиристорov выпрямителя в момент, когда величина выходного тока превышает допустимое значение; это сокращает продолжительность состояния неисправности, снижает нагрузку на тиристоры и позволяет открыть прерыватель переменного тока при нулевом значении тока в питающей сети. Наличие индуктивной нагрузки и индуктивности фильтра в цепи постоянного тока затягивает процесс отключения, реализованный данным способом, и в этом случае рекомендуется использование другого способа защиты – перевод выпрямителя в инверторный режим. При этом энергия, накопленная в индуктивностях, инвертируется в сеть, и тиристоры выключаются. В случае возникновения недопустимых перенапряжений, например по причине повышенного сетевого напряжения, или внутренней аварии выпрямителя, выпрямитель может быть шунтирован байпасным тиристорным модулем.

В преобразователях, работающих как в выпрямительном, так и в инверторном режиме, необходимо предусмотреть дополнительные защитные устройства. Это обусловлено тем, что для инверторов, ведомых сетью, характерны такие специфические аварийные режимы как «опрокидывание» инвертора. В этом случае КЗ возникает не только под

воздействием сетевого напряжения, но и источника постоянного тока. Поэтому в режиме «опрокидывания» необходимо отключение источника постоянного тока, в качестве которого выступают обмотки электромагнитной системы токамака. Сигнал аварии формируется по информации, поступающей от датчика тока в обмотке ЭМС.

Здесь также необходимо отметить, что в связи с тем, что нагрузка для всех тиристорных преобразователей, питающих электромагнитную систему, является индуктивной, поэтому при быстрых отключениях питающей сети или самого преобразователя возникает проблема вывода накопленной в индуктивности энергии. Чем быстрее происходит отключение цепи, содержащей индуктивность с током, тем большие перенапряжения возникают при этом. Для устранения этих перенапряжений используются шунтирующие блоки.

Во всех схемах источников питания в цепь шунтирования выпрямительных блоков от нагрузки должны быть включены балластные сопротивления, ограничивающие токи разряда обмоток в случае штатных и аварийных отключений ИП. Кроме этого, предлагается рассмотреть необходимость установки в выходные цепи источников питания ограничителей перенапряжений для дополнительной защиты элементов ИП от противоз.д.с, связанной с индуктивностью нагрузки.

1.3. Оперативный контроль плазмо-физических параметров

В токамаке нормальное развитие разряда в ряде случаев может заканчиваться срывом плазменного шнура. При срывах происходит быстрое (от долей до десятка миллисекунд) изменение основных параметров плазмы (полного тока, температуры, внутренней индуктивности, большого и малого радиусов, вытянутости по вертикали) [13].

Различают два основных вида срыва:

1. *Большой срыв* – срыв, при котором за доли миллисекунд происходит сбрасывание тепловой энергии плазмы и быстрое затухание плазменного тока за счет увеличения ее сопротивления, вызванного уменьшением температуры до ~ 10 эВ. При «большом срыве» происходит медленное движение плазмы как по горизонтали, так и по вертикали. По расчетам ток плазмы затухает за $\sim 2,5$ мс, ось плазмы сдвигается на ~ 10 см вверх по вертикали и на 40 см внутрь по горизонтали. При этом на камере наводится ток величиной ~ 450 кА, а тороидальные и полоидальные галло токи достигают значения до 50 кА.

2. *Vertical Displacement Event – VDE* – срыв шнура, вызванный быстрым движением плазмы по вертикали из-за потери управления положением плазмы. Причинами потери управления могут быть: сбой в системе управ-

ления, сильная вытянутость по вертикали, «малый срыв», различные МГД-неустойчивости. При VDE происходит быстрое движение плазмы по вертикали (вниз или вверх, в зависимости от причины, вызвавшей потерю управления), при этом плазма остается «горячей» практически до исчезновения самой плазмы. Если на пути движения плазмы встречается препятствие (стенку камеры, диафрагму или элементы диверторного устройства), то начинается так называемое «срезание плазмы» с одновременным уменьшением малого радиуса при практически полном неизменном токе.

В тороидальных системах удержания плазмы наблюдаются по крайней мере четыре типа крупномасштабных неустойчивостей [13].

1. Пилообразные колебания или внутренние срывы. Наблюдаются, как релаксационные колебания уровня интенсивности мягкого рентгеновского излучения (МРИ), регистрируемого из центральной части плазменного шнура.
2. Колебания Мирнова являются регулярными колебаниями магнитного поля и могут быть зафиксированы датчиками электромагнитной диагностики. Они соответствуют винтовой структуре плазмы, которую также можно определить по уровню интенсивности МРИ из областей вблизи края плазмы.
3. Неустойчивость срыва проявляется как резкое расширение профилей температуры и плотности тока, сопровождающееся большим отрицательным выбросом в значениях напряжения на обходе, резкой потерей убегающих электронов, следовательно появлению жесткого рентгеновского излучения и многими другими эффектами.
4. Винтовая неустойчивость ($m=1, m=2$) – приводит к выбросу плазмы на стенку камеры и наблюдается, если $q < 1$.

1.3.1. Контроль развития неустойчивостей по МГД активности плазмы

Вследствие того, что большинство аварийных ситуаций, связанных с плазмой (срывы и т. п.), обусловлены МГД активностью плазмы, целесообразно использовать информацию с МГД диагностики КТМ в системе противоаварийной защиты для формирования сигналов «предвестников» срывов. Очевидно, что параметры МГД активности плазмы при наличии отлаженного инструмента для их анализа могут формировать событийные сигналы, соответствующие определенным плазмо-физическим процессам, приводящим к малым либо большим срывам плазменного шнура. Следует отметить, что в настоящее время механизмы возникновения таких событий как срыв, VDE и т. п. не выяснены до конца, в связи с чем не до конца ясны алгоритмы формирования таких событийных сигналов. На данном этапе можно определить параметры, которые потенциально могут быть

использованы в качестве «предвестников» аварийных событий. К таким параметрам можно отнести следующие: амплитуда мод с определенными полоидальными номерами ($m=2$, $m=3$); наличие эффекта запираания мод, либо замедление из вращения. Количественные значения данных параметров могут быть определены только экспериментально и на данном этапе не важны. Необходимо определить требования к временным характеристикам методов предотвращения крупномасштабных МГД событий и срывов. Характерные времена развития срывов для токамаков лежат в пределах 100 мкс [13]. При этом в случае полного развития срыва, ток плазмы пропадает за время порядка нескольких мкс.

Очевидно, что для успешной реализации каких-либо противоаварийных действий, формирование событийного сигнала должно осуществляться в течение развития срыва. Можно выделить два основных пути смягчения последствий аварийных ситуаций, связанных с неустойчивостями и срывами плазмы: управляемое воздействие на конфигурацию магнитного поля, управляемое введение примесей в плазму. Первый метод потенциально позволяет полностью предотвратить развитие срыва на ранних стадиях и вернуться к нормальному течению разряда. Для реализации отмеченного необходимо наличие специализированных активных быстродействующих седловых обмоток, способных создавать тороидально ассиметричное полоидальное поле [24]. Второй подход предполагает введение в плазму примесей с небольшим Z для переизлучения накопленной плазменном шнуром энергии. Примеси могут инжектироваться либо посредством пеллет, либо посредством высокоскоростного газонапуска [24]. Данный подход применяется в случаях, когда срыв плазмы неизбежен и необходимо смягчить его последствия. Сводная таблица по видам неустойчивостей и возможным управляющим воздействиям для их подавления приведена ниже.

Таблица 1.2

Сводная таблица по видам неустойчивостей

| Вид неустойчивости | Последствия | Способы предупреждения | Вид управляющего воздействия |
|--|---|--|------------------------------|
| 1. Неустойчивость типа перетяжек $m=0$ | Выброс плазмы на стенку, и резкое уменьшение температуры плазмы | Поместить плазменный шнур в продольное магнитное поле, сравнимое по величине с полоидальным полем вокруг шнура. Данная неустойчивость не возникает в токамаках из-за наличия специальной обмотки TF – обмотки продольного поля | – |

| Вид неустойчивости | Последствия | Способы предупреждения | Вид управляющего воздействия |
|---------------------------------------|--|--|---|
| 2. Винтовая неустойчивость $m=1, m=2$ | Изгибание шнура и быстрый выброс плазмы в направлении стенки | Продольное магнитное поле должно быть достаточно сильным, а плазменный шнур достаточно толстым, чтобы между плазмой и стенкой не было магнитных силовых линий, замыкающихся самих на себя при одном обходе вдоль плазменного шнура (критерий устойчивости Крускала – Шафранова $q > 1$) | Задается ток в тороидальных обмотках ТФ. Стабилизация тока плазмы на заданном уровне, с помощью источника питания (ИП) обмотки ОН |
| 3. Неустойчивость срыва | Внезапное расширение профилей электронной температуры и плотности тока по малому радиусу, плазменный шнур резко смещается внутрь по большому радиусу | Работать в пределах области допустимых значений параметров: запас устойчивости q ; ток плазмы I_p ; плотность плазмы n_e ; количество убегающих электронов | Стабилизация тока плазмы на заданном уровне, с помощью ИП обмотки ОН |
| 4. Колебания Мирнова | Время удержания энергии плазмы падает, а общее электрическое сопротивление увеличивается | Вращение винтовой структуры можно остановить, накладывая винтовые возмущения с помощью внешних обмоток РФ или ТФ. Для уменьшения амплитуды колебаний надо уменьшить ток плазмы (с помощью ИП обмотки ОН), уменьшить содержание примесей (за счет обеспечения высокого вакуума, герметичности и боронизации рабочей камеры, использовании дивертора). Уменьшить плотность плазмы (за счет пьезоклапанов напуска рабочих газов H_2 и D_2) | Уменьшение тока плазмы, с помощью ИП обмотки ОН. Изменение тока в обмотках РФ и ТФ, с помощью ИП соответствующих обмоток |

1.3.2. Диагностика аварийного развития разряда по параметрам жесткого рентгеновского излучения

Жесткое рентгеновское излучение (ЖРИ) – это излучение, которое возникает при падении быстрых электронов на твердую поверхность.

Электроны с очень большой энергией (быстрые электроны) могут образовываться в плазме, если в достаточно протяженной области и в течение достаточного длительного времени поддерживается стационарное или индукционное электрическое поле, напряженность которого позволяет электронам войти в режим непрерывного ускорения. Кроме этого, электроны могут ускоряться в переменных полях, возникающих при развитии неустойчивостей, либо при наличии турбулентности набирать энергию в результате статистических механизмов ускорения. Электроны начинают непрерывно ускоряться в электрическом поле, если их скорость настолько велика, что средняя сила динамического трения, обусловленная кулоновским соударением с ионами, становится меньше силы eE , где e – заряд электрона, E – напряженность электрического поля. Такие электроны обычно называют «убегающими». Необходимо отметить, что эффект «убегания» будет значительным, если энергия, приобретаемая электроном за время между двумя соударениями, становится сравнимой с kT_e .

Существует следующий критерий «убегания» электронов [11]:

$$(eE_D) \cdot \lambda_a \geq 0,4kT_e,$$

где $\lambda_a = (kT_e)^2 / (8\pi n_e^4 \ln \Lambda)$, $\ln \Lambda = 10-20$ – кулоновский логарифм. E_D есть поле, при котором электрон с энергией $T_e = mV^2/2$ удваивает свою скорость за время электрон – электронного столкновения [15,19].

Отсюда получаем $E_D \geq 4 \cdot 10^{-2} (\ln \Lambda / 15) \cdot (n_e / 10^{13}) \cdot (10^3 / kT_e)$, В/см.

То есть, чем меньше плотность плазмы и выше температура электронов, тем при меньших значениях электрического поля $E_{об}$ (В/см) в плазме токамака возможно ускорение убегающих электронов. Отсюда следует, что аварийным случаем является проведение импульса при очень низких концентрациях плазмы.

Интенсивность тормозного излучения для единицы объема плазмы определяется по формуле [19]:

$$P_{\text{торм}} = 1,5 \cdot 10^{-34} \cdot Z^2 \cdot n_i \cdot n_e \cdot T_e^{0.5}, \text{ Вт/см}^3,$$

где Z – порядковый номер элемента, ионы которого входят в состав плазмы, n_i , n_e – концентрация ионов и электронов, см^{-3} , T_e – электронная температура в градусах Кельвина.

В токамаке нормальное развитие разряда в ряде случаев может заканчиваться срывом плазменного шнура. Появление жесткого рентгеновского излучения предшествует срыву.

Очевидно, что параметры жесткого рентгеновского излучения при наличии отлаженного инструмента для их анализа могут формировать событийные сигналы, соответствующие определенным плазмо-физическим процессам, приводящим к малым либо большим срывам плазменного шнура.

На данном этапе можно определить параметры, которые потенциально могут быть использованы в качестве «предвестников» аварийных событий. К таким параметрам можно отнести следующие: интенсивность и скорость нарастания жесткого рентгеновского излучения. Пороговые значения этих параметров, позволяющие диагностировать развитие аварийных событий, могут быть получены экспериментальным путем при анализе разрядов со срывами.

Функции контроля превышения параметрами жесткого рентгеновского излучения пороговых значений, выполняются подсистемой диагностики ЖРИ после чего может быть сделан вывод о развитии срыва плазменного разряда. Структура и способ реализации диагностической подсистемы для сбора данных о ЖРИ рассмотрены в учебном пособии – ИИС САЭ КТМ.

1.4. Алгоритм работы системы противоаварийной защиты в пусковом режиме

Алгоритм работы СПЗ в пусковом режиме представлен на рис. 1.4. К пусковому режиму относятся все операции, выполняемые в течение интервала создания, существования и гашения плазмы (5с).

Генерация команды запуска диагностики группы II: в диагностику группы II входит диагностика мягкого рентгеновского излучения, диагностика жесткого рентгеновского излучения, электромагнитная диагностика, одноканальный интерферометр, радар рефлектометр, детекторы мощных радиационных потерь. Перечисленные диагностики используются системой управления плазмой в течение разряда. Отсутствие готовности диагностик Группы II приводит к блокировке пуска.

Если проверка на наличие или развитие аварийной ситуации дает положительный результат, то переходим к анализу текущей ситуации. Если аварийную ситуацию нельзя предотвратить без срыва разряда и необходимо выполнить аварийный останов, тогда определяется характер аварийной ситуации.

Определение характера аварийного останова предполагает определение момента появления аварийного сигнала относительно фаз разряда. Если авария произошла в момент отсутствия тока плазмы, то СПЗ генерирует сигнал на выполнение алгоритма прекращения программы. Если плазма существовала, то переходим к исполнению алгоритма гашения плазмы. Если авария возникла в источниках питания, то выполняется аварийное отключение.

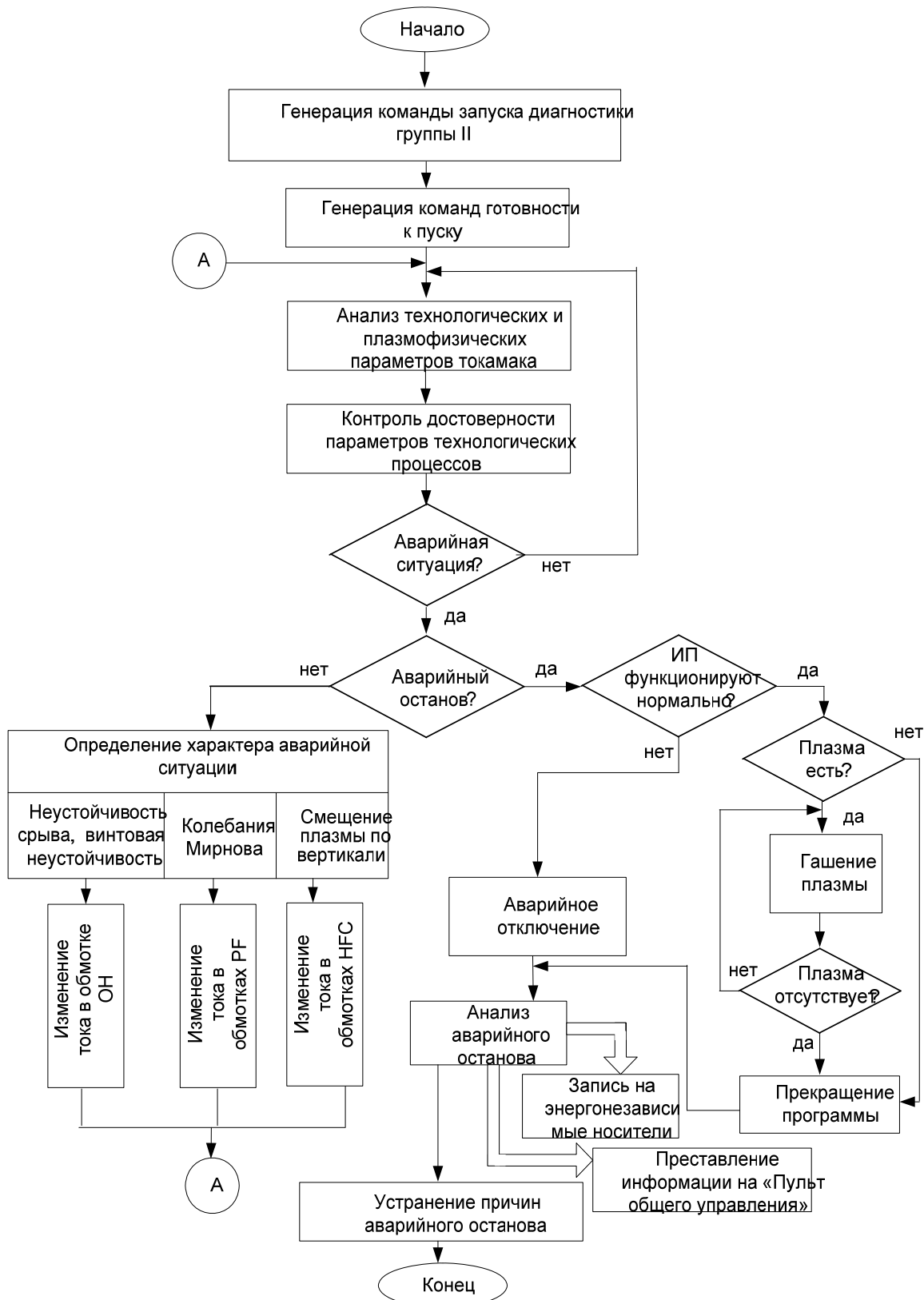


Рис. 1.4. Блок-схема алгоритма работы системы против аварийной защиты в пусковом режиме

Анализ технологических и плазмо-физических параметров токамака. На основе анализа формируются выводы о текущем состоянии технологических систем стендового комплекса и параметрах плазменного разряда.

Контроль достоверности параметров выполняется для исключения срабатываний аварийной защиты по причине случайных сбоев в работе системы, при получении аномальных отсчетов или за счет воздействия помех. На этом этапе выполняются алгоритмы фильтрации и отбраковки промахов, а также алгоритмы логического анализа при наличии нескольких каналов измерения параметров.

Гашение плазмы предусматривает контролируемое снижение тока в обмотках полоидального поля по одной из специальных программ (в зависимости от момента поступления аварийного сигнала), обеспечивая поддержание равновесия плазменного шнура. Для вывода энергии из плазмы производится напуск «тяжелого» инертного газа (Ar).

Прекращение программы: прерывание нормальной программы управления источниками и вывод энергии, накопленной в электромагнитной системе, путем одновременного инвертирования всех тиристорных преобразователей.

Аварийное отключение: отключение тиристорных преобразователей от сети переменного тока с последующим шунтированием обмоток.

В том случае, если имеется возможность подавить развитие неустойчивостей в плазменном шнуре, то после определения характера аварийной ситуации выполняются алгоритмы коррекции токов в обмотках ЭМС. После устранения аварийной ситуации переходим к алгоритму контроля параметров токамака и дальше по алгоритму.

На завершающих этапах алгоритма производится анализ аварийного останова и блокировка следующего запуска. Продолжение программы эксперимента возможно только после устранения последствий аварийного останова.

2. СИСТЕМА СИНХРОНИЗАЦИИ ТОКАМАКА КТМ

Процесс функционирования термоядерной установки токамака КТМ характеризуется сложной последовательностью технологических операций. Выполнение этих операций должно быть синхронизировано во времени. Большое количество подсистем и сложные режимы их функционирования в течение эксперимента требуют создания гибкой и многофункциональной системы синхронизации (СС).

При работе токамака в предпусковом, пусковом и послепусковом режимах требуется формировать большое количество синхронизирующих сигналов различных типов и с разными характеристиками. При этом требуется обеспечить высокую динамику и точность передачи этих сигналов к распределенным в пространстве стендового комплекса КТМ системам. Все синхронизирующие сигналы и сообщения в зависимости от принципа их формирования можно разделить на две группы:

- группа синхронных событий;
- группа асинхронных событий.

Синхронными являются события, моменты возникновения которых могут быть либо заранее заданы относительно какой-либо точки отсчета, например, момента времени «старт разряда», либо вычислены уже в ходе разряда по мере получения информации о текущих параметрах токамака и протекающих в нем процессов. Моменты наступления асинхронных событий в отличие от синхронных являются совершенно случайными. В качестве наиболее яркого примера таких событий в условиях токамака КТМ можно назвать сигналы, соответствующие моментам наступления аварийных ситуаций в технологических системах, а также сигналы о достижении отдельными параметрами токамака своих установленных значений.

2.1. Принципы синхронизации пусковых операций в токамаке КТМ

Эксперименты на токамаке КТМ состоят из серии плазменных разрядов (пусков), каждый из которых предполагает выполнение большого числа пусковых операций. В свою очередь последовательность выполнения одной части операций (обычно в нее входят подготовительные действия) задается жестко программой эксперимента, а другая часть инициируется по мере достижения определенных условий разряда, а также при возникновении

инициативных сигналов от технологического оборудования и управляющих систем токамака. К инициативным в этом случае также относятся сигналы аварийных и предаварийных состояний установки и ее систем.

Привязка пусковых операций к моментам возникновения сигналов событий и упорядочение работы технологических и диагностических систем во времени разряда относятся к задаче событийной синхронизации, решаемой системой синхронизации токамака. Задача временной синхронизации в этом случае заключается в обеспечении единого экспериментального времени с точностью до долей микросекунды для тех систем установки, которые участвуют в управлении и в измерении параметров быстропротекающих процессов.

В целом можно выделить следующие задачи, которые решает система синхронизации: задачи событийной синхронизации:

- 1) прием инициативных сигналов и регистрация моментов времени их появления;
- 2) анализ инициативных сигналов и формирование синхронизирующих команд;
- 3) передача команд к системам в режимах широковещательной или групповой адресации;
- 4) синхронное выполнение команд в системах;
- 5) предпусковая настройка параметров событийной синхронизации.

Задачи временной синхронизации:

1. Формирование сигнала стабильной частоты общей для всего комплекса КТМ.
2. Транспортировка сигнала к системам комплекса.
3. Счет экспериментального времени.
4. Реализация временных диаграмм работы систем.
5. Предпусковая настройка параметров временной синхронизации. Для эффективного решения задач событийной и временной синхронизации на токамаке КТМ спроектирована двухуровневая система.

Событийные сигналы в токамаке, связанные с физическими процессами:

- появление тока плазмы (инициация разряда);
- достижение номинального значения тока плазмы (плато тока);
- появление убегающих электронов;
- всплески жесткого рентгеновского излучения;
- появление нейтронного излучения;
- значение параметра $li/2$;
- аварийные сигналы, сигналы предвестники аварийных ситуаций.
- скачек U_p ;

- спад тока плазмы;
- запираение МГД-мод;
- Гало-токи.

2.2. Кодирование событий в системе синхронизации

Временные диаграммы в СС представляют собой набор двоичных кодов событий, упорядоченных путем указания параметра, связывающего событие с тем или иным типом и временной метки. Типы событий согласно [1] разделены на четыре группы: **Р** – предустановленные фиксированные, **S** – синхронные фиксированные, **С** – вычисляемые динамические, **А** – асинхронные. Таким образом, для событий с типами **Р** и **S** еще до начала разряда задается момент времени их исполнения, а события с типом **С** и **А** активизируются в течение разряда по мере наступления заданных условий и появления инициативных сигналов.

В целях создания системы кодирования событий и, как следствие, для повышения наглядности, и исключения ошибок при подготовке временных диаграмм все события в СС делятся на группы по двум признакам: функциональному и по источнику сигнала. Разделение на группы определяет правила использования кодов в устройствах системы синхронизации.

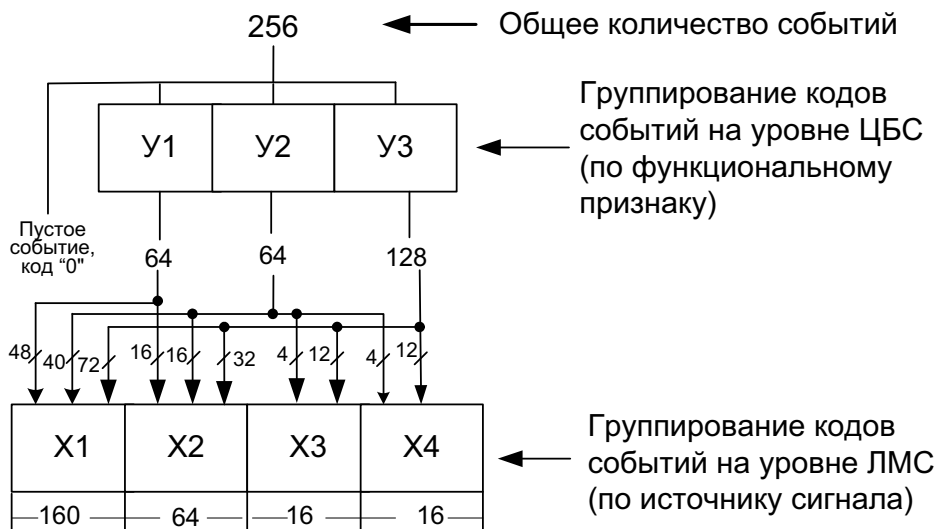


Рис. 2.1. Схема распределения кодов событий по группам

По функциональному признаку выделяется три группы команд:

Y1 – команды запроса готовности, тестирования, инициализации: общее количество 63, диапазон значений 1–63.

Y2 – команды (сигналы) аварийного останова, отключения, неисправности, общее количество 64, диапазон значений 64–127.

Y3 – команды (сигналы) запуска, общее количество 128, диапазон значений 127–255.

Таблица 2.1

Распределение кодов событий по функциональным группам

| Обозначение группы | Источник сигнала в ЛМС (обозначение группы) | | | |
|--|---|----------------|----------------|----------------|
| | ЦБС (X1) | ЦПУ(X2) | ВИС (X3) | ФСВ (X4) |
| Количество событий в группе, из них: | 160 | 64 | 16 | 16 |
| входят в группу Y1 (диапазон значений) | 48 (0 – 47) | 16 (48 – 63) | – | – |
| входят в группу Y2 (диапазон значений) | 40 (64 – 103) | 16 (104 – 119) | 4(120–123) | 4(124–127) |
| входят в группу Y3 (диапазон значений) | 72(128 – 199) | 32 (200 – 231) | 12 (232 – 243) | 12 (244 – 255) |

В качестве источников событийных сигналов в ЛМС выделяются следующие:

- центральный блок синхронизации – группа X1;
- центральное процессорное устройство (ЦПУ) – группа X2;
- блок ввода инициативных сигналов (ВИС) – группа X3;
- блок формирования событий по временным меткам (ФСВ) – группа X4.

2.3. Перечень синхронных и асинхронных событий

Синхронные события, генерируемые системой синхронизации, жестко привязаны ко времени эксперимента. Эти события являются predetermined и моменты времени их посылки системой синхронизации задаются или изменяются оператором-технологом и ведущим физиком с пульта общего управления экспериментом перед началом пуска. К таким сигналам относятся:

- предпусковые временные метки, используемые технологическими и диагностическими системами для выполнения программ предстартовой настройки и тестирования;
- сигналы, задающие основные временные точки циклограммы разряда, такие как сигналы о начале ввода токов в обмотки TF, CS и в обмотки RF, о начале напуска рабочего газа в камеру, о включении цепей накала ламп генераторов ЭЦР и ИЦР нагрева;
- сигналы начала и окончания операций измерения и регистрации данных диагностических систем, время функционирования которых на интервале разряда заранее известно;
- метки астрономического времени эксперимента.

Асинхронные события формируются системой синхронизации на основе внешних и внутренних по отношению к системе автоматиза-

ции сигналов, моменты появления которых не могут быть заранее предсказаны. Источниками этих сигналов являются подсистемы управления и диагностики КТМ. Основным назначением асинхронных событий является инициирование запуска программ измерения и регистрации диагностических данных или оперативного изменения частоты дискретизации по каналам измерения параметров плазмы на интересующей стадии разряда с целью проведения их более детального анализа.

К основным группам асинхронных сигналов относятся:

1. Запланированные (технологические) асинхронные сигналы перехода токамака к новому режиму работы или фазе разряда, например, достижение заданного уровня по технологическим или плазмофизическим параметрам разряда.
2. Асинхронные сигналы, свидетельствующие об аварийном состоянии самой вакуумной камеры КТМ (напряженно-деформированных состояний, нагрев внутренней стенки, смещение плазмы, уход плазмы на стенку).
3. Асинхронные сигналы, возникающие при обнаружении характерных плазменных возмущений – предвестников срывов – и используемых для предупреждения плазменных срывов. В качестве предвестников срывов выделяются: мода $m=2$ МГД-возмущений, всплеск интенсивности жесткого рентгеновского излучения, скачок величины напряжения на обходе камеры U_p , резкое снижение величины тока плазмы, появление запертых МГД-мод, значительный уровень Гало-токов.
4. Сбои в работе оборудования КТМ.
5. Сбои в работе оборудования системы автоматизации экспериментов токамака КТМ.

Перечень асинхронных сигналов в соответствии с перечисленными выше группами приведен в табл. 2.2.

Таблица 2.2

| Системное обозначение сигнала | Наименование события | Иницируемое действие |
|---|--|---|
| Группа 1. Технологические (запланированные) асинхронные сигналы перехода к новым режимам работы. | | |
| start_discharge | Начало разряда | Ввод тока в обмотку TF. Ожидание сигнал Itf target |
| Itf_target | I_{tf} достиг заданного уровня ($I_{tf}=I_{tf-зад}$) | Ввод тока в обмотку CS. Ожидание сигнал Ics target |

Продолжение табл. 2.2

| Системное обозначение сигнала | Наименование события | Иницируемое действие |
|-------------------------------|--|---|
| Ics_target | I_{cs} достиг заданного уровня ($I_{cs}=I_{cs-зад}$) | Ввод тока в обмотки PF до заданного значения. Ожидание сигнала Ics_invert |
| Ics_invert | Начало фазы быстрого изменения тока в индукторе | Инвертирование тока в обмотке CS; эта же команда запускает изменение токов в обмотках PF (цель – формирование точки пробоя плазмы) |
| Ics_rate2 | Начало фазы медленного изменения тока в индукторе, $U_{cs}=\max\{U_{d-cs}\}$ | Реверсирование источника питания обмотки CS, эта же команда используется для изменения тока в обмотках PF с целью отработки сценария изменения формы и положения плазменного шнура на фазе роста тока |
| Ip_0 | Появление плазменного шнура, $I_p=\min\{I_p\}$ | Начало логико-программного управления формой, положением, током и плотностью плазмы |
| gas_roof | Включить напуск газа | Начало оперативного газонапуска |
| Plato_Ip | Ток плазмы I_p достиг заданного значения ($I_p=I_{зад}$) | Перевод контуров управления СУП в режим работы по сигналам обратной связи; выполнение одного из условий готовности к запуску ВЧ-нагрева |
| ICR_switch_on | Включить ВЧ нагрев | Включение источника анодного питания. Формируется после регистрации сигналов plato_ip и ne_value_1 |
| Li/2_level1 | Значение параметра $li/2$ превысило пороговое значение | Переход в улучшенный режим удержания, корректировка алгоритма управления |
| Ti_level1 | Температура ионов T_i достигла порогового значения | Переход в улучшенный режим удержания, корректировка алгоритма управления |
| Ics_min | Достигнуто минимально возможное значение тока в индукторе | Начало операций по завершению разряда |

Продолжение табл. 2.2

| Системное обозначение сигнала | Наименование события | Иницируемое действие |
|---|---|---|
| shutdown | Сигнал инициации запланированного останова | Начало операций по завершению разряда |
| halt | Разряд закончен | |
| Группа 2. Асинхронные сигналы об аварийном состоянии вакуумной камеры | | |
| Tenzo_level_1 | Достигнута предельная величина деформаций и механических напряжений | Инициация завершения разряда |
| Wall_overheating | Перегрев стенок камеры и внутрикамерных элементов | Инициация завершения разряда |
| Plasma_&_wall | Соприкосновение плазмы со стенкой вакуумной камеры | Вывести ток из обмоток управления на балластные сопротивления. Включение газового инжектора |
| Plasma_h_move | Превышение допустимой скорости смещения плазмы по горизонтали или вертикали | |
| Locked_mode | Запирание МГД-моды | |
| Группа 3. Асинхронные сигналы, используемые для предотвращения срывов плазмы | | |
| emd_2mod | Сигналы с ЭМД, свидетельствующие о появлении неустойчивости срыва | Корректировка алгоритмов управления плазмой |
| xrhard_en | Сигналы с ДЖРИ, свидетельствующие о появлении неустойчивости срыва | Отключить ВЧ-нагрев и газонапуск. Корректировка алгоритмов управления формой и положением плазмой |
| Скачок_Up | Малый срыв плазмы | Изменение алгоритма управления |
| Спад_Ip | Малый срыв плазмы, время развития до 100 мс | Изменение алгоритма управления |
| Группы 4,5. Асинхронные сигналы о сбоях в работе КТМ и САЭ КТМ | | |
| pcs2_fail | Неисправность (сбой) СУП | Завершение разряда |
| emd_fail | Неисправность блока ИПР ЭМД | Завершение разряда |

Окончание табл. 2.2

| Системное обозначение сигнала | Наименование события | Иницилируемое действие |
|-------------------------------|---|--|
| dcs_TF_fail | Неисправность системы цифрового управления ИП обмотки TF | Завершение разряда |
| dcs_CS_fail | Неисправность системы цифрового управления ИП обмотки CS | Завершение разряда |
| dcs_PF_{1}_fail | Неисправность системы цифрового управления ИП обмотки PF1 | Завершение разряда |
| dcs_PF_{2}_fail | Неисправность системы цифрового управления ИП обмотки PF2 | Завершение разряда |
| dcs_PF_{3}_fail | Неисправность системы цифрового управления ИП обмотки PF3 | Завершение разряда |
| dcs_PF_{4}_fail | Неисправность системы цифрового управления ИП обмотки PF4 | Завершение разряда |
| dcs_PF_{5}_fail | Неисправность системы цифрового управления ИП обмотки PF5 | Завершение разряда |
| dcs_PF_{6}_fail | Неисправность системы цифрового управления ИП обмотки PF6 | Завершение разряда |
| dcs_HFC_fail | Неисправность системы цифрового управления ИП обмотки HFC | Завершение разряда |
| gns_fail | Неисправность блока оперативного газонапуска | Завершение разряда |
| icr_fail | Неисправность ВЧ-системы | Завершение разряда |
| sep_fail | Отказ электропитания | Переключение на бесперебойное питание и завершение разряда |
| OI_fail | Неисправность одноканального интерферометра | Отключение алгоритма управления плотностью |
| mirr_fail | Неисправность радар-рефлектометра | Коррекция алгоритма управления формой |

2.4. Структурно-функциональная схема системы синхронизации

В зависимости от назначения подсистем управления и сбора данных и режимов их работы требования по составу сигналов синхронизации, их характеристикам и точности временной привязки могут существенно отличаться.

В соответствии с этими требованиями все подсистемы управления и сбора данных можно разделить на две группы. В группу 1 входят подсистемы управления (ПСУ группы 1) и подсистемы сбора данных (ПСДУ группы 1), работающие непрерывно и обеспечивающие управление и сбор данных о процессах с невысокой динамикой изменения параметров до 100 Гц. В ПСУ группы 2 и ПСДУ группы 2 входят подсистемы, работающие в пусковом режиме только на интервале разряда и имеющие высокое быстродействие и, соответственно, требующие высокой точности синхронизации.

Для нормальной работы ПСУ и ПСДУ группы 1 от системы синхронизации требуется передача только сигналов (сообщений) о начале, конце разряда и его фазах, а также аварийных событиях. По этим сигналам подсистемы программно изменяют величину периода оцифровки измеряемых параметров и другие настройки и регистрируют измеряемые параметры и событийные сигналы на основе счетчиков астрономического времени. Передача отдельного сигнала тактовых импульсов высокой частоты в подсистемы группы 1 не требуется. Синхронизация всех компьютеров САЭ и подсистем группы 1 в масштабе астрономического времени выполняется на основе специального сетевого протокола NTP, обеспечивающего установку единого времени на всех компьютерах с погрешностью не более 20 мс.

В состав ПСУ и ПСДУ группы 2 входят подсистемы, работающие только в режиме разряда. Быстродействие подсистем группы 2 определяется динамикой плазмозфизических процессов, частота которых на токамаке КТМ будет находиться в диапазоне от 1 кГц до 10 МГц. Следовательно сигналы системы синхронизации, передаваемые к этим подсистемам, должны обеспечивать проведение измерений с необходимым временным разрешением, а также синхронность выполнения измерений и управляющих действий отдельными подсистемами.

Важно отметить, что разрабатываемая система синхронизации должна иметь в этом случае следующие отличительные характеристики: высокую точность и надежность работы, распределенную структуру для синхронизации подсистем, размещенных в экспериментальном зале, в помещениях источников питания и других прилегающих к экспериментальному залу помещениях иметь средства гибкого изменения характеристик временных последовательностей и частоты тактовых сигналов.

Практически вся история развития систем синхронизации действующих токамаков направлена на поиск структурных, технических и программно-алгоритмических решений, улучшающих эти характеристики [25–32].

Исследования, проведенные в процессе проектирования системы синхронизации токамака КТМ, позволили определить, что наиболее эффективное решение может быть получено в случае создания дополнительной, по отношению к локальной вычислительной сети САЭ КТМ, сети передачи синхросигналов. В качестве основных структурных элементов системы синхронизации при этом выделяются: центральный блок синхронизации (ЦБС), локальные модули синхронизации (ЛМС), устанавливаемые в каждую синхронизируемую подсистему, а также цифровая сеть передачи синхросигналов радиальной структуры. Структурно-функциональная схема системы синхронизации, поясняющая принятые проектные решения, показана на рис. 2.2.

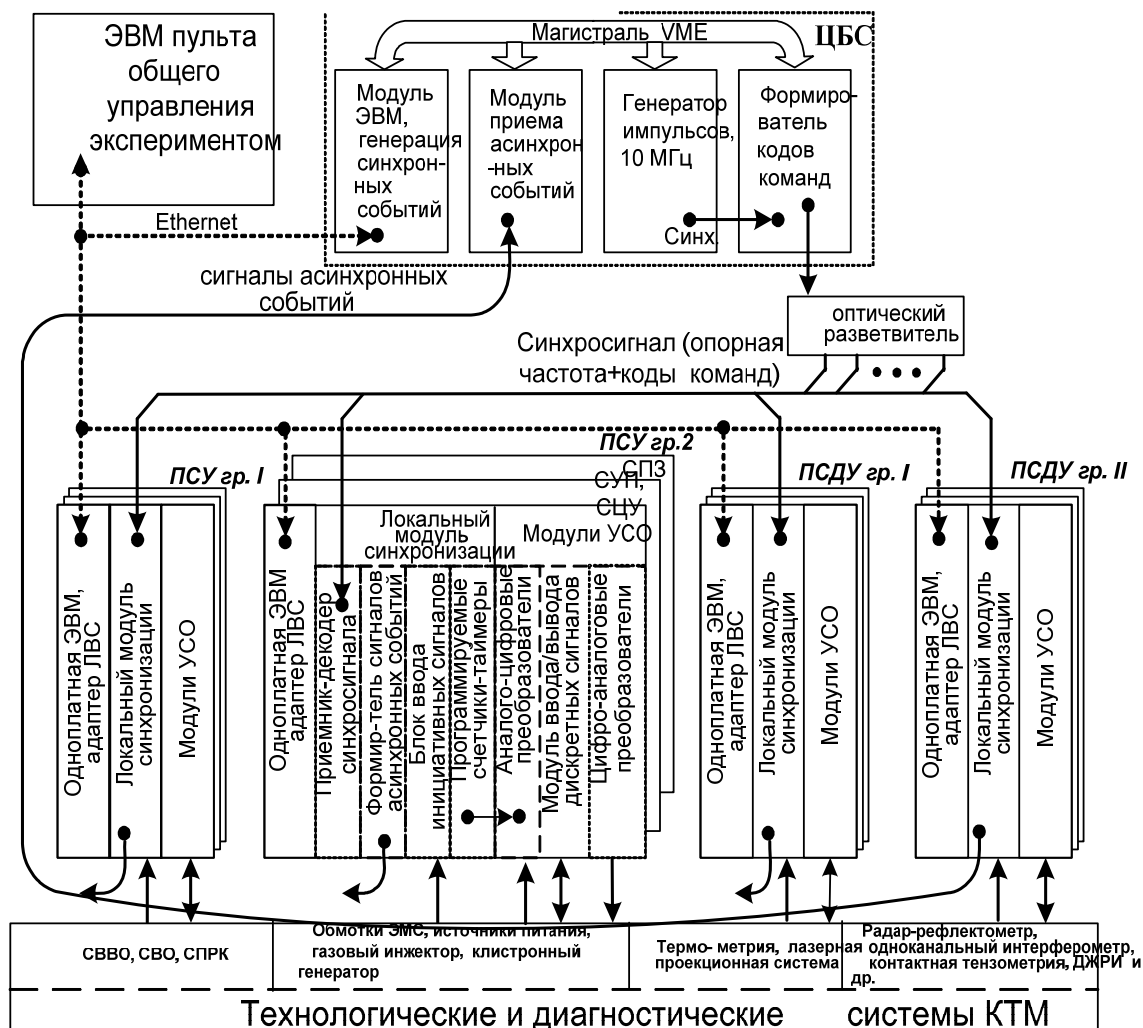


Рис. 2.2. Структурно-функциональная схема системы синхронизации КТМ

На рис. 2.3 показан комплекс технических средств системы, который включает такие основные узлы, как центральный блок синхронизации (ЦБС), оптический разветвитель (ОР) и локальный модуль синхронизации (ЛМС), устанавливаемый в синхронизируемое оборудование токамака. Функционально задачи синхронизации распределяются между блоками ЦБС и ЛМС и работа этих блоков будет рассмотрена далее.

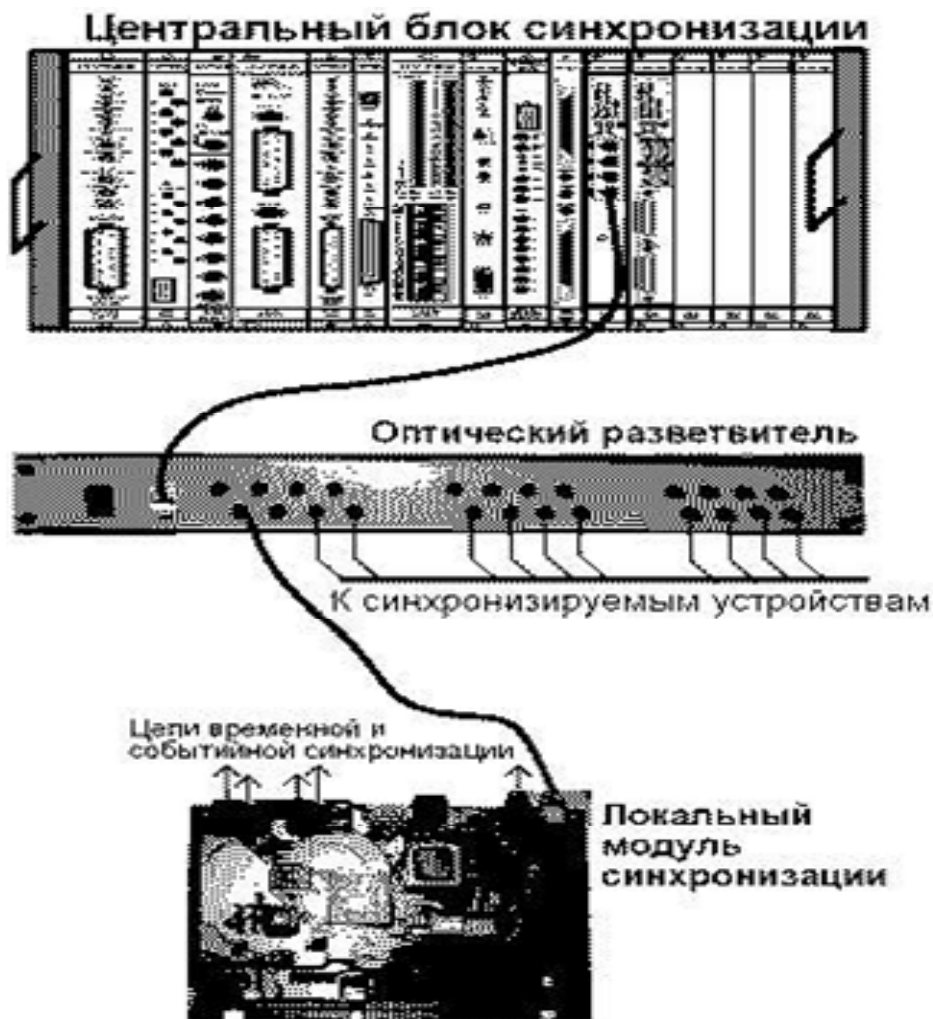


Рис. 2.3. Структура комплекса технических средств

Проведение плазменных разрядов на КТМ с использованием предлагаемых решений по системе синхронизации осуществляется следующим образом. При поступлении команды на пуск разряда, которая вводится оператором с пульта общего управления экспериментом, и при условии готовности к разряду всех подсистем токамака, соответствующая команда по сетевому каналу посылается к центральному блоку синхронизации. ЦБС по получении команды инициирует генерацию последовательности синхронных событий и обработку сигналов асинхронных событий, поступающих от ЛМС. На основе сигналов событий форми-

руются коды запускающих команд, передаваемые затем в широкоэмитальном режиме к локальным модулям синхронизации, последовательность которых и реализует временную диаграмму работы КТМ.

Таким образом, выбранный подход к построению системы синхронизации позволяет решить следующие задачи:

1. Обеспечить транспортировку импульсов временной синхронизации от единого генератора тактовых импульсов, расположенного в ЦБС, ко всем подсистемам САЭ с фазовым сдвигом не более 100 нс.
 2. Обеспечить передачу кодов запускающих команд, которые соответствуют сигналам синхронных и асинхронных событий, возникающим в системе, путем их совмещения с импульсами временной синхронизации на основе методов фазового кодирования. Погрешность временной привязки команд в этом случае будет определяться длиной команды в битах и частотой следования импульсов временной синхронизации, которая может быть увеличена с целью снижения данной погрешности.
 3. Упростить структуру кабельных соединений СС путем использования оптоволоконного кабеля и оптических разветвителей сигналов с одновременным достижением высокого уровня помехозащищенности и гальванической развязки элементов системы.
 4. Расположить синхронизируемые подсистемы в пространстве стендового комплекса КТМ при удалении от ЦБС на расстояние более 100 метров.
- Рассмотрим основные структурные элементы системы синхронизации.

2.5. Описание структуры синхросигнала системы синхронизации

Система синхронизации реализована с применением оптической сети, построенной по архитектуре «Звезда». Центральным элементом в сети является блок формирования синхросигнала (БФС), осуществляющий непрерывную передачу сигналов через оптические преобразователи-разветвители всем подсистемам управления и сбора данных с установленными локальными модулями синхронизации (ЛМС). Структура синхросигнала и команд, передаваемых в СС, показана на чертеже *КТМ.03.03.001.011.ТП*.

При передаче сигнала используется дифференциальный код Манчестера. Кодировщик, входящий в состав БФС, при наличии информации для передачи в ЛМС осуществляет выдачу информационного блока показанного на рисунке. При отсутствии информации для передачи в сеть передается кодированное значение «0». Передача данных осуществляется со скоростью 5 Мбит/с. Приемники синхросигнала умножают частоту в 2 раза обеспечивая базовое разрешение системы синхронизации 0.1 мкс. Для передачи асинхронных данных базовое разрешение определяется временем передачи одного блока и составляет 4 мкс (передача 20 бит на частоте 5 МГц).

Структура информационного блока включает три поля.

1. Синх. – поле синхронизации (2 бита).

При выдаче этого поля в сети осуществляется запрет передачи, кода Манчестера и формирование кодовой последовательности специальной формы в течение двух тактов синхронизации для обеспечения регистрации начала информационной посылки.

2. Поле управления (9 бит) включает:

- код блока (1 бит);
- поле адреса (7 бит);
- контрольное поле (1 бит).

Код блока – поле для указания типа информационной посылки.

Код «0» – используется для передачи блоков «команда»;

код «1» – используется для передачи блоков «данные» (передача информации о событиях осуществляется блоком с этим кодом).

Адрес – поле адреса. Каждый ЛМС имеет уникальный адрес (значения от 1 до 127), при передаче БФС указывает адрес ЛМС, которому предназначена информация. Адрес «0» является «широковещательным» и блоки данных с этим адресом принимаются к обработке всеми ЛМС.

Контрольное поле – бит контроля по четности используется для повышения достоверности передачи данных.

3. Поле данных (9 бит) содержит кодированное значение передаваемого блока «команда» или блока «данные» (8 бит.). Для обнаружения ошибок передачи поля данных используется контроль по четности (1 бит).

2.6. Центральный блок синхронизации

Центральный блок синхронизации предназначен для приема и обработки сигналов и сообщений синхронных и асинхронных событий, формирования и передачи тактового сигнала и синхронизирующих команд по оптоволоконным кабелям в подсистемы управления и сбора данных. Требуемая топология кабельных соединений реализуется с использованием оптических разветвителей типа Tree Couples (производство Fiber Optic Network Technologies Co., Канада). Синхронизирующие команды, передаваемые ЦБС одновременно ко всем подсистемам, по своему функциональному назначению являются главным образом командами запуска, но могут использоваться и для других целей.

В состав ЦБС входят следующие основные блоки:

- генератор тактовых импульсов с выходной частотой 10 МГц,
- модуль формирователя кодов синхронизирующих команд,
- модуль приема асинхронных событий.

Синхронные сигналы и сообщения поступают в ЦБС от ЭВМ пульта общего управления экспериментом по каналам ЛВС САЭ или генерируются локально центральным процессорным устройством, исполняющим программу управления ЦБС.

2.6.1. Описание потока событий ЦБС

Коды событий, генерируемые центральным блоком синхронизации, закодированы в структуре синхросигнала в соответствии с методом Манчестерского кодирования (см. пункт 1.3.). Интенсивность потока событий ЦБС определяется временной диаграммой проведения эксперимента, длительностью разряда и запланированным количеством событий. Минимально допустимый интервал следования событий составляет 10 мсек.

Код события, поступивший от ЦБС, после декодирования и удаления служебной информации занимает 16 бит и содержит поле управления и поле данных (см. рис. 2.4).

| Поле управления | | Поле данных |
|-----------------|-----------|-------------|
| Признак кода | Адрес ЛМС | Данные |
| 1 бит | 7 бит | 8 бит |

Рис. 2.4. Формат кода события ЦБС

Признак кода указывает тип информационной посылки:

- значение 0 – обозначает собственно код события ЦБС;
- значение 1 – обозначает слово информации, переданное к подсистеме, например, такой информацией может быть текущее время эксперимента, устанавливаемое централизованно от ЦБС.

Поле адреса указывает адрес ЛМС. Каждый ЛМС имеет уникальный адрес (значения от 1 до 111). При передаче кода события ЦБС указывает адрес ЛМС, которому предназначена информация. Адрес «0» является широкоэмитальным и коды событий с этим адресом принимаются к обработке всеми ЛМС.

2.6.2. Модуль формирователя синхросигнала

Генератор импульсов генерирует опорную частоту (T_c), которая преобразуется формирователем кодов команд в непрерывную битовую последовательность (синхросигнал), передаваемый затем по оптоволоконной линии связи. Битовая последовательность разделена на синхропакеты фиксированной длины, включающие в себя биты временных меток, двоичные коды предпусковых и пусковых запускающих сигналов и команд, соответствующих появлению асинхронных, синхронных и вы-

числяемых сигналов и событий [26]. Синхропакеты ограничиваются заголовком и контрольной суммой. Синхросигнал формируется путем сложения по модулю 2 опорной частоты, поступающей от генератора тактовых импульсов (ГТИ), с последовательно передаваемыми битами запускающих команд и временных меток. Такой способ формирования синхросигнала соответствует распространенному в технологии вычислительных сетей методу кодирования цифровых данных «Манчестер-II». Метод кодирования поясняется диаграммой, показанной на рис. 2.5.

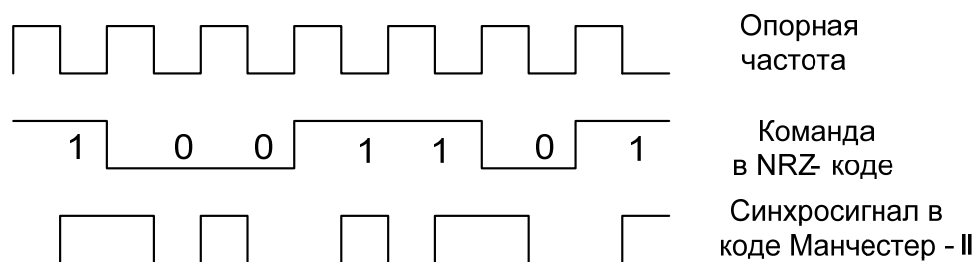


Рис. 2.5. Способ формирования синхросигнала

Часть структурной схемы модуля формирователя кодов команд, обеспечивающая кодирование синхросигнала по методу «Манчестер-II», приведена на рис. 2.6.

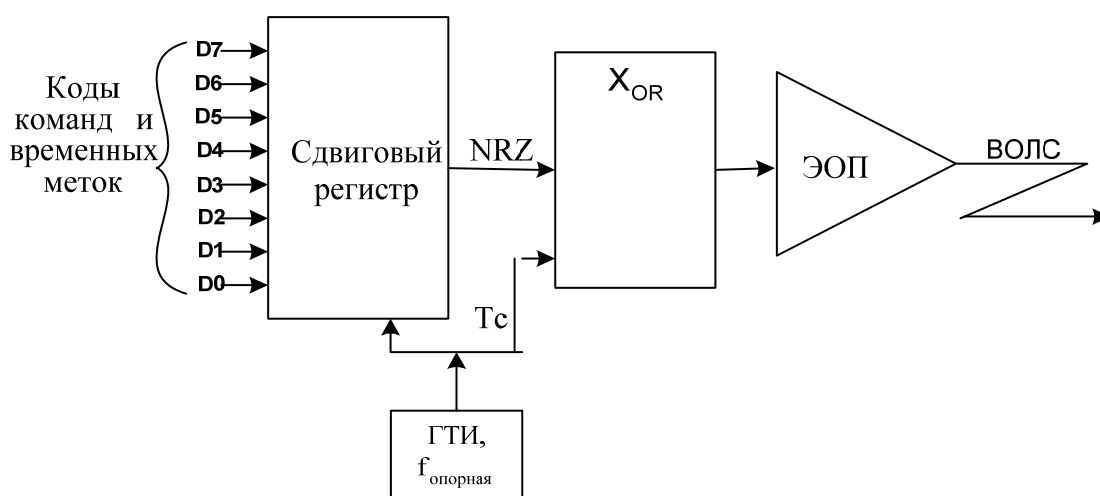


Рис. 2.6. Схема формирователя синхросигналов;

ЭОП – электро-оптический преобразователь,

ВОЛС – волоконно-оптическая линия связи,

NRZ – последовательные данные в коде «Без возврата к нулю»,

ГТИ – генератор опорной частоты, X_{OR} – схема сложения по модулю два,

МII – последовательные данные в коде «Манчестер-II»

Синхропакеты в процессе непрерывной передачи разделяются синхроследовательностью, составляющей содержимое заголовка

и обеспечивающей фазовую синхронизацию при приеме данных локальными модулями синхронизации. Это обеспечивает высокую надежность передачи синхронизирующих команд путем восстановления структуры синхросигнала вначале каждого синхропакета. Структурная схема формирователя синхросигнала приведена в перечне чертежей за номером КТМ.03.001.007.

Основными функциями модуля генерации синхронных событий, который в плане технической реализации представляет собой программу, выполняемую центральным процессором ЦБС, являются: формирование меток времени и значений временных интервалов, определяющих моменты выдачи пусковых сигналов (запускающих команд) в подсистемы согласно заданному сценарию разряда.

2.7. Локальный модуль синхронизации

Локальный модуль синхронизации осуществляет прием и декодирование синхросигналов в подсистемах. Важно отметить, что состав функций, выполняемых локальными модулями синхронизации в данном случае существенно не отличается по отношению к модулям аналогичного назначения известных систем синхронизации других токамаков и включает такие функции, как:

- выполнение операций ввода инициативных сигналов от оборудования токамака и регистрацию моментов их возникновения относительно точки отсчета времени эксперимента;
- формирование сигналов асинхронных событий и их передачу к ЦБС;
- формирование с помощью программируемых счетчиков-таймеров импульсов, задержек, тактовых сигналов (в широком диапазоне изменения их параметров), используемых для управления работой аналого-цифровых преобразователей, счетчиков, а также электронных схем диагностической аппаратуры.

Модуль ЛМС разработан для подсистем управления и сбора данных (ПУиСД), использующих шину ISA в качестве системной шины. Состав функций, выполняемых ЛМС, существенно не отличается от модулей аналогичного назначения известных систем синхронизации других токамаков и включает следующие основные функции:

- 1) обеспечение синхронной работы ПУиСД с тактовыми сигналами и командами, поступающими от центрального блока синхронизации (ЦБС). Это достигается приемом по выделенной входной волоконно-оптической линии связи (ВОЛС) от ЦБС кодированного самосинхронизирующегося информационного потока бит с выделением в этом потоке синхросигналов и декодирование запускающих команд;

- 2) регистрацию меток экспериментального времени для различных типов событий, происходящих в системе (прием запускающих команд от ЦБС, прием запускающих команд по шине ISA, изменение инициативных сигналов на входе модуля) в оперативной памяти базы событий (ОПБС). Чтение данных и управление ОПБС осуществляется по системной шине;
- 3) формирование управляющих воздействий для внешних подсистем, используя дискретные выходные сигналы, программируемые делители частоты, формователи сигналов разрешения, а также ввод инициативных сигналов от оборудования токамака. Конфигурирование параметров управляющих воздействий осуществляется до начала эксперимента по системной шине ISA;
- 4) формирование сигналов асинхронных событий и передача их в ЦБС по выделенной выходной ВОЛС логическим уровнем или кодами с применением асинхронной передачи байт.

При приеме синхропакетов в ЛМС осуществляется постоянное извлечение синхроимпульсов из перепадов напряжения, присутствующих на каждом интервале передачи информационного бита. Схема, обеспечивающая выполнение функции декодирования синхросигнала, приведена на рис. 2.7.

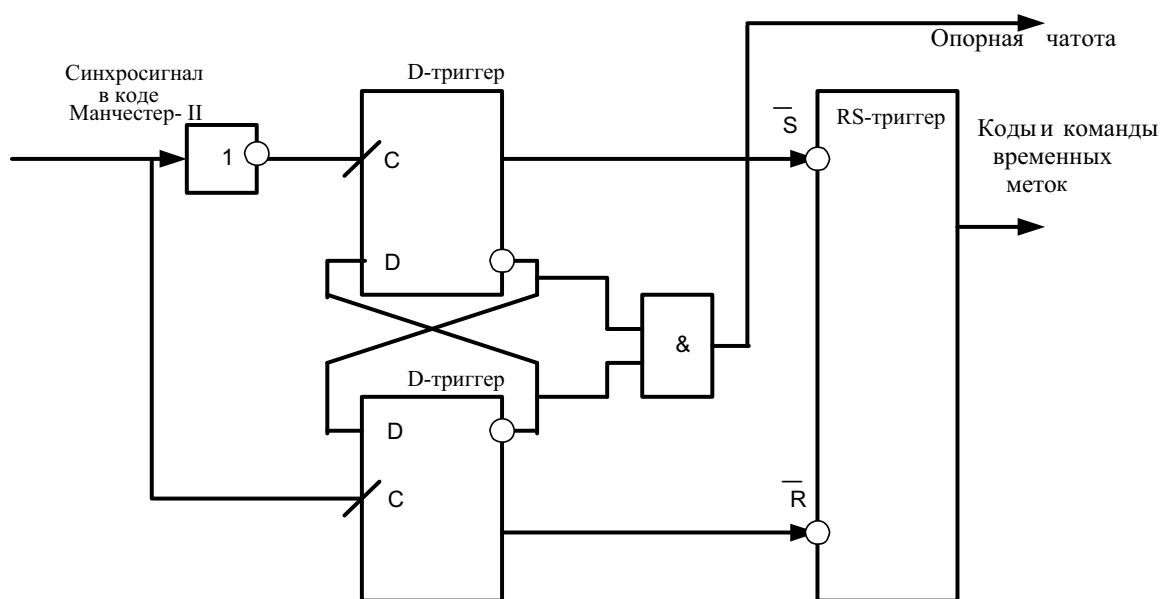


Рис. 2.7. Схема декодирования синхросигнала

В подсистемах управления и сбора данных, благодаря строгому постоянству синхропакетов и единой для всей системы стабильной частоты модуля ГТИ, из синхросигнала удается выделять:

- импульсы тактовой частоты центрального ГТИ;

- коды временных меток, привязанные к тактовым импульсам ГТИ с некоторой заранее определенной погрешностью;
- коды запускающих команд.

2.7.1. Схема информационных потоков ЛМС

Исходной информацией в ЛМС является событие или событийный сигнал. Все сигналы и коды, поступающие на вход ЛМС или генерируемые внутри ЛМС (например, события по временным меткам), являются событиями. Если событие представлено дискретным сигналом, то оно преобразуется в код.

ЛМС осуществляет обработку четырех входных потоков событийных сигналов и потока конфигурационных данных, поступающего от ЦПУ. Потоки событийных сигналов включают (см. рис. 2.8):

- 1) поток синхросигналов (X1), поступающий от центрального блока синхронизации (ЦБС) по выделенной волоконно-оптической линии связи (ВОЛС);
- 2) поток кодов событий (X2), поступающий от ЦПУ по шине ISA;
- 3) поток событийных сигналов (X3), поступающий на вход блока входных инициативных сигналов (ВИС) от подключенного к его входам оборудования;
- 4) сигналы, формируемые блоком ФСВ автоматически на основе установленных временных меток.

Поток конфигурационных данных (X5) поступает на вход ЛМС в предпусковом режиме и режиме межразрядной паузы и определяет параметры временной диаграммы полсистемы управления или сбора данных.

Все событийные сигналы поступают в блок обработки сигналов (БОС), который буферизирует события, исключая их потерю, передает на шину команд к блокам БДЧ, БФС и ДВС, а также выделяет команды предназначенные к обработке на уровне МПУ.

Выполнение команды в МПУ осуществляется путем вызова соответствующей микропрограммы. При этом команда может быть развернута в последовательность нескольких микрокоманд или просто передана на шину событий для обработки на аппаратном уровне.

Структурно-функциональная схема локального модуля синхронизации и схема алгоритма его работы приведены на чертежах КТМ.03.001.008 и КТМ.03.001.009 соответственно.

Техническую реализацию элементов системы синхронизации предлагается выполнить с использованием хорошо отработанных технологий создания программируемых логических устройств (PLD и FPGA) и стандартных электронных компонентов, применяемых в цифровых системах передачи данных.

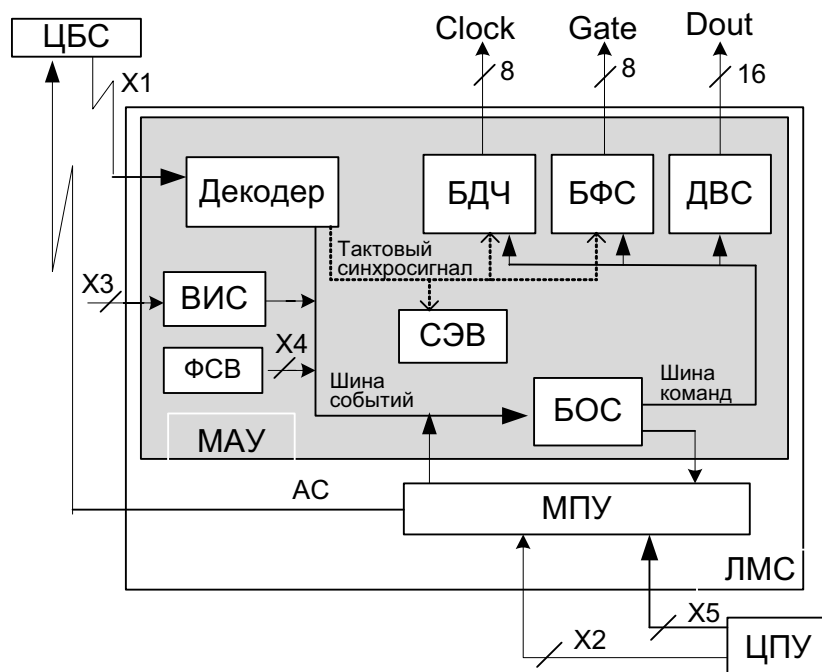


Рис. 2.8. Схема информационных потоков ЛМС:
 МПУ – модуль программного управления, МАУ – модуль аппаратного управления, АС – асинхронный сигнал, ЦБС – центральный блок синхронизации, ЦПУ – центральное процессорное устройство, БОС – блок обработки событий, СЭВ – счетчик экспериментального времени, ФСВ – блок формирователя событий по временным меткам, БДЧ – блок делителей частоты, БФС – блок формирователей сигналов, ДВС – блок дискретных выходных сигналов

2.7.2. Структурная схема ЛМС

Структурная схема ЛМС приведена на рис. 2.9 и чертеже КТМ.03.001.14.РД. В состав ЛМС входят следующие основные модули:

- 1) блок управления;
- 2) контроллер системной шины ISA (КСШ);
- 3) интерфейсные преобразователи (ИП);
- 4) декодер сигналов ЦБС;
- 5) блок выходных управляющих сигналов (БВУС);
- 6) блок входных инициативных сигналов (БВИС);
- 7) оперативная память базы событий (ОПБС).

Блок управления в ЛМС осуществляет взаимодействие со всеми частями схемы и обеспечивает их согласованную работу. Блок управления состоит из следующих взаимосвязанных элементов:

- модуль программного управления (МПУ);
- модуль аппаратного управления (МАУ);
- модуль диагностики (МД).

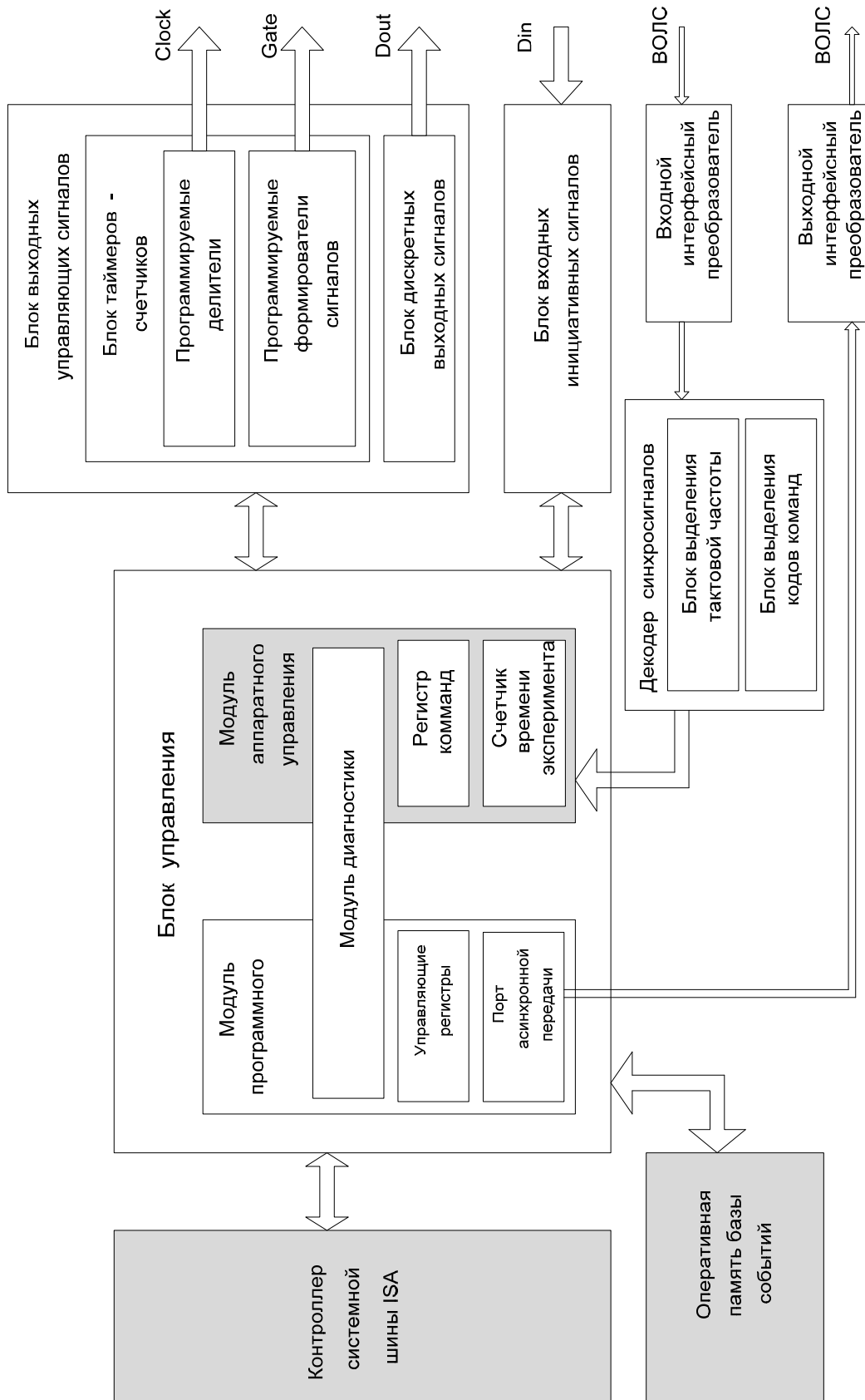


Рис. 2.9. Структурная схема ЛМС

МПУ реализуется на базе однокристального микроконтроллера и осуществляет работу с управляющими воздействиями в ЛМС, время реакции по которым не должно составлять более 10 мкс. При этом обеспечивается «псевдопараллельное» программное управление с разделением процессорного времени между различными программными функциями и обработчиками прерываний.

Примечание.

Для управляющих сигналов используются принятые английские обозначения, где

Clock – тактовый сигнал заданной частоты,

Gate – импульсный сигнал заданной длительности,

Din – входной дискретный или импульсный сигнал, инициирующий прерывание в модуле, Dout – выходной дискретный сигнал.

В частности МПУ осуществляет настройку параметров работы блоков входных и выходных сигналов до начала эксперимента и выдачу в процессе эксперимента сигналов асинхронных событий логическим уровнем или кодами через интегрированный в него порт асинхронной передачи (англ. UART – Universal Asynchronous Receiver/Transmitter).

МАУ реализуется на базе логических ресурсов программируемой логической интегральной схемы (ПЛИС) и осуществляет работу схем с «жесткой логикой» для управляющих воздействий в ЛМС, время реакции по которым составляет менее 10 мкс. ПЛИС обеспечивается реальный параллелизм управления при выполнении таких операций, как передача данных между модулями, регистрация событий с меткой времени в оперативной памяти базы событий в процессе эксперимента, управление счетчиком времени эксперимента и выдает управляющие воздействия согласно коду, полученному от ЦБС и зафиксированному в регистре команд.

Модуль диагностики выполняет функции контроля правильности функционирования блока управления и диагностику остальных модулей ЛМС. Он реализуется в виде программных функций в модуле МПУ и аппаратных схем в МАУ.

КСШ обеспечивает возможность взаимодействия ЛМС по системной шине ПУиСД для чтения и записи данных из(в) регистров блока управления.

В состав ЛМС входит два интерфейсных преобразователя (ИП):

- 1) интерфейс входной ВОЛС осуществляет преобразование оптических сигналов переданных от ЦБС в электрические сигналы для декодера сигналов ЦБС;
- 2) интерфейс выходной ВОЛС осуществляет преобразование электрических сигналов асинхронных событий в оптические сигналы для передачи в ЦБС. Сигналы событий передаются по ВОЛС либо логическим уровнем, либо кодами.

Декодер синхросигнала осуществляет прием кодированного информационного потока бит и выделения в этом потоке сигналов тактовой частоты, а также декодирование запускающих команд, генерируемых ЦБС.

БВУС включает в себя:

- программируемые делители частоты (ПДЧ), осуществляющие формирование тактовых сигналов Clock с настраиваемой частотой;
- программируемые формирователи сигналов (ПФС), осуществляющие формирование импульсных сигналов Gate с настраиваемой длительностью;
- блок таймеров-счетчиков;
- блок дискретных выходных сигналов (БДВС), который осуществляет выдачу сигналов Dout под действием управляющих команд.

БВУС осуществляет управление работой устройств ПУиСД и оборудованием токамака, подключенного к этим дискретным выходам, в процессе эксперимента в соответствии с конфигурационными параметрами и управляющими командами в ЛМС.

БВИС предназначен для регистрации инициативных сигналов Din, поступающих в процессе эксперимента от оборудования токамака и устройств ПУиСД, подключенных к этим дискретным входам.

ОПБС служит для хранения кодов событий, происходящих в синхронизируемой подсистеме управления или сбора данных в процессе проведения эксперимента. Для каждого кода события в ОПБС также сохраняется метка времени, когда данное событие произошло. Для ЛМС выделяются следующие типы событий:

- поступление запускающей команды от ЦБС;
- поступление запускающей команды по шине ISA;
- изменение уровня сигнала на входах БВИС;
- изменение уровня сигнала на выходах ПФС;
- изменение уровня сигнала на выходе БДВС.

2.7.3. Описание функциональной схемы ЛМС

Локальный модуль синхронизации (ЛМС) предназначен для применения в составе системы синхронизации токамака КТМ. Модуль разработан для подсистем управления и сбора данных (ПУиСД), использующих шину ISA в качестве системной шины. Состав функций, выполняемых ЛМС, включает следующие:

1. Обеспечение синхронной работы ПУиСД с тактовыми сигналами и командами, поступающими от центрального блока синхронизации (ЦБС). Это достигается приемом по выделенной входной волоконно-оптической линии связи (ВОЛС) от ЦБС кодированного само-

- синхронизирующегося потока бит с выделением в этом потоке синхросигналов и декодированием запускающих команд (ЗК).
2. Счет времени эксперимента и регистрация временных меток для различных типов событий, происходящих в системе (прием запускающих команд от ЦБС, обработка программно формируемой запускающей команды, изменение инициативных сигналов на входе модуля) в памяти базы событий. Управление ЛМС, а также чтение данных, осуществляется по системной шине.
 3. Формирование управляющих воздействий для внешних подсистем, используя дискретные выходные сигналы, программируемые делители частоты, формирователи сигналов разрешения, а также ввод инициативных сигналов от оборудования токамака. Конфигурирование параметров управляющих воздействий осуществляется до начала эксперимента по системной шине ISA.
 4. Формирование сигналов асинхронных событий и передача их в ЦБС по выделенной выходной ВОЛС логическим уровнем или кодами с применением асинхронной передачи двоичной информации.
 5. Структурно-функциональная схема ЛМС приведена на чертеже КТМ.03.001.007.ТП

В состав ЛМС входят следующие основные модули:

- 1) блок управления;
- 2) контроллер системной шины ISA (КСШ);
- 3) интерфейсные преобразователи (ИП);
- 4) декодер синхросигналов;
- 5) блок выходных управляющих сигналов (БВУС), в который входят:
 - программируемые делители частоты каналов Clock;
 - программируемые формирователи сигналов Gate;
 - блок дискретных выходных сигналов Dout;
- 6) блок входных инициативных сигналов (БВИС);
- 7) блок формирования событий по временным меткам (БФСВ);
- 8) оперативная память базы событий (ОПБС).

Блок управления в ЛМС осуществляет взаимодействие со всеми частями схемы и обеспечивает их согласованную работу. Блок управления состоит из двух частей:

- модуля программного управления (МПУ);
- модуля аппаратного управления (МАУ).

МПУ реализован на базе микроконтроллера и осуществляет обработку событий, допустимые времена реакции по которым более 10 мкс. В процессе обработки обеспечивается «псевдопараллельное» программное управление с разделением процессорного времени между различными программными функциями и обработчиками прерываний. МПУ также осуществляет

поддержку протокола взаимодействия ЛМС и центрального процессора синхронизируемой подсистемы и обеспечивает загрузку параметров работы блоков входных и выходных сигналов до начала эксперимента и выдачу в процессе эксперимента сигналов асинхронных событий логическим уровнем или кодами через интегрированный в него порт асинхронной передачи (англ. UART – Universal Asynchronous Receiver/Transmitter).

МАУ реализуется на базе ресурсов программируемой логической интегральной схемы (ПЛИС) и осуществляет работу схем с «жесткой логикой» обработки событий в ЛМС, время реакции по которым не должно превышать 10 мкс. МАУ разбит на части и выполняет управление в соответствии с логикой работы для каждого блока ЛМС. ПЛИС обеспечивает реальный параллелизм управления при выполнении таких операций, как передача данных между модулями внутри ЛМС, регистрация кодов событий с временной меткой в оперативной памяти базы событий, управление счетчиком времени эксперимента, выдача управляющих воздействий согласно коду ЗК, полученной от ЦБС или МПУ.

КСИ обеспечивает возможность чтения и записи данных из(в) регистры ЛМС по системной шине ISA.

В состав ЛМС входит три интерфейсных преобразователя (**ИП**):

1. Интерфейс входной ВОЛС осуществляет преобразование оптических сигналов, переданных от ЦБС в электрические сигналы и их прохождение в декодер синхросигналов.
2. Интерфейс выходной ВОЛС осуществляет преобразование электрических сигналов асинхронных событий в оптические сигналы для передачи в ЦБС. Сигналы событий передаются по ВОЛС либо логическим уровнем, либо кодами согласно протоколу старто-стопной передачи.
3. Служебный интерфейс RS-232 осуществляет преобразование электрических сигналов TTL уровня с выхода микроконтроллера в электрические сигналы с уровнями, соответствующими требованиям стандарта RS-232. Этот интерфейс используется для загрузки программ в микроконтроллер и для отладочных целей.

Декодер синхросигнала осуществляет прием кодированного потока бит и выделение в этом потоке сигналов тактовой частоты, а также декодирование запускающих команд, генерируемых ЦБС. Кодирование синхросигнала выполняется с помощью Манчестерского кода (см. чертеж «КТМ.03.001.011.ТП»).

БВУС состоит из:

1. Блока таймеров-счетчиков, который включает в себя:

- программируемые делители частоты (ПДЧ), осуществляющие формирование тактовых сигналов Clock с настраиваемой частотой;
 - программируемые формирователи сигналов (ПФС), осуществляющие формирование импульсных сигналов Gate с настраиваемой длительностью.
2. Блока дискретных выходных сигналов (БДВС), который осуществляет выдачу сигналов Dout под действием управляющих команд. БВУС осуществляет управление работой устройств синхронизируемой подсистемы, а также оборудованием комплекса КТМ, подключенным к этим дискретным выходам, в процессе эксперимента в соответствии с конфигурационными параметрами и запускающими командами, поступающими в ЛМС.

БВИС предназначен для регистрации инициативных сигналов Din, поступающих в процессе эксперимента от оборудования токамака и устройств ПУиСД, подключенных к этим входам.

ОПБС служит для хранения кодов событий (или соответствующих кодов ЗК), происходящих в синхронизируемой подсистеме управления или сбора данных в процессе проведения эксперимента. Для каждого кода события в ОПБС также сохраняется метка времени, в которое данное событие произошло. Для ЛМС выделяются следующие типы событий:

- поступление запускающей команды от ЦБС;
- поступление запускающей команды от МПУ;
- асинхронное событие по инициативному сигналу на входах БВИС;
- достижение заданной временной метки в блоке БФСВ.

Для установки временных меток и других действий по инициализации ЛМС используется кадр «Запись команды с параметрами». Допустимы следующие коды команд:

- Код «1» – установка временной метки;
- Код «2» – запись действий одного шага макрокоманды;
- Код «3» – запись сегмента кода микропрограммы;
- Код «4» – очистка оперативной памяти базы событий.

Надо сначала рассмотреть команды, связанные с запуском, в том числе и команды с параметрами. Команды сервисного назначения для ЛМС надо вынести в отдельную группу и описать в спецификации на Протокол.

При установке временной метки параметры команды имеют следующую структуру (см. рис. 2.10).

Временные метки устанавливаются путем загрузки в регистры БФСВ. И сигналы (команды), генерируемые БФСВ, обрабатываются в общем порядке, т. е. на уровне МПУ или МАУ.

| Номер метки | Время срабатывания | Тип обработки | Начальный адрес кода обработчика | Конечный адрес кода обработчика |
|-------------|--------------------|---------------|----------------------------------|---------------------------------|
| 1 байт | 4 байта | 1 байт | 2 байта | 2 байта |

Рис. 2.10. Структура поля PARAM для команды «Установка временной метки»

Поле «Номер метки» может принимать значения от 0 до 15.

Время срабатывания задается 32-х битным числом и указывается относительно начала эксперимента по счетчику времени эксперимента. При совпадении значений счетчика и времени срабатывания временная метка активизируется и начинается выполнение обработчика с указанного в параметрах начального адреса.

Тип обработки определяется кодом команды, которая поступает на вход ЛМС.

Тип обработки может принимать два значения:

«1» – выполнение действий встроенным интерпретатором макрокоманд;

«2» – выполнение микропрограммы в кодах микроконтроллера ЛМС (компилированные макрокоманды).

Механизм обработки следующий: если команда попала в МПУ, то у первичного обработчика команды уже должна быть информация как она будет обрабатываться. Тип обработки задается путем настройки ЛМС, а именно, загрузки в МПУ таблицы кодов команд, соответствующих им адресов вторичных обработчиков и кодов самих обработчиков (и микропрограмм).

2.7.4. Работа функциональных узлов ЛМС

Взаимодействие функциональных элементов ЛМС с устройствами синхронизируемой подсистемы осуществляется следующими способами.

Взаимодействие блока управления ЛМС с процессорным модулем ПУиСД осуществляется посредством контроллера шины ISA и МПУ. Для обмена данными с МПУ предусмотрена буферная память, разделенная на две 32-х байтные очереди, обслуживаемыми по методу FIFO; одна для чтения (FIFO_RD), а другая для записи (FIFO_WR). В адресном пространстве ввода–вывода шины ISA для ЛМС выделяется 2 адреса. Указание адресного пространства осуществляется с помощью «Базового адреса» (BASE_LMS). При выполнении операций чтения/записи по шине ISA контроллер шины осуществляет дешифрацию адреса и при обращении к адресам ЛМС происходит формирование управляющих сигналов для обращения к очередям FIFO или к регистру состояния.

Операция чтения данных по шине ISA (активный уровень сигнала IOR) с нулевым смещением относительно базового (BASE_LMS+0)

приводит к передаче на шину данных (D0–D7) очередного байта из очереди FIFO_RD. Выполнение записи (активный уровень сигнала IOW), по этому же адресу, приводит к записи информации с шины данных в очередь FIFO_WR.

Регистр состояния очереди FIFO доступен по адресу BASE_LMS+1. При обращении по этому адресу происходит генерация сигнала выбора для регистра (RB_CS1) и операция чтения или записи данных на системную шину (D0–D7) в зависимости от уровня сигналов IOR и IOW.

Предусмотрено аппаратное прерывание IRQ на шине ISA, выдаваемое управляющим автоматом контроллера шины для оперативной реакции на событие в ЛМС со стороны процессорного модуля ПУиСД. В частности, причиной установки запроса прерывания является наличие готовых для чтения по шине ISA данных в буфере FIFO_RD.

Операции взаимодействия по шине ISA через контроллер шины позволяют управлять работой ЛМС и получать информацию от внешних устройств до начала и в процессе проведения эксперимента. Взаимодействие ЛМС с ЦПУ происходит в соответствии с протоколом (см. пункт 3.8).

Взаимодействие ЛМС с ЦБС осуществляется по ВОЛС. Используются два выделенных симплексных канала передачи данных, один – для приема, а другой – для передачи данных. Принимаемый от ЦБС кодированный информационный поток бит после прохождения входного интерфейсного преобразователя попадает в декодер синхросигнала.

Блок выделения синхросигнала тактовой частоты (БВТЧ), входящий в состав декодера, генерирует синхронизирующие импульсы на локальную шину управления ЛМС с периодом 0.1 мкс., которая также используется для тактирования счетчика времени. Пропущенные синхроимпульсы в начале информационного блока восстанавливаются, а при отсутствии кодированного потока бит в течение трех битовых интервалов фиксируется ошибка синхронизации и генерация синхроимпульсов осуществляется по импульсам от генератора опорной частоты.

Блок выделения кодов команд получает на вход синхросигнал параллельно с БВТЧ и осуществляет обнаружение начала передачи информационного блока, декодирование, буферизацию данных этого блока и его проверку. После декодирования принятые от ЦБС запускающие команды записываются в блок управления регистром запускающей команды.

Передаваемые по ВОЛС данные для ЦБС являются сигналами асинхронных событий и выдаются от блока управления через выходной интерфейсный преобразователь. Источником асинхронного события может быть МАУ и МПУ (устанавливается конфигурацией ЛМС). Передача сигнала осуществляется с выхода МПУ.

Сигнал события в зависимости от конфигурации может быть представлен логическим уровнем или кодом, передаваемым в асинхронном режиме (старт-стопная передача) с помощью UART МПУ. При использовании UART возможна последовательная передача нескольких асинхронных событий с различными кодами.

Выдача сигналов к внешним по отношению к ЛМС системам осуществляется соответствующими блоками БВУС, который содержит 8 программируемых делителей частоты для выходов Clock, 8 программируемых формирователей сигналов Gate, 8 каналов дискретного вывода Dout. До начала эксперимента с помощью МПУ осуществляется конфигурирование работы управляющих блоков БВУС путем записи заданных значений в управляющие регистры. Значения в управляющие регистры загружаются в соответствии с протоколом (см. пункт 3.8.) от процессорного модуля ПУиСД через буферную память FIFO и МПУ. МПУ осуществляет запись в блок регистров по локальной шине через контроллер локальной шины и соответствующий блок управления.

Для унификации доступа к ресурсам ЛМС все конфигурационные, управляющие и информационные регистры ЛМС объединены в единый регистровый файл. Для блоков регистров, входящих в состав МАУ, выделен диапазон адресов от 0 до 2047 регистрового файла, для регистров МПУ выделен диапазон адресов от 2048 до 4095.

Для работы *блока программируемых делителей частоты* используются следующие регистры:

- Блок счетных регистров (8 регистров по 24 бит), которые хранят текущее значение числа импульсов для формируемого полупериода сигнала. Переполнение этого счетчика вызывает изменение состояния выходного сигнала на противоположное и автоматическую перезагрузку.
- Блок регистров задания периода (8 регистров по 24 бит) хранят заданные значения длительности полупериода сигналов Clock. Значения из этих регистров в процессе работы автоматически перезагружаются в счетные регистры для отсчета очередного временного интервала.
- Регистр разрешения группового управления (8 бит) разрешает работу канала в группе. Каналы, для которых в этом регистре установлено значение бита равное «1» (по номерам бит считая с младшего соответствующим каналам от 1 до 8), будут реагировать на команды группового управления. Каналы, для которых соответствующие биты регистра установлены в «0», управляются индивидуальными командами.

Наличие группового управления позволяет выдавать однотипные команды одновременно нескольким делителям частоты для синхронной работы этих каналов, что невозможно обеспечить при последовательной выдаче запускающих команд.

- Блок конфигурационных регистров группового управления (3*8 бит) включает:
 1. Регистр кода команды «разрешение работы».
 2. Регистр кода команды «запрет работы».
 3. Регистр кода команды «рестарт».

Эти регистры влияют на работу всех каналов, для которых разрешено групповое управление. При совпадении в процессе эксперимента кода запускающей команды со значением в конфигурационном регистре происходит выдача соответствующей команды.

- Блок конфигурационных регистров (8*8 бит) индивидуального управления каждого канала для кода команды «разрешение работы».
- Блок конфигурационных регистров (8*8 бит) индивидуального управления каждого канала для кода команды «запрет работы».
- Блок конфигурационных регистров (8*8 бит) индивидуального управления каждого канала для кода команды «рестарт».
- Регистр управления/состояния выходов (8 бит). Запись в регистр позволяет установить значение «0» или значение «1» на соответствующем выходе канала БПДЧ. Чтение этого регистра дает текущее состояние выходных каналов.

Команды «разрешение работы» и «запрет работы» устанавливаются в лог. «1» или сбрасываются в лог. «0» выход триггера, разрешающего прохождения тактового сигнала с периодом 0.1 мкс на вход счетных регистров для соответствующего канала.

Команда «рестарт» осуществляет запись значения из регистра задания периода в счетный регистр для соответствующего канала. При этом уровень выходного сигнала устанавливается в лог. «1».

Для работы **блока программируемых формирователей сигналов Gate** используются следующие регистры:

- Блок счетных регистров (8 регистров по 32 бит) хранит текущее значение числа импульсов при формировании активного уровня сигнала Gate (лог. «1») для каждого из каналов. Переполнение этого счетчика вызывает изменение состояния выходного сигнала на противоположное, т. е. снятие активного уровня и выдачу сигнала лог. «0».
- Блок регистров задания длительности включает 8 регистров разрядностью 32 бит каждый, которые хранят заданные значения длительности сигналов Gate и используются для сброса счетных регистров в процессе работы.
- Регистр разрешения группового управления (8 бит). Каналы, для которых соответствующие биты (от 1 до 8, считая от младшего бита к старшему) установлены в «0», управляются индивидуальными

командами. Для каналов с установленными значениями бита «1» используются команды группового управления.

- Блок конфигурационных регистров группового управления (3*8 бит) включает:
 1. Регистр кода команды «разрешение счета».
 2. Регистр кода команды «запрет счета».
 3. Регистр кода команды «рестарт».

Групповое управление реализовано аналогично БДЧ.

- Блок конфигурационных регистров (8*8 бит) индивидуального управления каждого канала для кода команды «разрешение счета».
- Блок конфигурационных регистров (8*8 бит) индивидуального управления каждого канала для кода команды «запрет счета».
- Блок конфигурационных регистров (8*8 бит) индивидуального управления каждого канала для кода команды «рестарт».
- Регистр управления/состояния выходов (8 бит). Позволяет напрямую установить или считать текущее значение уровня сигнала для каждого канала.

Команда «разрешение счета» разрешает прохождение тактового сигнала с периодом 0.1 мкс. на вход счетных регистров для соответствующего канала, команда «запрет счета» сбрасывает в «0» разрешающий сигнал тактирования и значение в счетном регистре больше не изменяется до выдачи команды разрешения.

Команда «рестарт» осуществляет запись значения из регистра задания длительности в счетный регистр для соответствующего канала. При этом уровень выходного сигнала устанавливается в лог. «1».

Блок дискретных выходных сигналов осуществляет выдачу сигналов Dout, используя в работе следующие регистры:

- Регистр управления/состояния выходов (8 бит). Позволяет напрямую установить или считать текущее значение уровня сигнала для каждого канала.
- Регистр разрешения группового управления (8 бит). Регистр разрешает использование для каждого канала индивидуально запускающих команд по регистрам конфигурации группы. Для каналов у которых значение соответствующего бита равно «1» используются команды группового управления. Остальные каналы управляются индивидуальными командами.
- Блок конфигурационных регистров группового управления (2*8 бит) включает:
 1. Регистр кода команды «установить активный уровень сигнала на выходе».
 2. Регистр кода команды «снять активный уровень сигнала на выходе».

Групповое управление реализовано аналогично БДЧ.

- Блок конфигурационных регистров (8*8 бит) индивидуального управления каждого канала для кода команды «установить активный уровень сигнала на выходе».
- Блок конфигурационных регистров (8*8 бит) индивидуального управления каждого канала для кода команды «снять активный уровень сигнала на выходе».

В соответствии со значением регистра управления формирователь выходных сигналов устанавливает заданный логический уровень сигнала на каждом дискретном выходе. Изменение управляющего регистра производится путем записи от МПУ значения по локальной шине или блоком управления ДВС в соответствии с кодами запускающих команд.

При совпадении кода пришедшей запускающей команды с кодом в конфигурационном регистре «установить активный уровень сигнала на выходе» на линии Dout устанавливается уровень лог. «1». Если поступает команда снять активный уровень сигнала на выходе, то устанавливается уровень лог. «0».

Блок входных инициативных сигналов (БВИС) включает следующий набор регистров:

- Регистр состояния входов (16 бит) служит для хранения значений логических сигналов на входах каждого из 16-ти каналов.
- Блок конфигурационных регистров (16*8 бит) кодов событий, заключающихся в установке лог. «1» на соответствующем входе Din, содержит код события, которое формируется при обнаружении перехода сигнала из состояния лог. «0» в состояние лог. «1».
- Блок конфигурационных регистров (16*8 бит) кодов событий, заключающихся в установке лог. «0» на соответствующем входе Din, содержит код события, которое формируется при обнаружении перехода сигнала из состояния лог. «1» в состояние лог. «0».
- Регистр разрешения выдачи кодов событий (16 бит). Разрешает выдачу кода события в МПУ и ЦБС при его возникновении индивидуально для каждого из каналов.
- Регистр кода последнего события в БВИС (8 бит).

Детектор входных сигналов определяет логический уровень сигнала на входе и через блок управления БВИС изменяет значение регистра состояния. При разрешении выдачи кодов событий оно передается в МПУ и ЦБС. Для МПУ передача происходит по локальной шине кодом из конфигурационного регистра. В зависимости от конфигурации ЛМС передача по ВОЛС в ЦБС осуществляется МПУ либо уровнем логического сигнала, либо кодом события через порт UART.

МПУ имеет мультиплексированную шину, т. е. передача адреса и данных осуществляется по одним и тем же линиям, но эти процессы разделены во времени. Для доступа МПУ к управляющим и статусным регистрам ЛМС в едином адресном пространстве регистрового файла посредством механизма обращения к внешней памяти данных используется контроллер локальной шины. Циклы обмена данными по шине между МПУ и контроллером осуществляются следующим образом. Сначала на шину (сигналы MCU_AD0-AD11) помещается адрес того регистра МАУ, к которому происходит обращение в данном цикле. По сигналу MCU_ALE, выдаваемому МПУ, адрес сохраняется в блоке дешифратора адреса МАУ и дешифрируется. При совпадении защелкнутого адреса и адреса одного из регистров формируется сигнал выборки регистра. Далее, если производится цикл записи, МПУ помещает на линии MCU_AD0-AD7 данные и формирует сигнал MCU_WR, по которому эти данные сохраняются в выбранном регистре. Если же производится цикл чтения, то сначала на шине формируется сигнал MCU_RD, по которому запрашиваемые данные из адресуемого регистра МАУ выдаются на шину MCU_AD0-AD7.

Контроллер оперативной памяти базы событий, входящий в состав МАУ, осуществляет формирование сигналов на шине и управляющих линиях при доступе к базе. Все операции обращения к памяти производятся через блок управления либо независимо МПУ или по запросам шины ISA. Запись одного события в базу содержит 6 байт: 4 байта метка времени эксперимента, 1 байт – код события, 1 байт – тип события.

Возможны следующие типы событий:

- прием запускающей команды от ЦБС;
- прием запускающей команды от МПУ или ЦПУ подсистемы;
- изменение уровня сигнала на входе Din;
- генерирование кода события блоком БФСВ.

Для предотвращения изменения 4-х байтного счетчика времени при регистрации метки времени в памяти в контроллере предусмотрены буферные регистры, сохраняющие все 6 байт. События с одной меткой времени фиксируются в порядке поступления.

При выполнении циклов чтения/записи используются две независимые шины адреса (18 разрядов) и данных (48 разрядов) и управляющие сигналы выбор памяти (MEM_CS), разрешение записи (MEM_WE) и разрешение чтения (MEM_OE). В цикле записи осуществляется выдача адреса и данных на соответствующие шины и формирование сигналов выбора памяти, а затем сигнала разрешения записи. В цикле чтения после выдачи адреса и сигнала выбора по сигналу разрешения чтения с шины данных памяти считываются данные.

- **Блок управления регистром запускающей команды** осуществляет регистрацию кода команды, поступающей на локальную шину от МПУ, от декодера синхросигналов или от блока формирования событий по временным меткам. Команда передается в контроллер ОПБС для сохранения в базе событий. Если выдача команды инициирована не МПУ, то она передается ему для программной обработки. Кроме этого? команда передается в блоки управления ПДЧ, ПФС, БДВС, БВИС для управления их работой согласно конфигурации.

Блок управления счетчиком времени эксперимента обеспечивает возможность установки в начальное состояние (значение «0»), загрузку, чтение и модификацию при поступлении тактовых импульсов регистра счетчика эксперимента. Время фиксируется с точностью ± 0.1 мкс. Для тактирования используются тактовые импульсы, поступающие с декодера синхросигнала. В состав блока входят следующие регистры:

- счетный регистр (32 бита);
- буферный регистр (32 бита) сохраняет копию счетного регистра при чтении его МПУ; регистр кода команды «рестарт» (8 бит) определяет код команды, по которому в счетный регистр заносится значение «0»;
- регистр кода команды «разрешение работы» (8 бит) определяет код команды, по которому разрешается прохождение тактирующих импульсов на счетный регистр для отсчета времени эксперимента;
- регистр кода команды «запрет работы» (8 бит) определяет код команды, по которому блокируется прохождение тактирующих импульсов на счетный регистр.

При чтении по 8 разрядной шине данных МПУ невозможно считать значение счетного регистра за одно обращение и поэтому для предотвращения изменения счетчика времени при операции чтения данных копия счетного регистра сохраняется в буферном регистре. Контроллер оперативной памяти базы событий имеет собственный буферный регистр для обеспечения независимого от МПУ доступа к счетчику времени.

Блок формирования событий по временным меткам обеспечивает возможность выполнения макрокоманд по достижению заданной временной метки от начала эксперимента. Макрокоманда состоит из последовательности запускающих команд (до 16-ти шт.) или команд изменения значений управляющих регистров (16 байт в регистровом файле). Всего может быть установлено 16 временных меток.

В состав блока БФСВ входят следующие регистры:

- регистр управления (8 бит) разрешает работу блока и позволяет сбросить все временные метки;

- регистр разрешения работы (16 бит) позволяет разрешить или запретить прерывание при срабатывании временной метки;
- регистр состояния (16 бит) содержит флаги достижения времени для каждой из меток;
- регистры для хранения временных меток (16*32 бит). Каждая временная метка занимает один из 16-ти регистров. Временная метка задается 32-х разрядным числом, определяющим время срабатывания относительно текущего значения счетчика времени эксперимента.

Для подготовки ЛМС к работе необходима инициализация управляющих регистров, адресуемых через регистровый файл. Для этого используется кадр «Запись группы байт регистрового файла», в котором указывается начальный адрес в регистровом файле, количество записываемых байт и их значения.

Кадр «Чтение группы байт регистрового файла» может использоваться для контроля записанных значений до начала проведения эксперимента и после его окончания.

2.7.5. Описание протокола обмена данными по шине ISA между ЛМС и ЦПУ

Передача данных между ЛМС и ЦПУ осуществляется по протоколу с выделением кадров в потоке данных. При обмене данными осуществляется буферизация кадров. Для чтения и записи кадров выделены отдельные буферы ISA2MCU_FIFO и MCU2ISA_FIFO [1], что позволяет осуществлять дуплексную передачу данных. Буферы построены по принципу FIFO и имеют размер 32 байта. В каждый буфер можно записать несколько кадров. Для предотвращения записи в переполненный буфер или чтения пустого буфера, перед обращением к любому из указанных выше буферов, необходимо прочитать регистр статуса FIFOSTATE_REG. Этот регистр содержит флаги переполнения и опустошения, а также количество байт, содержащихся в буферах.

Формат кадров протокола обмена

Кадр содержит служебные поля для обеспечения работы протокола передачи и информационное поле.

Общая структура кадра приведена на рис. 2.11.

| START | TYPE | COP | DATA | CS |
|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1 байт | 1 байт | 1 байт | N байт | 1 байт |

Рис. 2.11. Структура кадра протокола ЦПУ

В кадре можно выделить следующие поля:

START – начало кадра.

TYPE – тип операции.

COP – код операции.

DATA – данных кадра (N от 1 до 16).

CS – контрольная сумма кадра. Контрольная сумма вычисляется по методу CRC8 для всех байт полей TYPE и DATA. Начальное значение CRC8=0xFF (255), образующее полином $X^8 + X^5 + X^4 + 1$ (CCITT-8 полином).

В зависимости от типа операции изменяется формат поля DATA. Для некоторых типов необходимы дополнительные поля, которые и занимают первые байты поля DATA. В некоторых операциях поле DATA может отсутствовать.

2.7.6. Типы операций

Допустимые типы операций с указанием их кодов и назначения приведены в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Типы операций

| Код типа кадра (TYPE) | Направление передачи | Наименование |
|-----------------------|----------------------|--------------------------------------|
| 01h | ЦПУ → ЛМС | «Сброс» |
| 02h | ЦПУ → ЛМС | «Запись в регистровый файл» |
| 03h | ЦПУ → ЛМС | «Чтение регистрового файла» |
| | ЛМС → ЦПУ | «Данные из регистрового файла» |
| 04h | ЦПУ → ЛМС | «Чтение ОПБС» |
| | ЛМС → ЦПУ | «Данные из ОПБС» |
| 05h | ЦПУ → ЛМС | «Запись кода события» |
| | ЛМС → ЦПУ | «Статус обработки события» |
| 06h | ЦПУ → ЛМС | «Загрузка вектора обработки события» |
| 07h | ЦПУ → ЛМС | «Чтение вектора обработки события» |
| | ЛМС → ЦПУ | «Информация о векторе» |
| 08h | ЦПУ → ЛМС | «Запись в память микропрограмм» |
| 09h | ЦПУ → ЛМС | «Чтение из памяти микропрограмм» |
| | ЛМС → ЦПУ | «Данные из памяти микропрограмм» |

Описание операций

Операция «Сброс»

Команды этого типа производят установку в первоначальное состояние (сброс) различных блоков ЛМС. Структура кадра этой операции приведена на рис. 2.12.

| START | TYPE | COP | CS |
|-------|------|-----------------|----------------------|
| 55h | 01h | Код Операции | Контрольная сумма |

Рис. 2.12. Структура кадра операций типа «Сброс»

В табл. 2.3 приведено описание кодов операций «СБРОС».

Таблица 2.3

Описание кодов операций «СБРОС»

| № | COP | Описание |
|---|-----|---|
| 1 | 01h | Сброс регистрового файла. Выполнение команды с этим кодом переводит регистровый файл в начальное состояние в соответствии с [1] |
| 2 | 02h | Очистка ОПБС. По команде с данным кодом производится заполнение всех ячеек ОПБС значением FFh |
| 3 | 03h | Очистка памяти микропрограмм. По команде с этим кодом производится заполнение всех ячеек памяти макропрограмм значением 00h |
| 4 | 02h | Очистка ОПБС. По команде с данным кодом производится заполнение всех ячеек ОПБС значением FFh |

Выполнение данной операции будет блокировано в следующих случаях:

- Полученный COP не предусмотрен для данного типа операций.
- Не совпадение контрольной суммы, указанной в поле CS с расчетным значением.

Операция «Запись в регистровый файл»

Операции данного типа предназначены для обеспечения загрузки конфигурационных данных в регистровый файл, описание которого приведено в [1]. Объем регистрового файла составляет 4096 байт (адреса с 0 по 0x0FFF). Запись N байт данных производится, начиная со стартовой ячейки регистрового файла, адрес которой указан в полях ADL и ADH. При записи адрес увеличивается. Структура кадра этой операции приведена на рис. 2.13.

| STAR T | TYPE | COP | DATA | | | | CS |
|-----------|------|-----|--------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|
| 55h | 02h | 00h | ADL | ADH | LND | DTA | Кон- троль- ная сумма |
| | | | Младшая часть адреса 1 байт | Старшая часть адреса 1 байт | Длина поля данных 1 байт | Значения для записи N байта. | |

Рис. 2.13. Структура кадра «Запись регистрового файла»

Как видно из приведенного рисунка поле DATA разбивается на дополнительные поля LND, ADL, ADH, и DTA.

- Поля ADL и ADH содержат соответственно младшую и старшую часть адреса стартовой ячейки в регистровом файле.
- Поле LND указывает количество байт в поле DTA.
- В поле DTA содержатся байты данных, предназначенных для записи в регистровый файл.

Выполнение данной операции будет заблокировано в следующих случаях:

- Адрес, указанный в полях ADL и ADH, превышает значение 0FFFh. $ADH|ADL > 0FFFh$.
- Поле LND содержит недопустимое количество записываемых данных. $((ADH|ADL)+LND)-1 > 0FFFh$, или $LND = 0$.
- Полученный COP не предусмотрен для данного типа операций.
- Несовпадение контрольной суммы, указанной в поле CS, с расчетным значением.

Операция «Чтение регистрового файла»

Операции данного типа предназначены для обеспечения запроса данных, записанных в регистровом файле. Подробное описание регистрового файла приведено в [1]. Объем регистрового файла составляет 4096 байт (адреса с 0 по 0x0FFF). Запрос на чтение некоторого количества байт данных, указанного в поле LND, производится, начиная со стартовой ячейки регистрового файла, адрес которой указан в полях ADL и ADH. При чтении адрес увеличивается. Структура кадра этой операции приведена на рис. 2.14.

| START | TYPE | COP | DATA | | | CS |
|-------|------|-----|--------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|-------------------|
| 55h | 03h | 00h | ADL | ADH | LND | Контрольная сумма |
| | | | Младшая часть Адреса 1 байт | Старшая часть адреса 1 байт | Кол-во считываемых байт. 1 байт | |

Рис. 2.14. Структура кадра «Чтение регистрового файла»

Выполнение данной операции будет заблокировано в следующих случаях:

- Адрес, указанный в полях ADL и ADH, превышает значение 0FFFh. $ADH|ADL > 0FFFh$.
- Поле LND задает недопустимое количество считываемых данных. $((ADH|ADL)+LND)-1 > 0FFFh$, или $LND = 0$.
- Полученный COP не предусмотрен для данного типа операций.

- Несовпадение контрольной суммы, указанной в поле CS, с расчетным значением.

В ответ на запрос о чтении ЛМС формирует кадр, в котором передает ЦПУ значения ячеек регистрового файла, начиная со стартовой ячейки. Адрес этой ячейки указан в полях ADH и ADL. Количество передаваемых байтов данных указано в поле LND. Непосредственно сами данные находятся в поле DTA. Структура кадра ответа на запрос о чтении регистрового файла приведена на рис. 2.15.

| START | TYPE | COP | DATA | | | | CS |
|-------|------|-----|--------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|-------------------|
| 55h | 03h | 00h | ADL | ADH | LND | DTA | Контрольная сумма |
| | | | Младшая часть адреса 1 байт | Старшая часть адреса 1 байт | Длина поля данных 1 байт | Значения ячеек рег. файла № байт | |

Рис. 2.15. Структура ответа на запрос «Чтение регистрового файла»

Операция «Чтение ОПБС»

Операция данного типа предназначены для обеспечения чтения данных, записанных в оперативной базе событий – ОПБС. Описание структуры ОПБС приведено в [2]. Объем ОПБС составляет 262144 48-ми разрядных слов (адреса с 0 по 0x3FFF). Запрос на чтение значений некоторого количества ячеек данных (не более 3), указанного в поле LND, производится, начиная со стартовой ячейки регистрового файла, адрес которой указан в полях ADL,ADM и ADH. При чтении адрес увеличивается. Структура кадра этой операции приведена на рис. 2.16.

| START | TYPE | COP | DATA | | | | CS |
|-------|------|-----|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|-------------------|
| 55h | 04h | 00h | ADL | ADM | ADH | LND | Контрольная сумма |
| | | | Младшая часть Адреса 1 байт | Средняя часть адреса 1 байт | Старшая часть адреса 1 байт | Кол-во считываемых байт. 1 байт | |

Рис. 2.16. Структура кадра «Чтение ОПБС»

Выполнение данной операции будет заблокировано в следующих случаях:

- Адрес, указанный в полях ADL, ADM и ADH, превышает значение 3FFFFh. $ADH|ADM|ADL > 3FFFFh$.
- Поле LND задает недопустимое количество считываемых данных:
- $((ADH|ADM|ADL)+LND)-1 > 3FFFFh$,
- $LND = 0$, или $LND > 3$.
- Полученный COP не предусмотрен для данного типа операций.

- Несовпадение контрольной суммы, указанной в поле CS с расчетным значением.

В ответ на запрос о чтении ЛМС формирует кадр, в котором передает ЦПУ значения ячеек ОПБС, начиная со стартовой ячейки. Адрес этой ячейки указан в полях ADL,ADM и ADH. Количество передаваемых байт данных указано в поле LND. Непосредственно сами данные находятся в поле DTA. Структура кадра ответа на запрос о чтении регистравого файла приведена на рис. 2.17.

| START | TYPE | COP | DATA | | | | CS |
|-------|------|-----|--------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|-------------------|
| 55h | 04h | 00h | ADL | ADH | LND | DTA | Контрольная сумма |
| | | | Младшая часть Адреса 1 байт | Старшая часть адреса 1 байт | Длина поля данных 1 байт | Значения ячеек рег. файла N байт. | |

Рис. 2.17. Структура кадра «Данные ОПБС»

Операция «Запись кода события»

Операция данного типа предназначена для передачи в ЛМС кодов событий. Значение кода указывается в поле COP.

Значения кодов событий, поступающих от ЦПУ, могут принимать значения согласно правилам группирования, описанным в пункте 1.2. Структура кадра этой операции приведена на рис. 2.18.

| START | TYPE | COP | CS |
|-------|------|-------------|-------------------|
| 55h | 05h | Код события | Контрольная сумма |

Рис. 2.18. Структура кадра «Запись кода события»

В ответ на данный запрос ЛМС формирует ответный кадр, указывающий на статус выполнения операции.

Выполнение данной операции блокируется если:

- Полученное значение контрольной суммы, указанное в поле CS, не совпадает с расчетным значением.
- Буфер кадров в ЛМС переполнен.

В этих случаях поле ERROR будет равно 1. Если выполнение команды прошло удачно поле ERROR равно 0. Структура ответа на запрос «Запись кода события» приведена на рис. 2.19.

Операция «Загрузка вектора обработки события»

Операции данного типа используются для загрузки в таблицу векторов обработки событий (ТВОС) адресов, точек входа (векторов) в проце-

дуры обработки событий, располагающихся в памяти микропрограмм. Размерность таблицы ТВОС составляет 256 ячеек. Каждая ячейка ТВОС имеет размер 2 байта (адрес процедуры). Номер ячейки соответствует коду события. Структура ТВОС и описание микропрограмм приведены в [3]. Структура кадра этой операции приведена на рис. 2.20.

| START | TYPE | COP | DATA | CS |
|-------|------|-------------|--------------------------|-------------------|
| 55h | 05h | Код события | ERROR | Контрольная сумма |
| | | | Статус события 1 байт | |

Рис. 2.19. Структура кадра «Статус обработки события»

| START | TYPE | COP | DATA | | CS |
|-------|------|-------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------|
| 55h | 06h | Код события | ADL | ADH | Контрольная сумма |
| | | | Младшая часть адреса 1 байт | Старшая часть адреса 1 байт | |

Рис. 2.20. Структура кадра «Загрузка вектора обработки события»

Поле COP содержит код события, который фактически является номером ячейки ТВОС. Адрес соответствующего обработчика события заносится в поля ADL и ADH.

Выполнение данной операции будет заблокировано в следующих случаях:

- Адрес, указанный в полях ADL и ADH, превышает значение 3FFFh. $ADH|ADM|ADL > 3FFFh$.
- Несовпадение контрольной суммы, указанной в поле CS, с расчетным значением.

Операция «Чтение вектора обработки события»

Операция этого типа позволяет прочитать содержимое таблицы векторов обработки событий – ТВОС. Структура кадра этой операции приведена на рис. 2.21.

| START | TYPE | COP | CS |
|-------|------|-------------|-------------------|
| 55h | 07h | Код События | Контрольная сумма |

Рис. 2.21. Структура кадра «Чтение вектора обработки события»

Для получения содержимого ячейки ТВОС необходимо в поле COP указать номер, который фактически является кодом события.

Выполнение данной операции будет заблокировано в случае если значение контрольной суммы, указанной в поле CS, не совпадет с расчетным значением.

В ответ на запрос о чтении содержимого ТВОС локальный модуль синхронизации формирует кадр, передающий ЦПУ значение запрошенной ячейки. Структура кадра приведена на рис. 2.22.

| START | TYPE | COP | DATA | | CS |
|-------|------|----------------|--------------------------------------|--------------------------------------|----------------------|
| 55h | 07h | Код События | ADL | ADH | Контрольная сумма |
| | | | Младшая часть адреса 1 байт | Старшая часть адреса 1 байт | |

Рис. 2.22. Структура ответа на запрос «Чтение вектора обработки события»

В поле COP возвращается код события, а в полях ADL и ADH – адрес памяти микропрограмм, по которому располагается процедура обработки соответствующей микрокоманды.

Операция «Запись в память микропрограмм»

Данная операция предназначена для загрузки микропрограммы (не более 16 байт за один раз) в память микропрограмм, начиная со стартового адреса. Микропрограмма представляет собой набор микрокоманд, обеспечивающих обработку конкретного события. Подробно структура микропрограммы и набор микрокоманд модуля ЛМС описаны в [3]. Объем памяти микропрограмм составляет 16 кб (адреса с 0 по 0x3FFF). Структура кадра этой операции представлена на рис. 2.23.

| START | TYPE | COP | DATA | | | | CS |
|-------|------|-----|--------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|---|----------------------------------|
| 55h | 08h | 00h | ADL | ADH | LND | DTA | Кон трол ьная сум ма |
| | | | Младшая часть адреса 1 байт | Старшая часть адреса 1 байт | Длина поля данных 1 байт | Значе- ния для записи N байта. | |

Рис. 2.23. Структура кадра «Запись в память микропрограмм»

В полях ADL и ADH указан адрес начальной ячейки памяти микропрограмм, с которой будет выполнена запись. В процессе записи адрес увеличивается. Поле LND задает количество байт данных, содержащихся в поле DTA.

Выполнение данной операции будет заблокировано в следующих случаях:

- Адрес, указанный в полях ADL и ADH превышает значение 3FFFh. $ADH|ADL > 3FFFh$.
- Поле LND содержит недопустимое количество записываемых данных. $((ADH|ADL)+LND)-1 > 3FFFh$, $LND = 0$, $LND > 16$.
- Полученный COP не предусмотрен для данного типа операций.
- Несовпадение контрольной суммы, указанной в поле CS с расчетным значением.

Операция «Чтение памяти микропрограмм»

Операция этого типа позволяет получить содержимое памяти микропрограмм (не более 16 байт за раз), начиная со стартовой ячейки. Структура кадра этой операции представлена на рис. 2.24.

| START | TYPE | COP | DATA | | | CS |
|-------|------|-----|--------------------------------------|--------------------------------------|--|------------------------|
| 55h | 09h | 00h | ADL | ADH | LND | Контроль- ная сумма |
| | | | Младшая часть Адреса 1 байт | Старшая часть адреса 1 байт | Кол-во считывае- мых байт. 1 байт | |

Рис. 2.24. Структура кадра «Чтение памяти микропрограмм»

Как видно из приведенного рисунка поле DATA разбито на несколько отдельных полей:

- Поля ADL и ADH задают адрес начальной ячейки, начиная с которой будет производиться чтение. Адрес в процессе чтения увеличивается.
- Поле LND задает количество считываемых байтов (от 1 до 16).
Выполнение данной операции будет заблокировано в следующих случаях:
- Адрес, указанный в полях ADL и ADH превышает значение 3FFFh. $ADH|ADL > 3FFFh$.
- Поле LND задает недопустимое количество считываемых данных. $((ADH|ADL)+LND)-1 > 3FFFh$, $LND = 0$, $LND > 16$.
- Полученный COP не предусмотрен для данного типа операций.
- Несовпадение контрольной суммы, указанной в поле CS, с расчетным значением.

В ответ на полученный запрос о чтении памяти микропрограмм ЛМС формирует кадр, структура которого представлена на рис. 2.25.

Поля ADL и ADH содержат адрес начальной ячейки. Поле LND показывает количество возвращаемых данных (от 1 до 16 байт). Поле DATA содержит собственно сами данные.

| START | TYPE | COP | DATA | | | | CS |
|-------|------|-----|--------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|--|----------------------|
| 55h | 09h | 00h | ADL | ADH | LND | DTA | Контрольная сумма |
| | | | Младшая часть адреса 1 байт | Старшая часть адреса 1 байт | Длина поля данных 1 байт | Значения ячеек макропрограммы файла N байт. | |

Рис. 2.25. Структура кадра «Данные из памяти микропрограмм»

1. РЕГИСТРЫ БЛОКА «CLOCK».

1.1. Регистры хранения значений выходной частоты каналов «CLOCK»

Наименование: **CL_RLDREG0**

Назначение: Хранение значений выходной частоты канала «CLOCK0»

Разрядность: 24 бит.

МЗР: CL_RLDREG0.0

Адрес (чтение): CL_BA+0 - CL_RLDREG0.0-7, CL_BA+1 - CL_RLDREG0.8-15,
CL_BA+2 - CL_RLDREG0.16 - 23

Адрес (запись): CL_BA+0 - CL_RLDREG0.0-7, CL_BA+1 - CL_RLDREG0.8-15,
CL_BA+2 - CL_RLDREG0.16 - 23

Режим доступа: Доступен для чтения и записи.

Начальн. сост.: 000000h

Значение частоты на выходе CLOCK можно вычислить по формуле

$$F_{clk} = \frac{F_c}{2^{25 - (2 * CL_RLDREG0)}}$$

Примечание: $F_{clk} = \frac{F_c}{2^{25 - (2 * CL_RLDREG0)}}$
 $F_c - 10 \text{ МГц}$

Наименование: **CL_RLDREG1**

Назначение: Хранение значений выходной частоты канала «CLOCK1»

Разрядность: 24 бит.

МЗР: CL_RLDREG1.0

Адрес (чтение): CL_BA+3 - CL_RLDREG1.0-7, CL_BA+4 - CL_RLDREG1.8-15,
CL_BA+5 - CL_RLDREG1.16 - 23

Адрес (запись): CL_BA+3 - CL_RLDREG1.0-7, CL_BA+4 - CL_RLDREG1.8-15,
CL_BA+5 - CL_RLDREG1.16 - 23

Режим доступа: Доступен для чтения и записи.

Начальн. сост.: 000000h

Значение частоты на выходе CLOCK можно вычислить по формуле

$$F_{clk} = \frac{F_c}{2^{25 - (2 * CL_RLDREG1)}}$$

Примечание: $F_{clk} = \frac{F_c}{2^{25 - (2 * CL_RLDREG1)}}$
 $F_c - 10 \text{ МГц}$.

Наименование: **CL_RLDREG2**

Назначение: Хранение значений выходной частоты канала «CLOCK2»

Разрядность: 24 бит.

МЗР: CL_RLDREG2.0

Адрес (чтение): CL_BA+6 - CL_RLDREG2.0-7, CL_BA+7 - CL_RLDREG2.8-15,
CL_BA+8 - CL_RLDREG2.16 - 23

Адрес (запись): CL_BA+6 - CL_RLDREG2.0-7, CL_BA+7 - CL_RLDREG2.8-15,
CL_BA+8 - CL_RLDREG2.16 - 23

Режим доступа: Доступен для чтения и записи.

Начальн. сост.: 000000h

Значение частоты на выходе CLOCK можно вычислить по формуле

$$F_{clk} = \frac{F_c}{2^{25} - (2 * CL_RLDREG2)}$$
Примечание: Fclk = -----

$$F_c - 10 \text{ МГц.}$$

Наименование: **CL_RLDREG3**
Назначение: Хранение значений выходной частоты канала «CLOCK3»
Разрядность: 24 бит.
МЗР: CL_RLDREG3.0
Адрес (чтение): CL_BA+9 - CL_RLDREG3.0-7, CL_BA+10 - CL_RLDREG3.8-15,
CL_BA+11 - CL_RLDREG3.16 - 23
Адрес (запись): CL_BA+9 - CL_RLDREG3.0-7, CL_BA+10 - CL_RLDREG3.8-15,
CL_BA+11 - CL_RLDREG3.16 - 23
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 000000h
Значение частоты на выходе CLOCK можно вычислить по формуле

$$F_{clk} = \frac{F_c}{2^{25} - (2 * CL_RLDREG3)}$$
Примечание: Fclk = -----

$$F_c - 10 \text{ МГц.}$$

Наименование: **CL_RLDREG4**
Назначение: Хранение значений выходной частоты канала «CLOCK4»
Разрядность: 24 бит.
МЗР: CL_RLDREG4.0
Адрес (чтение): CL_BA+12 - CL_RLDREG4.0-7, CL_BA+13 - CL_RLDREG4.8-15,
CL_BA+14 - CL_RLDREG4.16 - 23
Адрес (запись): CL_BA+12 - CL_RLDREG4.0-7, CL_BA+13 - CL_RLDREG4.8-15,
CL_BA+14 - CL_RLDREG4.16 - 23
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 000000h
Значение частоты на выходе CLOCK можно вычислить по формуле

$$F_{clk} = \frac{F_c}{2^{25} - (2 * CL_RLDREG4)}$$
Примечание: Fclk = -----

$$F_c - 10 \text{ МГц.}$$

Наименование: **CL_RLDREG5**
Назначение: Хранение значений выходной частоты канала «CLOCK5»
Разрядность: 24 бит.
МЗР: CL_RLDREG5.0
Адрес (чтение): CL_BA+15 - CL_RLDREG5.0-7, CL_BA+16 - CL_RLDREG5.8-15,
CL_BA+17 - CL_RLDREG5.16 - 23
Адрес (запись): CL_BA+15 - CL_RLDREG5.0-7, CL_BA+16 - CL_RLDREG5.8-15,
CL_BA+17 - CL_RLDREG5.16 - 23
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 000000h
Значение частоты на выходе CLOCK можно вычислить по формуле

$$F_{clk} = \frac{F_c}{2^{25} - (2 * CL_RLDREG5)}$$
Примечание: Fclk = -----

$$F_c - 10 \text{ МГц.}$$

Наименование: **CL_RLDREG6**
Назначение: Хранение значений выходной частоты канала «CLOCK6»
Разрядность: 24 бит.
МЗР: CL_RLDREG6.0

Адрес (чтение): CL_BA+18 - CL_RLDREG6.0-7, CL_BA+19 - CL_RLDREG6.8-15,
CL_BA+20 - CL_RLDREG6.16 - 23

Адрес (запись): CL_BA+18 - CL_RLDREG6.0-7, CL_BA+19 - CL_RLDREG6.8-15,
CL_BA+20 - CL_RLDREG6.16 - 23

Режим доступа: Доступен для чтения и записи.

Начальн. сост.: 000000h

Значение частоты на выходе CLOCK можно вычислить по формуле

$$F_{clk} = \frac{F_c}{2^{25} - (2 * CL_RLDREG6)}$$

Примечание: Fc - 10 МГц.

Наименование: **CL_RLDREG7**

Назначение: Хранение значений выходной частоты канала «CLOCK7»

Разрядность: 24 бит.

МЗР: CL_RLDREG7.0

Адрес (чтение): CL_BA+21 - CL_RLDREG7.0-7, CL_BA+22 - CL_RLDREG7.8-15,
CL_BA+23 - CL_RLDREG7.16 - 23

Адрес (запись): CL_BA+21 - CL_RLDREG7.0-7, CL_BA+22 - CL_RLDREG7.8-15,
CL_BA+23 - CL_RLDREG7.16 - 23

Режим доступа: Доступен для чтения и записи.

Начальн. сост.: 000000h

Значение частоты на выходе CLOCK можно вычислить по формуле

$$F_{clk} = \frac{F_c}{2^{25} - (2 * CL_RLDREG7)}$$

Примечание: Fc - 10 МГц.

1.2. Регистры хранения управляющего кода «Разрешить счет» (индивидуальное управление)

Наименование: **CL_SSTREG0**

Назначение: Хранение управляющего кода «разрешить счет» для канала «CLOCK0»

Разрядность: 8 бит.

МЗР: CL_SSTREG0.0

Адрес (чтение): CL_BA+24

Адрес (запись): CL_BA+24

Режим доступа: Доступен для чтения и записи.

Начальн. сост.: 00h

Примечание:

Наименование: **CL_SSTREG1**

Назначение: Хранение управляющего кода «разрешить счет» для канала «CLOCK1»

Разрядность: 8 бит.

МЗР: CL_SSTREG1.0

Адрес (чтение): CL_BA+25

Адрес (запись): CL_BA+25

Режим доступа: Доступен для чтения и записи.

Начальн. сост.: 00h

Примечание:

Наименование: **CL_SSTREG2**

Назначение: Хранение управляющего кода «разрешить счет» для канала «CLOCK2»

Разрядность: 8 бит.

МЗР: CL_SSTREG2.0
Адрес (чтение): CL_BA+26
Адрес (запись): CL_BA+26
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание:
Наименование: **CL_SSTREG3**
Назначение: Хранение управляющего кода «разрешить счет» для канала «CLOCK3»
Разрядность: 8 бит.
МЗР: CL_SSTREG3.0
Адрес (чтение): CL_BA+27
Адрес (запись): CL_BA+27
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание:
Наименование: **CL_SSTREG4**
Назначение: Хранение управляющего кода «разрешить счет» для канала «CLOCK4»
Разрядность: 8 бит.
МЗР: CL_SSTREG4.0
Адрес (чтение): CL_BA+28
Адрес (запись): CL_BA+28
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание:
Наименование: **CL_SSTREG5**
Назначение: Хранение управляющего кода «разрешить счет» для канала «CLOCK5»
Разрядность: 8 бит.
МЗР: CL_SSTREG5.0
Адрес (чтение): CL_BA+29
Адрес (запись): CL_BA+29
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание:
Наименование: **CL_SSTREG6**
Назначение: Хранение управляющего кода «разрешить счет» для канала «CLOCK6»
Разрядность: 8 бит.
МЗР: CL_SSTREG6.0
Адрес (чтение): CL_BA+30
Адрес (запись): CL_BA+30
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание:
Наименование: **CL_SSTREG7**
Назначение: Хранение управляющего кода «разрешить счет» для канала «CLOCK7»
Разрядность: 8 бит.
МЗР: CL_SSTREG7.0
Адрес (чтение): CL_BA+31
Адрес (запись): CL_BA+31
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание:

1.3. Регистры хранения управляющего кода – «Остановить счет» (индивидуальное управление)

| | |
|------------------------|--|
| Наименование: | <i>CL_SSPREG0</i> |
| Назначение: | Хранение управляющего кода «остановить счет» для канала «CLOCK0» |
| Разрядность: | 8 бит. |
| МЗР: | CL_SSPREG7.0 |
| Адрес (чтение): | CL_BA+32 |
| Адрес (запись): | CL_BA+32 |
| Режим доступа: | Доступен для чтения и записи. |
| Начальн. сост.: | 00h |
| Примечание: | |
| Наименование: | <i>CL_SSPREG1</i> |
| Назначение: | Хранение управляющего кода «остановить счет» для канала «CLOCK1» |
| Разрядность: | 8 бит. |
| МЗР: | CL_SSPREG1.0 |
| Адрес (чтение): | CL_BA+33 |
| Адрес (запись): | CL_BA+33 |
| Режим доступа: | Доступен для чтения и записи. |
| Начальн. сост.: | 00h |
| Примечание: | |
| Наименование: | <i>CL_SSPREG2</i> |
| Назначение: | Хранение управляющего кода «остановить счет» для канала «CLOCK2» |
| Разрядность: | 8 бит. |
| МЗР: | CL_SSPREG2.0 |
| Адрес (чтение): | CL_BA+34 |
| Адрес (запись): | CL_BA+34 |
| Режим доступа: | Доступен для чтения и записи. |
| Начальн. сост.: | 00h |
| Примечание: | |
| Наименование: | <i>CL_SSPREG3</i> |
| Назначение: | Хранение управляющего кода «остановить счет» для канала «CLOCK3» |
| Разрядность: | 8 бит. |
| МЗР: | CL_SSPREG3.0 |
| Адрес (чтение): | CL_BA+35 |
| Адрес (запись): | CL_BA+35 |
| Режим доступа: | Доступен для чтения и записи. |
| Начальн. сост.: | 00h |
| Примечание: | |
| Наименование: | <i>CL_SSPREG4</i> |
| Назначение: | Хранение управляющего кода «остановить счет» для канала «CLOCK4» |
| Разрядность: | 8 бит. |
| МЗР: | CL_SSPREG4.0 |
| Адрес (чтение): | CL_BA+36 |
| Адрес (запись): | CL_BA+36 |
| Режим доступа: | Доступен для чтения и записи. |
| Начальн. сост.: | 00h |
| Примечание: | |
| Наименование: | <i>CL_SSPREG5</i> |
| Назначение: | Хранение управляющего кода «остановить счет» для канала «CLOCK5» |

Разрядность: 8 бит.
МЗР: CL_SSPREG5.0
Адрес (чтение): CL_BA+37
Адрес (запись): CL_BA+37
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h

Примечание:

Наименование: **CL_SSPREG6**

Назначение: Хранение управляющего кода «остановить счет» для канала «CLOCK6»

Разрядность: 8 бит.
МЗР: CL_SSPREG6.0
Адрес (чтение): CL_BA+38
Адрес (запись): CL_BA+38
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h

Примечание:

Наименование: **CL_SSPREG7**

Назначение: Хранение управляющего кода «остановить счет» для канала «CLOCK7»

Разрядность: 8 бит.
МЗР: CL_SSPREG7.0
Адрес (чтение): CL_BA+39
Адрес (запись): CL_BA+39
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h

Примечание:

1.4. Регистры хранения управляющего кода «Перезагрузка» (индивидуальное управление)

Наименование: **CL_SRLREG0**

Назначение: Хранение управляющего кода «перезагрузка» для канала «CLOCK0»

Разрядность: 8 бит.
МЗР: CL_SRLREG0.0
Адрес (чтение): CL_BA+40
Адрес (запись): CL_BA+40
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h

Примечание:

Наименование: **CL_SRLREG1**

Назначение: Хранение управляющего кода «перезагрузка» для канала «CLOCK1»

Разрядность: 8 бит.
МЗР: CL_SRLREG1.0
Адрес (чтение): CL_BA+41
Адрес (запись): CL_BA+41
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h

Примечание:

Наименование: **CL_SRLREG2**

Назначение: Хранение управляющего кода «перезагрузка» для канала «CLOCK2»

Разрядность: 8 бит.

МЗР: CL_SRLREG2.0
Адрес (чтение): CL_BA+42
Адрес (запись): CL_BA+42
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание:
Наименование: ***CL_SRLREG3***
Назначение: Хранение управляющего кода «перезагрузка» для канала «CLOCK3»
Разрядность: 8 бит.
МЗР: CL_SRLREG3.0
Адрес (чтение): CL_BA+43
Адрес (запись): CL_BA+43
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание:
Наименование: ***CL_SRLREG4***
Назначение: Хранение управляющего кода «перезагрузка» для канала «CLOCK4»
Разрядность: 8 бит.
МЗР: CL_SRLREG4.0
Адрес (чтение): CL_BA+44
Адрес (запись): CL_BA+44
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание:
Наименование: ***CL_SRLREG5***
Назначение: Хранение управляющего кода «перезагрузка» для канала «CLOCK5»
Разрядность: 8 бит.
МЗР: CL_SRLREG5.0
Адрес (чтение): CL_BA+45
Адрес (запись): CL_BA+45
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание:
Наименование: ***CL_SRLREG6***
Назначение: Хранение управляющего кода «перезагрузка» для канала «CLOCK6»
Разрядность: 8 бит.
МЗР: CL_SRLREG6.0
Адрес (чтение): CL_BA+46
Адрес (запись): CL_BA+46
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание:
Наименование: ***CL_SRLREG7***
Назначение: Хранение управляющего кода «перезагрузка» для канала «CLOCK7»
Разрядность: 8 бит.
МЗР: CL_SRLREG7.0
Адрес (чтение): CL_BA+47
Адрес (запись): CL_BA+47
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание:

1.5. Регистры хранения управляющего кода – «Рестарт» (индивидуальное управление)

Наименование: **CL_SRSREG0**
Назначение: Хранение управляющего кода «рестарт» для канала «CLOCK0»
Разрядность: 8 бит.
МЗР: CL_SRSREG0.0
Адрес (чтение): CL_BA+48
Адрес (запись): CL_BA+48
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание:

Наименование: **CL_SRSREG1**
Назначение: Хранение управляющего кода «рестарт» для канала «CLOCK1»
Разрядность: 8 бит.
МЗР: CL_SRSREG1.0
Адрес (чтение): CL_BA+49
Адрес (запись): CL_BA+49
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание:

Наименование: **CL_SRSREG2**
Назначение: Хранение управляющего кода «рестарт» для канала «CLOCK2»
Разрядность: 8 бит.
МЗР: CL_SRSREG2.0
Адрес (чтение): CL_BA+50
Адрес (запись): CL_BA+50
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание:

Наименование: **CL_SRSREG3**
Назначение: Хранение управляющего кода «рестарт» для канала «CLOCK3»
Разрядность: 8 бит.
МЗР: CL_SRSREG3.0
Адрес (чтение): CL_BA+51
Адрес (запись): CL_BA+51
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание:

Наименование: **CL_SRSREG4**
Назначение: Хранение управляющего кода «рестарт» для канала «CLOCK4»
Разрядность: 8 бит.
МЗР: CL_SRSREG4.0
Адрес (чтение): CL_BA+52
Адрес (запись): CL_BA+52
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание:

Наименование: **CL_SRSREG5**
Назначение: Хранение управляющего кода «рестарт» для канала «CLOCK5»
Разрядность: 8 бит.
МЗР: CL_SRSREG5.0
Адрес (чтение): CL_BA+53
Адрес (запись): CL_BA+53
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание:

Наименование: ***CL_SRSREG6***
Назначение: Хранение управляющего кода «рестарт» для канала «CLOCK6»
Разрядность: 8 бит.
МЗР: CL_SRSREG6.0
Адрес (чтение): CL_BA+54
Адрес (запись): CL_BA+54
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание:
Наименование: ***CL_SRSREG7***
Назначение: Хранение управляющего кода «рестарт» для канала «CLOCK7»
Разрядность: 8 бит.
МЗР: CL_SRSREG7.0
Адрес (чтение): CL_BA+55
Адрес (запись): CL_BA+55
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание:

1.6. Регистр хранения управляющего кода – «Разрешить счет» (групповое управление)

Наименование: ***CL_GSTREG***
Назначение: Хранение группового управляющего кода «разрешить счет» для каналов «CLOCK0-7»
Разрядность: 8 бит.
МЗР: CL_GSTREG.0
Адрес (чтение): CL_BA+56
Адрес (запись): CL_BA+56
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание:

1.7. Регистр хранения управляющего кода – «Остановить счет» (групповое управление)

Наименование: ***CL_GSPREG***
Назначение: Хранение группового управляющего кода «остановить счет» для каналов «CLOCK0-7»
Разрядность: 8 бит.
МЗР: CL_GSPREG.0
Адрес (чтение): CL_BA+57
Адрес (запись): CL_BA+57
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание:

1.8. Регистр хранения управляющего кода – «Перезагрузка» (групповое управление)

Наименование: ***CL_GRLREG***
Назначение: Хранение группового управляющего кода «перезагрузка» для каналов «CLOCK0-7»

Разрядность: 8 бит.
МЗР: CL_GRLREG.0
Адрес (чтение): CL_BA+58
Адрес (запись): CL_BA+58
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание:

1.9. Регистр хранения управляющего кода – «Рестарт» (групповое управление)

Наименование: **CL_GRSREG**
Назначение: Хранение группового управляющего кода «рестарт» для каналов «CLOCK0-7»
Разрядность: 8 бит.
МЗР: CL_GRSREG.0
Адрес (чтение): CL_BA+59
Адрес (запись): CL_BA+59
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание:

1.10. Регистр разрешения/запрещения группового управления

Наименование: **CL_GENAREG**
Назначение: Хранение значений флагов разрешения/запрещения группового управления каналами «CLOCK0-7»
Разрядность: 8 бит.
МЗР: CL_GENAREG.0
Адрес (чтение): CL_BA+60
Адрес (запись): CL_BA+60
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание: Для разрешения группового управления канала CLOCKx необходимо установить в «1» бит CL_GENAREG.x. Где x = 0,1,2,...,7

1.11. Регистр управления внешними выводами каналов CLOCK0-7

Наименование: **CL_DIROUTREG**
Назначение: Хранение значений сигналов, подаваемых на внешние выводы каналов «CLOCK0-7».
Разрядность: 8 бит.
МЗР: CL_DIROUTREG.0
Адрес (чтение): CL_BA+61
Адрес (запись): CL_BA+61
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание: В режиме прямого управления внешними выводами каналов CLOCK0-7. Значение CL_DIROUTREG.x подается на соответствующий вывод CLOCKx. Где x = 0,1,2,...,7. Для перехода в этот режим необходимо, чтобы флаг CL_DIROUT_ENA из регистра FLAGS был установлен в «0».

1.12. Регистр разрешения/запрещения прямого управления каналами CLOCK0–CLOCK7

Наименование: **CL_DENAREG**
Назначение: Хранение значений флагов разрешения/запрещения прямого управления каналами «CLOCK0–7».
Разрядность: 8 бит.
МЗР: CL_DENAREG.0
Адрес (чтение): CL_BA+62
Адрес (запись): CL_BA+62
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
 Для разрешения прямого управления каналом CLOCKx необходимо установить в «1» соответствующий бит CL_DENAREG.x.
Примечание: Где x = 0,1,2,...,7

1.13. Регистр команд прямого управления каналами CLOCK0–CLOCK7

Наименование: **CL_DIRCONREG**
Назначение: Хранение кодов прямого управления каналами «CLOCK0–7».
Разрядность: 16 бит.
МЗР: CL_DIRCONREG.0
Адрес (чтение): CL_BA+63 – CL_DIRCONREG.0–7, CL_BA+64 – CL_DIRCONREG.8–15,
Адрес (запись): CL_BA+63 – CL_DIRCONREG.0–7, CL_BA+64 – CL_DIRCONREG.8–15,
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 0000h
 Для прямого управления каналами CLOCK нужно записать в разряды регистра CL_DIRCONREG двухзначные коды, соответствующие командам. Значение кодов приведено в таблице.

| Команды/канал | CLOCK0 | CLOCK1 | CLOCK2 | CLOCK3 | CLOCK4 | CLOCK5 | CLOCK6 | CLOCK7 |
|-------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Разряды CL_DIRCONREG | 1,0 | 3,2 | 5,4 | 7,6 | 9,8 | 11,10 | 13,12 | 15,14 |
| «ост. счет» | "00" | "00" | "00" | "00" | "00" | "00" | "00" | "00" |
| «разр. счет» | "01" | "01" | "01" | "01" | "01" | "01" | "01" | "01" |
| «перезагрузка» | "10" | "10" | "10" | "10" | "10" | "10" | "10" | "10" |
| «рестарт» | "11" | "11" | "11" | "11" | "11" | "11" | "11" | "11" |

Примечание:

Для работы канала CLOCKx в режиме прямого управления, необходимо, чтобы был установлен в «1» бит CL_DENAREG.x, где x = 0,1,2,...,7

1.14. Регистр для чтения состояний сигналов на внешних выводах CLOCK0–CLOCK7

Наименование: **CL_PINVAL**
Назначение: Отображение состояние внешних выводов каналов CLOCK0–7
Разрядность: 8 бит.
МЗР: CL_PINVAL.0
Адрес (чтение): CL_BA+65
Адрес (запись): –
Режим доступа: Доступен только для чтения.
Начальн. сост.: 00h
 Значение «1» с разряде CL_PINVAL.x соответствует высокому уровню напряжения на выводе CLOCK.x Где x = 0,1,2,...,7.
Примечание:

2. РЕГИСТРЫ БЛОКА «GATE»

2.1. Регистры хранения значений длительности сигналов «GATE0–7»

Наименование: **GT_RLDREG0**

Назначение: Хранение значения длительности действия сигнала на выходе канала «GATE0»

Разрядность: 24 бит.

МЗР: GT_RLDREG0.0

Адрес (чтение): GT_BA+0 – GT_RLDREG0.0–7, GT_BA+1 – GT_RLDREG0.8–15,
GT_BA+2 – GT_RLDREG0.16 – 23

Адрес (запись): GT_BA+0 – GT_RLDREG0.0–7, GT_BA+1 – GT_RLDREG0.8–15,
GT_BA+2 – GT_RLDREG0.16 – 23

Режим доступа: Доступен для чтения и записи.

Начальн. сост.: 000000h

Значение периода действия сигнала GATE можно вычислить по формуле

Примечание:
$$Tg = \frac{2^{24} - GT_RLDREG0}{F_c}$$

F_c – 10 МГц.

Наименование: **GT_RLDREG1**

Назначение: Хранение значения длительности действия сигнала на выходе канала «GATE1»

Разрядность: 24 бит.

МЗР: GT_RLDREG1.0

Адрес (чтение): GT_BA+3 – GT_RLDREG1.0–7, GT_BA+4 – GT_RLDREG1.8–15,
GT_BA+5 – GT_RLDREG1.16 – 23

Адрес (запись): GT_BA+3 – GT_RLDREG1.0–7, GT_BA+4 – GT_RLDREG1.8–15,
GT_BA+5 – GT_RLDREG1.16 – 23

Режим доступа: Доступен для чтения и записи.

Начальн. сост.: 000000h

Значение периода действия сигнала GATE можно вычислить по формуле

Примечание:
$$Tg = \frac{2^{24} - GT_RLDREG1}{F_c}$$

F_c – 10 МГц.

Наименование: **GT_RLDREG2**

Назначение: Хранение значения длительности действия сигнала на выходе канала «GATE2»

Разрядность: 24 бит.

МЗР: GT_RLDREG2.0

Адрес (чтение): GT_BA+6 – GT_RLDREG2.0–7, GT_BA+7 – GT_RLDREG2.8–15,
GT_BA+8 – GT_RLDREG2.16 – 23

Адрес (запись): GT_BA+6 – GT_RLDREG2.0–7, GT_BA+7 – GT_RLDREG2.8–15,
GT_BA+8 – GT_RLDREG2.16 – 23

Режим доступа: Доступен для чтения и записи.

Начальн. сост.: 000000h

Значение периода действия сигнала GATE можно вычислить по формуле

Примечание:
$$Tg = \frac{2^{24} - GT_RLDREG2}{F_c}$$

F_c – 10 МГц.

Наименование: **GT_RLDREG3**

Назначение: Хранение значения длительности действия сигнала на выходе канала «GATE3»

Разрядность: 24 бит.

МЗР: GT_RLDREG3.0

Адрес (чтение): GT_BA+9 - GT_RLDREG3.0-7, GT_BA+10 - GT_RLDREG3.8-15,
GT_BA+11 - GT_RLDREG3.16 - 23

Адрес (запись): GT_BA+9 - GT_RLDREG3.0-7, GT_BA+10 - GT_RLDREG3.8-15,
GT_BA+11 - GT_RLDREG3.16 - 23

Режим доступа: Доступен для чтения и записи.

Начальн. сост.: 000000h

Значение периода действия сигнала GATE можно вычислить по формуле

Примечание:

$$Tg = \frac{2^{24} - GT_RLDREG3}{F_c}$$

F_c - 10 МГц.

Наименование: **GT_RLDREG4**

Назначение: Хранение значения длительности действия сигнала на выходе канала «GATE4»

Разрядность: 24 бит.

МЗР: GT_RLDREG4.0

Адрес (чтение): GT_BA+12 - GT_RLDREG4.0-7, GT_BA+13 - GT_RLDREG4.8-15,
GT_BA+14 - GT_RLDREG4.16 - 23

Адрес (запись): GT_BA+12 - GT_RLDREG4.0-7, GT_BA+13 - GT_RLDREG4.8-15,
GT_BA+14 - GT_RLDREG4.16 - 23

Режим доступа: Доступен для чтения и записи.

Начальн. сост.: 000000h

Значение периода действия сигнала GATE можно вычислить по формуле

Примечание:

$$Tg = \frac{2^{24} - GT_RLDREG4}{F_c}$$

F_c - 10 МГц.

Наименование: **GT_RLDREG5**

Назначение: Хранение значения длительности действия сигнала на выходе канала «GATE5»

Разрядность: 24 бит.

МЗР: GT_RLDREG5.0

Адрес (чтение): GT_BA+15 - GT_RLDREG5.0-7, GT_BA+16 - GT_RLDREG5.8-15,
GT_BA+17 - GT_RLDREG5.16 - 23

Адрес (запись): GT_BA+15 - GT_RLDREG5.0-7, GT_BA+16 - GT_RLDREG5.8-15,
GT_BA+17 - GT_RLDREG5.16 - 23

Режим доступа: Доступен для чтения и записи.

Начальн. сост.: 000000h

Значение периода действия сигнала GATE можно вычислить по формуле

Примечание:

$$Tg = \frac{2^{24} - GT_RLDREG5}{F_c}$$

F_c - 10 МГц.

Наименование: **GT_RLDREG6**

Назначение: Хранение значения длительности действия сигнала на выходе канала «GATE6»

Разрядность: 24 бит.

МЗР: GT_RLDREG6.0

Адрес (чтение): GT_BA+18 - GT_RLDREG6.0-7, GT_BA+19 - GT_RLDREG6.8-15,
GT_BA+20 - GT_RLDREG6.16 - 23

Адрес (запись): GT_BA+18 – GT_RLDREG6.0-7, GT_BA+19 – GT_RLDREG6.8-15,
GT_BA+20 – GT_RLDREG6.16 – 23

Режим доступа: Доступен для чтения и записи.

Начальн. сост.: 000000h

Значение периода действия сигнала GATE можно вычислить по формуле

Примечание:

$$Tg = \frac{2^{24} - GT_RLDREG6}{F_c}$$

F_c – 10 МГц.

Наименование: ***GT_RLDREG7***

Назначение: Хранение значения длительности действия сигнала на выходе канала «GATE7»

Разрядность: 24 бит.

МЗР: GT_RLDREG7.0

Адрес (чтение): GT_BA+21 – GT_RLDREG7.0-7, GT_BA+22 – GT_RLDREG7.8-15,
GT_BA+23 – GT_RLDREG7.16 – 23

Адрес (запись): GT_BA+21 – GT_RLDREG7.0-7, GT_BA+22 – GT_RLDREG7.8-15,
GT_BA+23 – GT_RLDREG7.16 – 23

Режим доступа: Доступен для чтения и записи.

Начальн. сост.: 000000h

Значение периода действия сигнала GATE можно вычислить по формуле

Примечание:

$$Tg = \frac{2^{24} - GT_RLDREG7}{F_c}$$

F_c – 10 МГц.

2.2. Регистры хранения управляющего кода – «Разрешить счет» (индивидуальное управление)

Наименование: ***GT_SSTREG0***

Назначение: Хранение управляющего кода «разрешить счет» для канала «GATE0»

Разрядность: 8 бит.

МЗР: GT_SSTREG0.0

Адрес (чтение): GT_BA+24

Адрес (запись): GT_BA+24

Режим доступа: Доступен для чтения и записи.

Начальн. сост.: 00h

Примечание:

Наименование: ***GT_SSTREG1***

Назначение: Хранение управляющего кода «разрешить счет» для канала «GATE1»

Разрядность: 8 бит.

МЗР: GT_SSTREG1.0

Адрес (чтение): GT_BA+25

Адрес (запись): GT_BA+25

Режим доступа: Доступен для чтения и записи.

Начальн. сост.: 00h

Примечание:

Наименование: ***GT_SSTREG2***

Назначение: Хранение управляющего кода «разрешить счет» для канала «GATE2»

Разрядность: 8 бит.

МЗР: GT_SSTREG2.0
Адрес (чтение): GT_BA+26
Адрес (запись): GT_BA+26
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание:

Наименование: ***GT_SSTREG3***
Назначение: Хранение управляющего кода «разрешить счет» для канала «GATE3»
Разрядность: 8 бит.
МЗР: GT_SSTREG3.0
Адрес (чтение): GT_BA+27
Адрес (запись): GT_BA+27
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание:

Наименование: ***GT_SSTREG4***
Назначение: Хранение управляющего кода «разрешить счет» для канала «GATE4»
Разрядность: 8 бит.
МЗР: GT_SSTREG4.0
Адрес (чтение): GT_BA+28
Адрес (запись): GT_BA+28
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание:

Наименование: ***GT_SSTREG5***
Назначение: Хранение управляющего кода «разрешить счет» для канала «GATE5»
Разрядность: 8 бит.
МЗР: GT_SSTREG5.0
Адрес (чтение): GT_BA+29
Адрес (запись): GT_BA+29
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание:

Наименование: ***GT_SSTREG6***
Назначение: Хранение управляющего кода «разрешить счет» для канала «GATE6»
Разрядность: 8 бит.
МЗР: GT_SSTREG6.0
Адрес (чтение): GT_BA+30
Адрес (запись): GT_BA+30
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание:

Наименование: ***GT_SSTREG7***
Назначение: Хранение управляющего кода «разрешить счет» для канала «GATE7»
Разрядность: 8 бит.
МЗР: GT_SSTREG7.0
Адрес (чтение): GT_BA+31
Адрес (запись): GT_BA+31
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание:

2.3. Регистры хранения управляющего кода – «Остановить счет» (индивидуальное управление)

| | |
|------------------------|---|
| Наименование: | <i>GT_SSPREG0</i> |
| Назначение: | Хранение управляющего кода «остановить счет» для канала «GATE0» |
| Разрядность: | 8 бит. |
| МЗР: | GT_SSPREG0.0 |
| Адрес (чтение): | GT_BA+32 |
| Адрес (запись): | GT_BA+32 |
| Режим доступа: | Доступен для чтения и записи. |
| Начальн. сост.: | 00h |
| Примечание: | |
| Наименование: | <i>GT_SSPREG1</i> |
| Назначение: | Хранение управляющего кода «остановить счет» для канала «GATE1» |
| Разрядность: | 8 бит. |
| МЗР: | GT_SSPREG1.0 |
| Адрес (чтение): | GT_BA+33 |
| Адрес (запись): | GT_BA+33 |
| Режим доступа: | Доступен для чтения и записи. |
| Начальн. сост.: | 00h |
| Примечание: | |
| Наименование: | <i>GT_SSPREG2</i> |
| Назначение: | Хранение управляющего кода «остановить счет» для канала «GATE2» |
| Разрядность: | 8 бит. |
| МЗР: | GT_SSPREG2.0 |
| Адрес (чтение): | GT_BA+34 |
| Адрес (запись): | GT_BA+34 |
| Режим доступа: | Доступен для чтения и записи. |
| Начальн. сост.: | 00h |
| Примечание: | |
| Наименование: | <i>GT_SSPREG3</i> |
| Назначение: | Хранение управляющего кода «остановить счет» для канала «GATE3» |
| Разрядность: | 8 бит. |
| МЗР: | GT_SSPREG3.0 |
| Адрес (чтение): | GT_BA+35 |
| Адрес (запись): | GT_BA+35 |
| Режим доступа: | Доступен для чтения и записи. |
| Начальн. сост.: | 00h |
| Примечание: | |
| Наименование: | <i>GT_SSPREG4</i> |
| Назначение: | Хранение управляющего кода «остановить счет» для канала «GATE4» |
| Разрядность: | 8 бит. |
| МЗР: | GT_SSPREG4.0 |
| Адрес (чтение): | GT_BA+36 |
| Адрес (запись): | GT_BA+36 |
| Режим доступа: | Доступен для чтения и записи. |
| Начальн. сост.: | 00h |
| Примечание: | |
| Наименование: | <i>GT_SSPREG5</i> |
| Назначение: | Хранение управляющего кода «остановить счет» для канала «GATE5» |

Разрядность: 8 бит.
МЗР: GT_SSPREG5.0
Адрес (чтение): GT_BA+37
Адрес (запись): GT_BA+37
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h

Примечание:

Наименование: **GT_SSPREG6**

Назначение: Хранение управляющего кода «остановить счет» для канала «GATE6»

Разрядность: 8 бит.
МЗР: GT_SSPREG6.0
Адрес (чтение): GT_BA+38
Адрес (запись): GT_BA+38
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h

Примечание:

Наименование: **GT_SSPREG7**

Назначение: Хранение управляющего кода «остановить счет» для канала «GATE7»

Разрядность: 8 бит.
МЗР: GT_SSPREG7.0
Адрес (чтение): GT_BA+39
Адрес (запись): GT_BA+39
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h

Примечание:

2.4. Регистры хранения управляющего кода – «Рестарт» (индивидуальное управление)

Наименование: **GT_SRSREG0**

Назначение: Хранение управляющего кода «перезагрузка» для канала «GATE0»

Разрядность: 8 бит.
МЗР: GT_SRSREG0.0
Адрес (чтение): GT_BA+40
Адрес (запись): CL_BA+40
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h

Примечание:

Наименование: **GT_SRSREG1**

Назначение: Хранение управляющего кода «перезагрузка» для канала «GATE1»

Разрядность: 8 бит.
МЗР: GT_SRSREG1.0
Адрес (чтение): GT_BA+41
Адрес (запись): CL_BA+41
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h

Примечание:

Наименование: **GT_SRSREG2**

Назначение: Хранение управляющего кода «перезагрузка» для канала «GATE2»

Разрядность: 8 бит.
МЗР: GT_SRSREG2.0

Адрес (чтение): GT_BA+42
Адрес (запись): CL_BA+42
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание:
Наименование: ***GT_SRSREG3***
Назначение: Хранение управляющего кода «перезагрузка» для канала «GATE3»
Разрядность: 8 бит.
МЗР: GT_SRSREG3.0
Адрес (чтение): GT_BA+43
Адрес (запись): CL_BA+43
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание:
Наименование: ***GT_SRSREG4***
Назначение: Хранение управляющего кода «перезагрузка» для канала «GATE4»
Разрядность: 8 бит.
МЗР: GT_SRSREG4.0
Адрес (чтение): GT_BA+44
Адрес (запись): CL_BA+44
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание:
Наименование: ***GT_SRSREG5***
Назначение: Хранение управляющего кода «перезагрузка» для канала «GATE5»
Разрядность: 8 бит.
МЗР: GT_SRSREG5.0
Адрес (чтение): GT_BA+45
Адрес (запись): CL_BA+45
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание:
Наименование: ***GT_SRSREG6***
Назначение: Хранение управляющего кода «перезагрузка» для канала «GATE6»
Разрядность: 8 бит.
МЗР: GT_SRSREG6.0
Адрес (чтение): GT_BA+46
Адрес (запись): CL_BA+46
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание:
Наименование: ***GT_SRSREG7***
Назначение: Хранение управляющего кода «перезагрузка» для канала «GATE7»
Разрядность: 8 бит.
МЗР: GT_SRSREG7.0
Адрес (чтение): GT_BA+47
Адрес (запись): CL_BA+47
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание:

2.5. Регистр хранения управляющего кода – «Разрешить счет» (групповое управление)

Наименование: *GT_GSTREG*
Назначение: Хранение группового управляющего кода «разрешить счет» для каналов «GATE0-7»
Разрядность: 8 бит.
МЗР: GT_GSTREG.0
Адрес (чтение): GT_BA+48
Адрес (запись): GT_BA+48
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание:

2.6. Регистр хранения управляющего кода – «Остановить счет» (групповое управление)

Наименование: *GT_GSPREG*
Назначение: Хранение группового управляющего кода «остановить счет» для каналов «GATE0-7»
Разрядность: 8 бит.
МЗР: GT_GSPREG.0
Адрес (чтение): GT_BA+49
Адрес (запись): GT_BA+49
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание:

2.7. Регистр хранения управляющего кода – «Рестарт» (групповое управление)

Наименование: *GT_GRSREG*
Назначение: Хранение группового управляющего кода «рестарт» для каналов «GATE0-7»
Разрядность: 8 бит.
МЗР: GT_GRSREG.0
Адрес (чтение): GT_BA+50
Адрес (запись): GT_BA+50
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание:

2.8. Регистр разрешения/запрещения группового управления

Наименование: *GT_GENAREG*
Назначение: Хранение значений флагов разрешения/запрещения группового управления каналами «GATE0-7»
Разрядность: 8 бит.
МЗР: GT_GENAREG.0
Адрес (чтение): GT_BA+51
Адрес (запись): GT_BA+51
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание: Для разрешения группового управления канала GATE_x, необходимо установить в «1» бит GT_GENAREG._x, где x = 0,1,2,...,7.

2.9. Регистр управления внешними выводами каналов GATE0-7

Наименование: *GT_DIROUTREG*
Назначение: Хранение значений сигналов подаваемых на внешние выводы каналов «GATE0-7».
Разрядность: 8 бит.
МЗР: GT_DIROUTREG.0
Адрес (чтение): GT_BA+52
Адрес (запись): GT_BA+52
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
 В режиме прямого управления внешними выводами каналов GATE0-7. Значение GT_DIROUTREG.x подается на соответствующий вывод GATE_x, где x = 0,1,2,...,7. Для перехода в этот режим необходимо, чтобы флаг GT_DIROUT_ENA из регистра FLAGS был установлен в «0».

Примечание:

2.10. Регистр разрешения/запрещения прямого управления каналами GATE0-7

Наименование: *GT_DENAREG*
Назначение: Хранение значений флагов разрешения/запрещения прямого управления каналами «GATE0-7».
Разрядность: 8 бит.
МЗР: GT_DENAREG.0
Адрес (чтение): GT_BA+53
Адрес (запись): GT_BA+53
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
 Для разрешения прямого управления каналом GATE_x, необходимо установить в «1» соответствующий бит GT_DENAREG.x, где x = 0,1,2,...,7.

Примечание:

2.11. Регистр команд прямого управления каналами GATE0-7

Наименование: *GT_DIRCONREG*
Назначение: Хранение кодов прямого управления каналами «GATE0-7».
Разрядность: 16 бит.
МЗР: GT_DIRCONREG.0
Адрес (чтение): GT_BA+54 – GT_DIRCONREG.0-7, GT_BA+55 – GT_DIRCONREG.8-15,
Адрес (запись): GT_BA+54 – GT_DIRCONREG.0-7, GT_BA+55 – GT_DIRCONREG.8-15,
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 0000h
 Для прямого управления каналами GATE нужно записать в разряды регистра GT_DIRCONREG двухзначные коды, соответствующие командам. Значение кодов приведено в таблице.

| Команды/канал | GATE0 | GATE1 | GATE2 | GATE3 | GATE4 | GATE5 | GATE5 | GATE7 |
|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Разряды GT_DIRCONREG | 1,0 | 3,2 | 5,4 | 7,6 | 9,8 | 11,10 | 13,12 | 15,14 |
| «ост.счет» | "00" | "00" | "00" | "00" | "00" | "00" | "00" | "00" |
| «разр.счет» | "01" | "01" | "01" | "01" | "01" | "01" | "01" | "01" |
| - | "10" | "10" | "10" | "10" | "10" | "10" | "10" | "10" |
| «рестарт» | "11" | "11" | "11" | "11" | "11" | "11" | "11" | "11" |

Примечание:

Для работы канала GATE_x в режиме прямого управления, необходимо, чтобы был установлен в «1» бит GT_DENAREG.x, где x = 0,1,2,...,7.

2.12. Регистр для чтения состояний сигналов на внешних выводах GATE0-7

Наименование: *GT_PINVAL*
Назначение: Отображение состояние внешних выводов каналов GATE0-7
Разрядность: 8 бит.
МЗР: GT_PINVAL.0
Адрес (чтение): GT_BA+56
Адрес (запись): -
Режим доступа: Доступен только для чтения.
Начальн. сост.: 00h
Примечание: Значение «1» с разряде GT_PINVAL.x соответствует высокому уровню напряжения на выводе GATE.x. Где x = 0,1,2,...,7.

3. РЕГИСТРЫ БЛОКА «DOUT»

3.1. Регистры хранения управляющего кода – «УСТАНОВИТЬ АКТИВНЫЙ УРОВЕНЬ» (индивидуальное управление)

Наименование: *DO_SETREG0*
Назначение: Хранение управляющего кода «установить активный уровень» на выходе DOUT0
Разрядность: 8 бит.
МЗР: DO_SETREG0.0
Адрес (чтение): DO_BA+0
Адрес (запись): DO_BA+0
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание:

Наименование: *DO_SETREG1*
Назначение: Хранение управляющего кода «установить активный уровень» на выходе DOUT1
Разрядность: 8 бит.
МЗР: DO_SETREG1.0
Адрес (чтение): DO_BA+1
Адрес (запись): DO_BA+1
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание:

Наименование: *DO_SETREG2*
Назначение: Хранение управляющего кода «установить активный уровень» на выходе DOUT2
Разрядность: 8 бит.
МЗР: DO_SETREG2.0
Адрес (чтение): DO_BA+2
Адрес (запись): DO_BA+2
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание:

Наименование: *DO_SETREG3*
Назначение: Хранение управляющего кода «установить активный уровень» на выходе DOUT3
Разрядность: 8 бит.
МЗР: DO_SETREG3.0
Адрес (чтение): DO_BA+3
Адрес (запись): DO_BA+3

Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание:
Наименование: ***DO_SETREG4***
Назначение: Хранение управляющего кода «установить активный уровень» на выходе DOUT4
Разрядность: 8 бит.
МЗР: DO_SETREG4.0
Адрес (чтение): DO_BA+4
Адрес (запись): DO_BA+4
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание:
Наименование: ***DO_SETREG5***
Назначение: Хранение управляющего кода «установить активный уровень» на выходе DOUT5
Разрядность: 8 бит.
МЗР: DO_SETREG5.0
Адрес (чтение): DO_BA+5
Адрес (запись): DO_BA+5
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание:
Наименование: ***DO_SETREG6***
Назначение: Хранение управляющего кода «установить активный уровень» на выходе DOUT6
Разрядность: 8 бит.
МЗР: DO_SETREG6.0
Адрес (чтение): DO_BA+6
Адрес (запись): DO_BA+6
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание:
Наименование: ***DO_SETREG7***
Назначение: Хранение управляющего кода «установить активный уровень» на выходе DOUT7
Разрядность: 8 бит.
МЗР: DO_SETREG7.0
Адрес (чтение): DO_BA+7
Адрес (запись): DO_BA+7
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание:

3.2. Регистры хранения управляющего кода – «СНЯТЬ АКТИВНЫЙ УРОВЕНЬ» (индивидуальное управление)

Наименование: ***DO_CLRREG0***
Назначение: Хранение управляющего кода «снять активный уровень» на выходе DOUT0
Разрядность: 8 бит.
МЗР: DO_CLRREG0.0
Адрес (чтение): DO_BA+8
Адрес (запись): DO_BA+8
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание:

Наименование: ***DO_CLRREG1***
Назначение: Хранение управляющего кода «снять активный уровень» на выходе DOUT1
Разрядность: 8 бит.
МЗР: DO_CLRREG1.0
Адрес (чтение): DO_BA+9
Адрес (запись): DO_BA+9
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание:

Наименование: ***DO_CLRREG2***
Назначение: Хранение управляющего кода «снять активный уровень» на выходе DOUT2
Разрядность: 8 бит.
МЗР: DO_CLRREG2.0
Адрес (чтение): DO_BA+10
Адрес (запись): DO_BA+10
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание:

Наименование: ***DO_CLRREG3***
Назначение: Хранение управляющего кода «снять активный уровень» на выходе DOUT3
Разрядность: 8 бит.
МЗР: DO_CLRREG3.0
Адрес (чтение): DO_BA+11
Адрес (запись): DO_BA+11
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание:

Наименование: ***DO_CLRREG4***
Назначение: Хранение управляющего кода «снять активный уровень» на выходе DOUT4
Разрядность: 8 бит.
МЗР: DO_CLRREG4.0
Адрес (чтение): DO_BA+12
Адрес (запись): DO_BA+12
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание:

Наименование: ***DO_CLRREG5***
Назначение: Хранение управляющего кода «снять активный уровень» на выходе DOUT5
Разрядность: 8 бит.
МЗР: DO_CLRREG5.0
Адрес (чтение): DO_BA+13
Адрес (запись): DO_BA+13
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание:

Наименование: ***DO_CLRREG6***
Назначение: Хранение управляющего кода «снять активный уровень» на выходе DOUT6
Разрядность: 8 бит.
МЗР: DO_CLRREG6.0
Адрес (чтение): DO_BA+14
Адрес (запись): DO_BA+14

Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание:
Наименование: ***DO_CLRREG7***
Назначение: Хранение управляющего кода «снять активный уровень» на выходе DOUT7
Разрядность: 8 бит.
МЗР: DO_CLRREG7.0
Адрес (чтение): DO_BA+15
Адрес (запись): DO_BA+15
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание:

3.3. Регистр хранения управляющего кода – «УСТАНОВИТЬ АКТИВНЫЙ УРОВЕНЬ» (групповое управление).

Наименование: ***DO_GSETREG***
Назначение: Хранение группового управляющего кода «установить активный уровень» на выходах DOUT0-7
Разрядность: 8 бит.
МЗР: DO_GSETREG.0
Адрес (чтение): DO_BA+16
Адрес (запись): DO_BA+16
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание:

3.4. Регистр хранения управляющего кода – «АКТИВНЫЙ УРОВЕНЬ» (групповое управление).

Наименование: ***DO_GCLRREG***
Назначение: Хранение группового управляющего кода «снять активный уровень» на выходах DOUT0-7
Разрядность: 8 бит.
МЗР: DO_GCLRREG.0
Адрес (чтение): DO_BA+17
Адрес (запись): DO_BA+17
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание:

3.5. Регистр разрешения/запрещения группового управления

Наименование: ***DO_GENAREG***
Назначение: Хранение значений флагов разрешения/запрещения группового управления каналами «DOUT0-7»
Разрядность: 8 бит.
МЗР: DO_GENAREG.0
Адрес (чтение): DO_BA+18
Адрес (запись): DO_BA+18
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание: Для разрешения группового управления канала DOUTx необходимо установить в «1» бит DO_GENAREG.x, где x = 0,1,2,...,7.

3.6. Регистр разрешения/запрещения прямого управления каналами Dout0-7

Наименование: ***DO_DENAREG***
Назначение: Хранение значений флагов разрешения/запрещения прямого управления каналами «DOUT0-7».
Разрядность: 8 бит.
МЗР: DO_DENAREG.0
Адрес (чтение): DO_BA+19
Адрес (запись): DO_BA+19
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание: Для разрешения прямого управления каналом DOUTx необходимо установить в «1» соответствующий бит DO_DENAREG.x, где x = 0,1,2,...,7.

3.7. Регистр команд прямого управления каналами Dout0-7

Наименование: ***DO_DIRCONREG***
Назначение: Хранение кодов прямого управления каналами «DOUT0-7».
Разрядность: 8бит.
МЗР: DO_DIRCONREG.0
Адрес (чтение): DO_BA+20
Адрес (запись): DO_BA+20
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h

Для прямого управления каналами DOUT нужно записать в разряды регистра DO_DIRCONREG однобитовые коды, соответствующие командам. Значение кодов приведено в таблице.

Примечание:

| Команды/канал | DOUT0 | DOUT1 | DOUT2 | DOUT3 | DOUT4 | DOUT5 | DOUT5 | DOUT7 |
|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Разряды DO_DIRCONREG | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| «снять актив. уровень» | "0" | "0" | "0" | "0" | "0" | "0" | "0" | "0" |
| «устан. актив. уровень» | "1" | "1" | "1" | "1" | "1" | "1" | "1" | "1" |

Для работы канала DOUTx в режиме прямого управления, необходимо, чтобы был установлен в «1» бит DO_DENAREG.x, где x = 0,1,2,...,7.

3.8. Регистр для чтения состояний сигналов на внешних выводах Dout0-7

Наименование: ***DO_PINVAL***
Назначение: Отображение состояния внешних выводов каналов DOUT0-7
Разрядность: 8 бит.
МЗР: DO_PINVAL.0
Адрес (чтение): DO_BA+21
Адрес (запись): -
Режим доступа: Доступен только для чтения.
Начальн. сост.: 00h
Примечание: Значение «1» с разряде DO_PINVAL.x соответствует высокому уровню напряжения на выводе DOUT.x, где x = 0,1,2,...,7.

4. РЕГИСТРЫ БЛОКА «DIN»

4.1. Регистры хранения управляющих кодов, формирующихся по переднему фронту входных сигналов Din0–Din15

| | |
|------------------------|---|
| Наименование: | <i>DI_HCREG0</i> |
| Назначение: | Хранение управляющего кода, формирующегося по переднему фронту сигнала DIN0 |
| Разрядность: | 8 бит. |
| МЗР: | DI_HCREG0.0 |
| Адрес (чтение): | DI_BA+0 |
| Адрес (запись): | DI_BA+0 |
| Режим доступа: | Доступен для чтения и записи. |
| Начальн. сост.: | 00h |
| Примечание: | |
| Наименование: | <i>DI_HCREG1</i> |
| Назначение: | Хранение управляющего кода, формирующегося по переднему фронту сигнала DIN1 |
| Разрядность: | 8 бит. |
| МЗР: | DI_HCREG1.0 |
| Адрес (чтение): | DI_BA+1 |
| Адрес (запись): | DI_BA+1 |
| Режим доступа: | Доступен для чтения и записи. |
| Начальн. сост.: | 00h |
| Примечание: | |
| Наименование: | <i>DI_HCREG2</i> |
| Назначение: | Хранение управляющего кода, формирующегося по переднему фронту сигнала DIN2 |
| Разрядность: | 8 бит. |
| МЗР: | DI_HCREG2.0 |
| Адрес (чтение): | DI_BA+2 |
| Адрес (запись): | DI_BA+2 |
| Режим доступа: | Доступен для чтения и записи. |
| Начальн. сост.: | 00h |
| Примечание: | |
| Наименование: | <i>DI_HCREG3</i> |
| Назначение: | Хранение управляющего кода, формирующегося по переднему фронту сигнала DIN3 |
| Разрядность: | 8 бит. |
| МЗР: | DI_HCREG3.0 |
| Адрес (чтение): | DI_BA+3 |
| Адрес (запись): | DI_BA+3 |
| Режим доступа: | Доступен для чтения и записи. |
| Начальн. сост.: | 00h |
| Примечание: | |
| Наименование: | <i>DI_HCREG4</i> |
| Назначение: | Хранение управляющего кода, формирующегося по переднему фронту сигнала DIN4 |
| Разрядность: | 8 бит. |
| МЗР: | DI_HCREG4.0 |
| Адрес (чтение): | DI_BA+4 |
| Адрес (запись): | DI_BA+4 |
| Режим доступа: | Доступен для чтения и записи. |
| Начальн. сост.: | 00h |
| Примечание: | |

Наименование: ***DI_HCREG5***
Назначение: Хранение управляющего кода, формирующегося по переднему фронту сигнала DIN5
Разрядность: 8 бит.
МЗР: DI_HCREG5.0
Адрес (чтение): DI_BA+5
Адрес (запись): DI_BA+5
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание:

Наименование: ***DI_HCREG6***
Назначение: Хранение управляющего кода, формирующегося по переднему фронту сигнала DIN6
Разрядность: 8 бит.
МЗР: DI_HCREG6.0
Адрес (чтение): DI_BA+6
Адрес (запись): DI_BA+6
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание:

Наименование: ***DI_HCREG7***
Назначение: Хранение управляющего кода, формирующегося по переднему фронту сигнала DIN7
Разрядность: 8 бит.
МЗР: DI_HCREG7.0
Адрес (чтение): DI_BA+7
Адрес (запись): DI_BA+7
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание:

Наименование: ***DI_HCREG8***
Назначение: Хранение управляющего кода, формирующегося по переднему фронту сигнала DIN8
Разрядность: 8 бит.
МЗР: DI_HCREG8.0
Адрес (чтение): DI_BA+8
Адрес (запись): DI_BA+8
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание:

Наименование: ***DI_HCREG9***
Назначение: Хранение управляющего кода, формирующегося по переднему фронту сигнала DIN9
Разрядность: 8 бит.
МЗР: DI_HCREG9.0
Адрес (чтение): DI_BA+9
Адрес (запись): DI_BA+9
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание:

Наименование: ***DI_HCREG10***
Назначение: Хранение управляющего кода, формирующегося по переднему фронту сигнала DIN10
Разрядность: 8 бит.
МЗР: DI_HCREG10.0
Адрес (чтение): DI_BA+10

Адрес (запись): DI_BA+10
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание:
Наименование: ***DI_HCREG11***
Назначение: Хранение управляющего кода, формирующегося по переднему фронту сигнала DIN11
Разрядность: 8 бит.
МЗР: DI_HCREG11.0
Адрес (чтение): DI_BA+11
Адрес (запись): DI_BA+11
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание:
Наименование: ***DI_HCREG12***
Назначение: Хранение управляющего кода, формирующегося по переднему фронту сигнала DIN12
Разрядность: 8 бит.
МЗР: DI_HCREG12.0
Адрес (чтение): DI_BA+12
Адрес (запись): DI_BA+12
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание:
Наименование: ***DI_HCREG13***
Назначение: Хранение управляющего кода, формирующегося по переднему фронту сигнала DIN13
Разрядность: 8 бит.
МЗР: DI_HCREG13.0
Адрес (чтение): DI_BA+13
Адрес (запись): DI_BA+13
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание:
Наименование: ***DI_HCREG14***
Назначение: Хранение управляющего кода, формирующегося по переднему фронту сигнала DIN14
Разрядность: 8 бит.
МЗР: DI_HCREG14.0
Адрес (чтение): DI_BA+14
Адрес (запись): DI_BA+14
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание:
Наименование: ***DI_HCREG15***
Назначение: Хранение управляющего кода, формирующегося по переднему фронту сигнала DIN15
Разрядность: 8 бит.
МЗР: DI_HCREG15.0
Адрес (чтение): DI_BA+15
Адрес (запись): DI_BA+15
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание:

4.2. Регистры хранения управляющих кодов, формирующихся по заднему фронту входных сигналов Din0-15

| | |
|------------------------|---|
| Наименование: | <i>DI_LCREG0</i> |
| Назначение: | Хранение управляющего кода, формирующегося по заднему фронту сигнала DIN0 |
| Разрядность: | 8 бит. |
| МЗР: | DI_LCREG0.0 |
| Адрес (чтение): | DI_BA+16 |
| Адрес (запись): | DI_BA+16 |
| Режим доступа: | Доступен для чтения и записи. |
| Начальн. сост.: | 00h |
| Примечание: | |
| Наименование: | <i>DI_LCREG1</i> |
| Назначение: | Хранение управляющего кода, формирующегося по заднему фронту сигнала DIN1 |
| Разрядность: | 8 бит. |
| МЗР: | DI_LCREG1.0 |
| Адрес (чтение): | DI_BA+17 |
| Адрес (запись): | DI_BA+17 |
| Режим доступа: | Доступен для чтения и записи. |
| Начальн. сост.: | 00h |
| Примечание: | |
| Наименование: | <i>DI_LCREG2</i> |
| Назначение: | Хранение управляющего кода, формирующегося по заднему фронту сигнала DIN2 |
| Разрядность: | 8 бит. |
| МЗР: | DI_LCREG2.0 |
| Адрес (чтение): | DI_BA+18 |
| Адрес (запись): | DI_BA+18 |
| Режим доступа: | Доступен для чтения и записи. |
| Начальн. сост.: | 00h |
| Примечание: | |
| Наименование: | <i>DI_LCREG3</i> |
| Назначение: | Хранение управляющего кода, формирующегося по заднему фронту сигнала DIN3 |
| Разрядность: | 8 бит. |
| МЗР: | DI_LCREG3.0 |
| Адрес (чтение): | DI_BA+19 |
| Адрес (запись): | DI_BA+19 |
| Режим доступа: | Доступен для чтения и записи. |
| Начальн. сост.: | 00h |
| Примечание: | |
| Наименование: | <i>DI_LCREG4</i> |
| Назначение: | Хранение управляющего кода, формирующегося по заднему фронту сигнала DIN4 |
| Разрядность: | 8 бит. |
| МЗР: | DI_LCREG4.0 |
| Адрес (чтение): | DI_BA+20 |
| Адрес (запись): | DI_BA+20 |
| Режим доступа: | Доступен для чтения и записи. |
| Начальн. сост.: | 00h |
| Примечание: | |

Наименование: ***DI_LCREG5***
Назначение: Хранение управляющего кода, формирующегося по заднему фронту сигнала DIN5
Разрядность: 8 бит.
МЗР: DI_LCREG5.0
Адрес (чтение): DI_BA+21
Адрес (запись): DI_BA+21
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание:

Наименование: ***DI_LCREG6***
Назначение: Хранение управляющего кода, формирующегося по заднему фронту сигнала DIN6
Разрядность: 8 бит.
МЗР: DI_LCREG6.0
Адрес (чтение): DI_BA+22
Адрес (запись): DI_BA+22
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание:

Наименование: ***DI_LCREG7***
Назначение: Хранение управляющего кода, формирующегося по заднему фронту сигнала DIN7
Разрядность: 8 бит.
МЗР: DI_LCREG7.0
Адрес (чтение): DI_BA+23
Адрес (запись): DI_BA+23
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание:

Наименование: ***DI_LCREG8***
Назначение: Хранение управляющего кода, формирующегося по заднему фронту сигнала DIN8
Разрядность: 8 бит.
МЗР: DI_LCREG8.0
Адрес (чтение): DI_BA+24
Адрес (запись): DI_BA+24
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание:

Наименование: ***DI_LCREG9***
Назначение: Хранение управляющего кода, формирующегося по заднему фронту сигнала DIN9
Разрядность: 8 бит.
МЗР: DI_LCREG9.0
Адрес (чтение): DI_BA+25
Адрес (запись): DI_BA+25
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание:

Наименование: ***DI_LCREG10***
Назначение: Хранение управляющего кода, формирующегося по заднему фронту сигнала DIN10
Разрядность: 8 бит.
МЗР: DI_LCREG10.0

Адрес (чтение): DI_BA+26
Адрес (запись): DI_BA+26
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание:
Наименование: ***DI_LCREG11***
Назначение: Хранение управляющего кода, формирующегося по заднему фронту сигнала DIN11
Разрядность: 8 бит.
МЗР: DI_LCREG11.0
Адрес (чтение): DI_BA+27
Адрес (запись): DI_BA+27
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание:
Наименование: ***DI_LCREG12***
Назначение: Хранение управляющего кода, формирующегося по заднему фронту сигнала DIN12
Разрядность: 8 бит.
МЗР: DI_LCREG12.0
Адрес (чтение): DI_BA+28
Адрес (запись): DI_BA+28
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание:
Наименование: ***DI_LCREG13***
Назначение: Хранение управляющего кода, формирующегося по заднему фронту сигнала DIN13
Разрядность: 8 бит.
МЗР: DI_LCREG13.0
Адрес (чтение): DI_BA+29
Адрес (запись): DI_BA+29
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание:
Наименование: ***DI_LCREG14***
Назначение: Хранение управляющего кода, формирующегося по заднему фронту сигнала DIN14
Разрядность: 8 бит.
МЗР: DI_LCREG14.0
Адрес (чтение): DI_BA+30
Адрес (запись): DI_BA+30
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание:
Наименование: ***DI_LCREG15***
Назначение: Хранение управляющего кода, формирующегося по заднему фронту сигнала DIN15
Разрядность: 8 бит.
МЗР: DI_LCREG15.0
Адрес (чтение): DI_BA+31
Адрес (запись): DI_BA+31
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание:

4.3. Регистр разрешения/запрещения генерации управляющих кодов от сигналов Din0-7

| | |
|------------------------|--|
| Наименование: | DI_ENAREG |
| Назначение: | Хранение флагов разрешения/запрещения генерации управляющих кодов от сигналов DIN0-15 |
| Разрядность: | 16 бит. |
| МЗР: | DI_ENAREG.0 |
| Адрес (чтение): | DI_BA+32 - DI_ENAREG.0-7, DI_BA+33 - DI_ENAREG.8-15, |
| Адрес (запись): | DI_BA+32 - DI_ENAREG.0-7, DI_BA+33 - DI_ENAREG.8-15, |
| Режим доступа: | Доступен для чтения и записи. |
| Начальн. сост.: | 00h |
| Примечание: | Для разрешения генерации управляющих кодов от сигналов DINx, необходимо установить в «1» соответствующий бит DI_ENAREG.x, где x = 1,2,...,15 |

4.4. Регистр для чтения состояний сигналов на внешних выводах Din0-15

| | |
|------------------------|--|
| Наименование: | DI_PINVAL |
| Назначение: | Отображение состояния внешних выводов каналов DIN0-15 |
| Разрядность: | 16 бит. |
| МЗР: | DI_PINVAL.0 |
| Адрес (чтение): | DI_BA+34 - DI_PINVAL.0-7, DI_BA+35 - DI_PINVAL.8-15, |
| Адрес (запись): | - |
| Режим доступа: | Доступен только для чтения. |
| Начальн. сост.: | 00h |
| Примечание: | Значение «1» с разряде DI_PINVAL.x соответствует высокому уровню напряжения на выводе DIN.x, где x = 0,1,2,...,15. |

5. РЕГИСТРЫ БЛОКА ОПБС

5.1. Регистр адреса внешней памяти

| | |
|------------------------|---|
| Наименование: | M_ADDRREG |
| Назначение: | Временное хранение адреса внешней памяти, загружаемого впоследствии в счетчик адреса M_ADCNT1. Данный регистр используется в режиме прямого доступа к внешней памяти. |
| Разрядность: | 18 бит. |
| МЗР: | M_ADDRREG.0 |
| Адрес (чтение): | - |
| Адрес (запись): | M_BA+0 - M_ADDRREG.0-7, M_BA+1 - M_ADDRREG.8-15, M_BA+2 - M_ADDRREG.16-17 |
| Режим доступа: | Доступен только для записи. |
| Начальн. сост.: | 00000h |
| Примечание: | Перезапись значений из регистра M_ADDRREG в счетчик адреса M_ADCNT1 происходит автоматически при обращении к M_ADDRREG.0-7 |

5.2. Счетчик адреса внешней памяти для режима прямого доступа к памяти

| | |
|----------------------|---|
| Наименование: | M_ADCNT1 |
| Назначение: | Формирование адреса внешней памяти в режиме прямого доступа. Реализует режим автоинкремента |
| Разрядность: | 24 бит. |
| МЗР: | M_ADCNT1.0 |

Адрес (чтение): M_BA+3 - M_ADCNT1.0-7, M_BA+4 - M_ADCNT1.8-15,
M_BA+5 - M_ADCNT1.16-23

Адрес (запись): -

Режим доступа: Доступен только для чтения.

Начальн. сост.: 000000h

Примечание:

1. Стартовый адрес загружается в M_ADCNT1 из регистра M_ADDRREG. Загрузка происходит автоматически при записи в младшей части адреса в M_ADDRREG.0-7.
2. Автоинкремент адреса производится автоматически при чтении старшего байта регистра данных M_DREG.40-47, а также при записи младшего байта M_DREG.0-7.
3. Режим автоинкремента возможен только в режиме прямого доступа к внешней памяти (в регистре FLAGS, флаг DMA_ENA должен быть равен «1»).
4. M_ADCNT1.18-23 всегда равны «0».

5.3. Счетчик адреса внешней памяти для блока «CPB»

Наименование: **M_ADCNT2**

Назначение: Формирование адреса блоком обработки команд «CPB»

Разрядность: 24 бит.

МЗР: M_ADCNT2.0

Адрес (чтение): M_BA+6 - M_ADCNT2.0-7, M_BA+7 - M_ADCNT2.8-15,
M_BA+8 - M_ADCNT2.16-23

Адрес (запись): -

Режим доступа: Доступен только для чтения.

Начальн. сост.: 000000h

Примечание:

1. M_ADCNT2 содержит адрес ячейки с последней записью истории событий.
2. M_ADCNT2.18-23 всегда равны «0».

5.4. Регистр временного хранения данных для внешней памяти в режиме прямого доступа

Наименование: **M_DREG**

Назначение: Используется для временного сохранения данных при обращении в внешней памяти

Разрядность: 48 бит.

МЗР: M_DREG.0

Адрес (чтение): M_BA+9 -M_DREG.0-7, M_BA+10 -M_DREG.8-15, M_BA+11 -M_DREG.16-23
M_BA+12-M_DREG.24-31, M_BA+13 -M_DREG.32-39, M_BA+14 -
M_DREG.40-47

Адрес (запись): M_BA+9 -M_DREG.0-7, M_BA+10 -M_DREG.8-15, M_BA+11 -M_DREG.16-23
M_BA+12-M_DREG.24-31, M_BA+13 -M_DREG.32-39, M_BA+14 -
M_DREG.40-47

Режим доступа: Доступен для чтения и записи.

Начальн. сост.: 000000000000h

Примечание:

1. Загрузка данных из M_DREG в ячейку внешней памяти с адресом указанным в M_ADCNT1, производится автоматически при записи в M_DREG.0-7.
2. Загрузка данных из ячейки внешней памяти в регистр M_DREG производится автоматически при чтении M_DREG.0-7.
3. При чтении M_DREG.40-47, а также по окончании записи M_DREG.0-7 производится автоинкремент адреса в M_ADCNT1.
4. Работа с M_DREG возможна только в режиме прямого доступа к памяти (в регистре FLAGS, флаг DMA_ENA должен быть равен «1»).

6. РЕГИСТРЫ БЛОКА «TIME MARKS» (блок временных меток)

6.1. Буфер FIFO для хранения значения временных меток «ТМ»

| | |
|------------------------|--|
| Наименование: | <i>TM_FIFO</i> |
| Назначение: | Хранение значения 16-ти временных меток. |
| Разрядность: | 32 бит. |
| МЗР: | TM_FIFO.0 |
| Адрес (чтение): | - |
| Адрес (запись): | TM_VA+0 - TM_FIFO.0-7, TM_VA+1 - TM_FIFO.8-15, TM_VA+2 - M_FIFO.16-23, TM_VA+3 - TM_FIFO.24-31, |
| Режим доступа: | Доступен только для записи. |
| Начальн. сост.: | 00000000h |
| Примечание: | 1. При записи в TM_FIFO.8-23 информация на самом деле сначала записывается во внутренний временный регистр и только при записи в TM_FIFO.0-7 данные помещаются непосредственно в буфер FIFO. В связи с этим <u>необходимо помнить, что сначала нужно вести запись TM_FIFO.8-23 (в любом порядке) и только потом в TM_FIFO.0-7!!!</u> 2. Значение каждой последующей временной метки должно быть больше предыдущей. |

6.2. Регистр флагов состояния временных меток

| | |
|------------------------|---|
| Наименование: | <i>TM_FREG</i> |
| Назначение: | Хранение флагов состояния (сработала/не сработала) временных меток |
| Разрядность: | 16 бит. |
| МЗР: | TM_FREG.0 |
| Адрес (чтение): | TM_VA+4 - TM_FREG.0-7, TM_VA+5 - TM_FREG.8-15 |
| Адрес (запись): | - |
| Режим доступа: | Доступен только для чтения. |
| Начальн. сост.: | 0000h |
| Примечание: | «1» в TM_FREG.x означает что соответствующая временная метка TMx сработала (значение системного счетчика превысило значение временной метки), где x = 0,1,2,...,15. |

6.3. Регистр сброса флагов состояния временных меток

| | |
|------------------------|--|
| Наименование: | <i>TM_FCLRREG</i> |
| Назначение: | Обнуление состояния временных меток. |
| Разрядность: | 16 бит. |
| МЗР: | TM_FCLRREG.0 |
| Адрес (чтение): | TM_VA+6 - TM_FCLRREG.0-7, TM_VA+7 - TM_FCLRREG.8-15 |
| Адрес (запись): | TM_VA+6 - TM_FCLRREG.0-7, TM_VA+7 - TM_FCLRREG.8-15 |
| Режим доступа: | Доступен для чтения и записи. |
| Начальн. сост.: | 0000h |
| Примечание: | Для сброса флага о состоянии временной метки TMx в регистре TM_FREG.x необходимо записать «1» в соответствующий разряд TM_FCLRREG.x. |

7. РЕГИСТРЫ БЛОКА ОБРАБОТКИ КОМАНД – «СРВ» (command processing block)

7.1. Буфер FIFO для ввода кодов управления от микроконтроллера

Наименование: *СРВ_ВFMCU1*
Назначение: Хранение очереди команд от микроконтроллера. Максимальное кол-во команд – 32
Разрядность: 8 бит.
МЗР: СРВ_ВFMCU1.0
Адрес (чтение): –
Адрес (запись): СРВ_ВА+0
Режим доступа: Доступен только для записи.
Начальн. сост.: 00h
Примечание:

7.2. Буфер FIFO для передачи кодов управления микроконтроллеру

Наименование: *СРВ_ВFMCU2*
Назначение: Хранение очереди команд, передаваемых микроконтроллеру. Максимальное кол-во команд – 32.
Разрядность: 10 бит.
МЗР: СРВ_ВFMCU2.0
Адрес (чтение): СРВ_ВА+1 – СРВ_ВFMCU2.0-7 СРВ_ВА+2 – СРВ_ВFMCU2.8-9
Адрес (запись):
Режим доступа: Доступен только для чтения.
Начальн. сост.: 00h
 1. Обновление данных на выходе буфера FIFO происходит при чтении СРВ_ВFMCU2.0-7.
 2. СРВ_ВFMCU2.8-9 показывают код источника команды.

| Источник команд/ | Значение битов | |
|------------------------|----------------|--------------|
| | СРВ_ВFMCU2.9 | СРВ_ВFMCU2.8 |
| Декодер синхросигналов | 0 | 0 |
| Блок «DIN» | 0 | 1 |
| Микроконтроллер | 1 | 0 |
| Зарезервировано | 1 | 1 |

Примечание:

3. При чтении СРВ_ВFMCU2.8-9, полученный байт данных имеет следующую структуру.

| Номер бита | Значение битов |
|------------|---|
| 0 | Мл. разряд. кода – источника команды – СРВ_ВFMCU2.8 |
| 1 | Ст. разряд. кода – источника команды – СРВ_ВFMCU2.9 |
| 2 | Флаг опустошения СРВ_ВFMCU2 |
| 3 – 7 | Кол-во байтов находящихся в СРВ_ВFMCU2. (МЗР – 3) |

7.3. Регистр маски управляющих кодов

Наименование: *СРВ_МССREG*
Назначение: Хранение маски, необходимой для фильтрации потока команд, передаваемых микроконтроллеру
Разрядность: 8 бит.
МЗР: СРВ_МССREG.0
Адрес (чтение): СРВ_ВА+3
Адрес (запись): СРВ_ВА+3
Режим доступа: Доступен для чтения и записи.

Начальн. сост.: 00h

Примечание: Отфильтровываются все коды управления, значение которых меньше или равно значению, указанному в CPB_MSKREG

8. РЕГИСТРЫ БЛОКА – «ISA INTERFACE»

8.1. Буфер FIFO для хранения запросов с шины ISA

Наименование: **ISA2MCU_FIFO**

Назначение: Временное хранение запросов с шины ISA. Размерность FIFO 32байта

Разрядность: 8 бит.

МЗР: ISA2MCU_FIFO.0

Адрес (чтение): ISA_BA+0

Адрес (запись): -

Режим доступа: Доступен только для чтения.

Начальн. сост.: 00h

Примечание:

8.2. Буфер FIFO для передачи запросов на шину ISA

Наименование: **MCU2ISA_FIFO**

Назначение: Временное хранение запросов для шины ISA. Размерность FIFO 32байта

Разрядность: 8 бит.

МЗР: MCU2ISA_FIFO.0

Адрес (чтение): -

Адрес (запись): ISA_BA+0

Режим доступа: Доступен только для записи

Начальн. сост.: 00h

Примечание:

8.3. Регистр состояния буферов FIFO

Наименование: **STAT_REG**

Назначение: Временное хранение запросов для шины ISA. Размерность FIFO 32байта

Разрядность: 16 бит.

МЗР: STAT_REG.0

Адрес (чтение): ISA_BA+1 - STAT_REG.0-7, ISA_BA+2 - STAT_REG.8-15

Адрес (запись): -

Режим доступа: Доступен только для чтения

Начальн. сост.: 0202h

Примечание:

| Номер разряда STAT REG | Значение |
|------------------------|---|
| 0 | «1» в этом разряде означает, что буфер ISA2MCU_FIFO переполнено |
| 1 | «1» в этом разряде означает, что буфер ISA2MCU_FIFO пустое |
| 2 | «1» в этом разряде означает, что буфер MCU2ISA_FIFO переполнено |
| 3-7 | Кол-во байтов в ISA2MCU_FIFO. |
| 8 | «1» в этом разряде означает, что буфер MCU2ISA_FIFO переполнено |
| 9 | «1» в этом разряде означает, что буфер MCU2ISA_FIFO пустое |
| 10 | «1» в этом разряде означает, что буфер ISA2MCU_FIFO переполнено |
| 11-15 | Кол-во байтов в MCU2ISA_FIFO |

9. РЕГИСТРЫ БЛОКА – «ROM»

9.1. Регистр адреса ПЗУ

Наименование: *ROM_ADDRREG*
Назначение: Хранение адреса ПЗУ
Разрядность: 8 бит.
МЗР: ROM_ADDRREG.0
Адрес (чтение): –
Адрес (запись): ROM_BA+0
Режим доступа: Доступен только для записи
Начальн. сост.: 00h
Примечание:

9.2. Выходной регистр ПЗУ

Наименование: *ROM*
Назначение: Отображение информации, хранящейся в ячейке ПЗУ, адрес которой указывается в ROM_ADDRREG
Разрядность: 8 бит.
МЗР: ROM.0
Адрес (чтение): ROM_BA+0
Адрес (запись): –
Режим доступа: Доступен только для чтения
Начальн. сост.: 4Ch
Примечание:

10. РЕГИСТРЫ БЛОКА ДЕКОДИРОВАНИЯ СИНХРОСИГНАЛОВ

10.1. Регистр хранения адреса ЛМС

Наименование: *LMS_ADDRREG*
Назначение: Хранение адреса ЛМС используемого при подключении по ВОЛС.
Разрядность: 8 бит.
МЗР: LMS_ADDRREG.0
Адрес (чтение): LMS_BA+0
Адрес (запись): LMS_BA+0
Режим доступа: Доступен для чтения и записи
Начальн. сост.: 00h
Примечание:

11. РЕГИСТРЫ ФЛАГОВ

Регистр флагов – FLAGS

Наименование: *FLAGS*
Назначение: Хранение состояния различных флагов
Разрядность: 32 бит.
МЗР: FLAGS.0
Адрес (чтение): FL_BA+0 – FLAGS.0-7, FL_BA+1 – FLAGS.8-15,
FL_BA+2 – FLAGS.16-23, FL_BA+3 – FLAGS.24-31,
Адрес (запись): FL_BA+0 – FLAGS.0-7, FL_BA+1 – FLAGS.8-15,
FL_BA+2 – FLAGS.16-23,
Режим доступа: Доступен для чтения и записи
Начальн. сост.: 00000000h

Примечание :

Описание флагов :

| разряд в FLAGS | Название флага | Описание |
|-------------------|-------------------|--|
| 0 | CPB_IRQENA | Флаг разрешения/запрещения прерывания CPB_IRQ. «1» - разрешить, «0» - запретить. Доступен для чтения и записи |
| 1 | BFFULL_IRQENA | Флаг разрешения/запрещения прерывания BFFULL_IRQ. «1» - разрешить, «0» - запретить. Доступен для чтения и записи |
| 2 | BFEMPTY_IRQENA | Флаг разрешения/запрещения прерывания BFEMPTY_IRQ. «1» - разрешить, «0» - запретить. Доступен для чтения и записи |
| 3 | TM_IRQENA | Флаг разрешения/запрещения прерывания TM_IRQ. «1» - разрешить, «0» - запретить. Доступен для чтения и записи |
| 4 | CL_DIROUT_ENA | Флаг разрешения/запрещения прямого управления выводами «CLOCK0-7». «1» - разрешить, «0» - запретить. Доступен для чтения и записи |
| 5 | GT_DIROUT_ENA | Флаг разрешения/запрещения прямого управления выводами «GATE0-7». «1» - разрешить, «0» - запретить. Доступен для чтения и записи |
| 6 | TM_BLENA | Флаг разрешения/запрещения работы блока временных меток «TIME MARKS». «1» - разрешить, «0» - запретить. Доступен для чтения и записи |
| 7 | CPB_ENA | Флаг разрешения/запрещения работы блока обработки команд «CPB». «1» - разрешить, «0» - запретить. Доступен для чтения и записи |
| 8 | DI_BLENA | Флаг разрешения/запрещения работы блока «DIN» «1» - разрешить, «0» - запретить. Доступен для чтения и записи |
| 9 | TMR_CLKENA | Флаг разрешения/запрещения работы счетчика системного времени. «1» - разрешить, «0» - запретить. Доступен для чтения и записи |
| 10 | TMR_CLR | Флаг сброса счетчика системного времени «TMR_CNT». «1» - сбросить счетчик, «0» - неактивное состояние. Доступен для чтения и записи |
| 11 | M_ADCNT2CLR | Флаг сброса счетчика адреса внешней памяти «M_ADCNT2». «1» - сбросить счетчик, «0» - неактивное состояние. Доступен для чтения и записи |
| 12 | TM_FIFOCLR | Флаг очистки буферов FIFO «TM_FIFO». «1» - сбросить счетчик, «0» - неактивное состояние. Доступен для чтения и записи |
| 13 | CPB_FIFOCLR | Флаг очистки всех буферов FIFO блока «CPB». «1» - сбросить счетчик, «0» - неактивное состояние. Доступен для чтения и записи |
| 14 | ISA2MCU_BFCLR | Флаг очистки буфера FIFO блока «ISA2MCU_FIFO». «1» - сбросить счетчик, «0» - неактивное состояние. Доступен для чтения и записи |
| 15 | MCU2ISA_BFCLR | Флаг очистки буфера FIFO блока «MCU2ISA_FIFO». «1» - сбросить счетчик, «0» - неактивное состояние. Доступен для чтения и записи |
| 16 | CMDERR_CLR | Сброс флага ошибки CMDERR. «1» - сбросить счетчик, «0» - неактивное состояние. Доступен для чтения и записи |
| 17 | DMA_RQST | Флаг запроса на предоставление прямого доступа к внешней памяти. «1»-запросить доступ. «0» - неактивное состояние. Доступен для чтения и записи |

| | | |
|-------|-------------|---|
| 18 | TM_IRQ | Флаг, сигнализирующий о наличии активного прерывания от блока временных меток «TIME MARKS». Прерывание возникает при срабатывании любой из ременных меток. «1» - прерывание активно, «0» - неактивное состояние. Доступен только для чтения |
| 19 | BFFULL_IRQ | Флаг, сигнализирующий о наличии активного прерывания от блока «ISA INTERFACE». Прерывание возникает при переполнении буфера FIFO «MCU2ISA_FIFO». «1» - прерывание активно, «0» - неактивное состояние. Доступен только для чтения |
| 20 | BFEMPTY_IRQ | Флаг, сигнализирующий о наличии активного прерывания от блока «ISA INTERFACE». Прерывание возникает об опустошении буфера FIFO «ISA2MCU_FIFO». «1» - прерывание активно, «0» - неактивное состояние. Доступен только для чтения |
| 21 | CPB_IRQ | Флаг, сигнализирующий о наличии активного прерывания от «CPB». Прерывание возникает при аличии в уфере FIFO «CPB_BFMCU2», хотя бы одного байта. «1» - прерывание активно, «0» - неактивное состояние. Доступен только для чтения |
| 22 | TM_FIFOFULL | Флаг переполнения буфера FIFO «TM_FIFO». «1» - буфер переполнен, «0» - неактивное состояние |
| 23 | CPB_BFFULL | Флаг переполнения буфера FIFO «CPB_BFMCU1». «1» - буфер переполнен, «0» - неактивное состояние |
| 24 | CPB_BFEMPTY | Флаг опустошения буфера FIFO «CPB_BFMCU2». «1» - буфер пуст, «0» - неактивное состояние |
| 25 | CMDERR | |
| 26 | TMR_OVFL | |
| 27-31 | «0» | Резервные биты |

2.7.7. Описание структуры памяти базы событий (ОПБС)

Память событий имеет емкость 262144 ячеек, по 48 бит каждая. В памяти содержится история выполнения команд. В одной ячейке содержится информация об одной команде. На рис. 2.26 приведена структура хранящихся в одной ячейке данных.

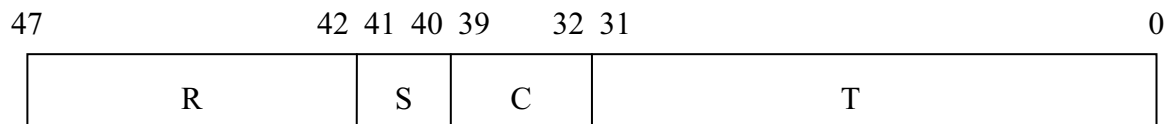


Рис. 2.22. Структура данных одной ячейки

1. В поле «Т» хранится мгновенное значение системного счетчика, полученного в момент выборки команды. Поле «Т» занимает с 0 по 31 разряды. Причем 0 является младшим значащим разрядом (МЗР).
2. В поле «С» хранится код выполненной команды. Поле С занимает с 32 по 39 разряды. МЗР–32.

3. Поле «S» указывает на источник команды:
 «00» – источником является блок декодирования синхросигналов;
 «01» – источником является блок DIN;
 «10» – источником является микроконтроллер;
 «11» – зарезервировано.

Поле «S» занимает 40 и 41 разряды. МЗР является 40.

4. Оставшиеся с 42 по 47 разряды (поле R) не используются и зарезервированы под будущие функциональные расширения.

Все события, возникающие в процессе эксперимента, сохраняются в оперативной памяти базы событий (ОПБС). Для их считывания модуль ЦПУ выдает запрос «Чтение слов ОПБС». Каждое слово состоит из 6 байт, за один запрос можно получить от одного до трех слов.

Формат слова в оперативной памяти базы событий представлен на рис. 3.6.7.

При формировании запроса указывается адрес первой записи для чтения из базы событий и количество читаемых записей (1,2 или 3). В оперативной памяти записи адресуются от 0 до 262144. Команды на чтение записей, выходящих за указанный диапазон, возвращает значения адресованные младшими 18-ю разрядами адресного поля.

| Время события | Код события | Поле контроля |
|---------------|-------------|---------------|
| 4 байта | 1 байт | 1 байт |

Рис. 2.26. Структура слова в ОПБС

Поле «Время события» сохраняет время от начала эксперимента в момент возникновения события.

Поле «Код события» сохраняет код запускающей команды или код асинхронного события.

«Поле контроля» младшие три разряда (0,1,2) зарезервированы. Источник сигнала события определяется кодом события (см. принципы кодирования команд)!

В старших 5-ти разрядах (3–7) сохраняется контрольное поле для 5-ти байт слова. Бит 3 сохраняет паритет 1-го байта, бит 4 – 2-го байта и т. д.

2.7.8. Алгоритм работы модуля ЛМС

Последовательность действий, выполняемых ЛМС в процессе работы в составе системы синхронизации, представлена в виде алгоритма на чертеже КТМ.03.001.16.РД.

В работе ЛМС можно выделить следующие режимы:

- 1) режим инициализации;
- 2) предпусковой режим;

- 3) пусковой режим (разбит на подрежимы);
- 4) послепусковой режим;
- 5) режим сервисного конфигурирования;
- 6) режим диагностирования.

В режиме инициализации осуществляется подготовка ЛМС к эксперименту путем записи управляющих и конфигурационных регистров. Все регистры распределены в едином адресном пространстве регистравого файла. Источником данных для конфигурации является процессорный модуль ПУиСД (ЦПУ), который использует два способа для доступа к регистравому файлу:

1. Запись данных через МПУ.

От ЦПУ через FIFO для записи контроллеру шины ISA передается кадр, в котором указываются адреса регистравого файла и значения параметров. После получения параметров МПУ осуществляет их запись в соответствующие регистры по локальной шине.

2. Запись данных через контроллер ISA.

ЦПУ устанавливает значение в регистре «адрес для записи» контроллера шины ISA. Затем в регистре «данные для записи» устанавливается значение параметра. После выдачи команды записи регистравого файла в «управляющий регистр команды» производится копирование данных по указанному адресу в регистравый файл.

После завершения инициализации выдается команда разрешения работы и осуществляется переход к предпусковому режиму.

В предпусковом режиме ЛМС ожидает получение запускающей команды «старт разряда» от ЦБС, после прихода которой начинается отсчет времени эксперимента и происходит разрешение работы всех подсистем ЛМС.

В пусковом режиме ЛМС обеспечивает синхронизацию работы ПУиСД с тактовыми сигналами и командами, поступающими от центрального блока синхронизации (ЦБС); регистрацию времени эксперимента и меток экспериментального времени для различных типов событий, происходящих в системе; осуществляет выдачу управляющих воздействий для внешних подсистем, а также ввод инициативных сигналов от оборудования токамака; формирование сигналов асинхронных событий и их передачу в ЦБС. Переход ЛМС к новому подрежиму осуществляется по коду запускающей команды, например, при достижении заданного уровня по технологическим или плазмофизическим параметрам разряда. Предусмотрена возможность изменения конфигурации работы ЛМС или изменение состояния выходов по достижении определенных временных меток. После получения от ЦБС запускающей команды «конец разряда» работа ЛМС в этом режиме заканчивается.

В послепусковом режиме осуществляется передача данных из оперативной памяти базы событий в процессорный модуль ПУиСД. Как и в режиме инициализации чтение возможно двумя способами по протоколу с помощью МПУ через FIFO или через регистры «адрес для чтения», «данные для чтения» и «управляющий регистр команды» контроллера шины ISA.

Выход из режима осуществляется по команде, выдаваемой по шине ISA ЦПУ. При этом возможен перевод ЛМС в режим инициализации или, если изменение параметров работы не требуется, в предпусковой режим.

В режиме сервисного конфигурирования осуществляется изменение содержимого ПЗУ программ микроконтроллера и ПЗУ конфигура-тора ПЛИС. При этом используется специализированное программное обеспечение и интерфейсные соединения ПУиСД.

В режиме диагностирования осуществляется проверка работоспособности оборудования, входящего в состав ЛМС с помощью тестового программного обеспечения, загружаемого в память МК, конфигура-тор ПЛИС и выполняемого на ПК. Для проведения тестов используются специальные интерфейсные кабели, осциллограф, генератор импульсов и частотомер.

2.7.9. Программное управление ЛМС

Программное управление работой ЛМС обеспечивает блок МПУ, в память которого в процессе работы модуля загружается: таблица векторов обработки событий – ТВОС и соответствующие векторам микропрограммы.

За каждым кодом события, поступающим на обработку в МПУ, закреплена микропрограмма обработки, располагающаяся в памяти микропрограмм МПУ. При поступлении события блок МПУ обращается в ТВОС для получения адреса точки входа в соответствующую микропрограмму. При этом код поступившего события указывает номер ячейки в ТВОС. МПУ, получив адрес, выполняет микропро-грамму обработки.

Для определения точки входа в микропрограмму используется таблица векторов обработки событий – ТВОС. Таблица состоит из 256 ячеек, размер ячейки составляет 2 байта. Адрес ячейки соответствует коду события. Запись в ТВОС осуществляется в соответствии с протоколом взаимодействия ЦПУ – ЛМС (см. описание в пункте). Структура ТВОС приведена на рис. 2.27.

- 2) микрокоманды записи данных в регистровый файл;
- 3) микрокоманды битовых операций;
- 4) микрокоманды сброса;
- 5) микрокоманда окончания микропрограммы.

Микрокоманды управления

Особенностью микрокоманд этого типа является то, что в результате их выполнения на шину событий (см. описание функциональной схемы ЛМС) выдается код, управляющий работой внутренних блоков ЛМС, таких как CLOCK, GATE, Dout и блока управления счетчиком времени эксперимента. Коды, генерируемые в результате выполнения этих микрокоманд, определяются пользователем (а точнее, назначаются в соответствии с текущими настройками регистрового файла) при настройке ЛМС. Список микрокоманд управления приведен в табл. 2.4.

Таблица 2.4

Микрокоманды управления

| № | Название микрокоманды | Символьное обозначение | Примечание |
|----|-------------------------------|------------------------|------------|
| 1 | Разрешить счет канала CLOCK0 | ST_CL0 | |
| 2 | Разрешить счет канала CLOCK1 | ST_CL1 | |
| 3 | Разрешить счет канала CLOCK2 | ST_CL2 | |
| 4 | Разрешить счет канала CLOCK3 | ST_CL3 | |
| 5 | Разрешить счет канала CLOCK4 | ST_CL4 | |
| 6 | Разрешить счет канала CLOCK5 | ST_CL5 | |
| 7 | Разрешить счет канала CLOCK6 | ST_CL6 | |
| 8 | Разрешить счет канала CLOCK7 | ST_CL7 | |
| 9 | Остановить счет канала CLOCK0 | SP_CL0 | |
| 10 | Остановить счет канала CLOCK1 | SP_CL1 | |
| 11 | Остановить счет канала CLOCK2 | SP_CL2 | |
| 12 | Остановить счет канала CLOCK3 | SP_CL3 | |
| 13 | Остановить счет канала CLOCK4 | SP_CL4 | |
| 14 | Остановить счет канала CLOCK5 | SP_CL5 | |
| 15 | Остановить счет канала CLOCK6 | SP_CL6 | |
| 16 | Остановить счет канала CLOCK7 | SP_CL7 | |
| 17 | Перезагрузка канала CLOCK0 | RL_CL0 | |
| 18 | Перезагрузка канала CLOCK1 | RL_CL1 | |
| 19 | Перезагрузка канала CLOCK2 | RL_CL2 | |
| 20 | Перезагрузка канала CLOCK3 | RL_CL3 | |
| 21 | Перезагрузка канала CLOCK4 | RL_CL4 | |
| 22 | Перезагрузка канала CLOCK5 | RL_CL5 | |
| 23 | Перезагрузка канала CLOCK6 | RL_CL6 | |
| 24 | Перезагрузка канала CLOCK7 | RL_CL7 | |

Продолжение табл. 2.4

| № | Название микрокоманды | Символьное обозначение | Примечание |
|----|--------------------------------------|------------------------|------------|
| 25 | Рестарт канала CLOCK0 | RS_CL0 | |
| 26 | Рестарт канала CLOCK1 | RS_CL1 | |
| 27 | Рестарт канала CLOCK2 | RS_CL2 | |
| 28 | Рестарт канала CLOCK3 | RS_CL3 | |
| 29 | Рестарт канала CLOCK4 | RS_CL4 | |
| 30 | Рестарт канала CLOCK5 | RS_CL5 | |
| 31 | Рестарт канала CLOCK6 | RS_CL6 | |
| 32 | Рестарт канала CLOCK7 | RS_CL7 | |
| 33 | Разрешить счет группы каналов CLOCK | ST_GCL | |
| 34 | Остановить счет группы каналов CLOCK | SP_GCL | |
| 35 | Перезагрузка группы каналов CLOCK | RL_GCL | |
| 36 | Рестарт группы каналов CLOCK | RS_GCL | |
| 37 | Разрешить счет канала GATE0 | ST_GT0 | |
| 38 | Разрешить счет канала GATE1 | ST_GT1 | |
| 39 | Разрешить счет канала GATE2 | ST_GT2 | |
| 40 | Разрешить счет канала GATE3 | ST_GT3 | |
| 41 | Разрешить счет канала GATE4 | ST_GT4 | |
| 42 | Разрешить счет канала GATE5 | ST_GT5 | |
| 43 | Разрешить счет канала GATE6 | ST_GT6 | |
| 44 | Разрешить счет канала GATE7 | ST_GT7 | |
| 45 | Остановить счет канала GATE0 | SP_GT0 | |
| 46 | Остановить счет канала GATE1 | SP_GT1 | |
| 47 | Остановить счет канала GATE2 | SP_GT2 | |
| 48 | Остановить счет канала GATE3 | SP_GT3 | |
| 49 | Остановить счет канала GATE4 | SP_GT4 | |
| 50 | Остановить счет канала GATE5 | SP_GT5 | |
| 51 | Остановить счет канала GATE6 | SP_GT6 | |
| 52 | Остановить счет канала GATE7 | SP_GT7 | |
| 53 | Рестарт канала GATE0 | RS_GT0 | |
| 54 | Рестарт канала GATE1 | RS_GT1 | |
| 55 | Рестарт канала GATE2 | RS_GT2 | |
| 56 | Рестарт канала GATE3 | RS_GT3 | |
| 57 | Рестарт канала GATE4 | RS_GT4 | |
| 58 | Рестарт канала GATE5 | RS_GT5 | |
| 59 | Рестарт канала GATE6 | RS_GT6 | |
| 60 | Рестарт канала GATE7 | RS_GT7 | |
| 61 | Разрешить счет группы каналов GATE | ST_GGT | |
| 62 | Остановить счет группы каналов GATE | SP_GGT | |
| 63 | Рестарт группы каналов GATE | RS_GGT | |

Окончание табл. 2.4

| № | Название микрокоманды | Символьное обозначение | Примечание |
|-----|---|------------------------|------------|
| 64 | Установить активный уровень канала DOUT0 | SET_DO0 | |
| 65 | Установить активный уровень канала DOUT1 | SET_DO1 | |
| 66 | Установить активный уровень канала DOUT2 | SET_DO2 | |
| 67 | Установить активный уровень канала DOUT3 | SET_DO3 | |
| 68 | Установить активный уровень канала DOUT4 | SET_DO4 | |
| 69 | Установить активный уровень канала DOUT5 | SET_DO5 | |
| 70 | Установить активный уровень канала DOUT6 | SET_DO6 | |
| 71 | Установить активный уровень канала DOUT7 | SET_DO7 | |
| 72 | Установить активный уровень канала DOUT8 | SET_DO8 | |
| 73 | Установить активный уровень канала DOUT9 | SET_DO9 | |
| 74 | Установить активный уровень канала DOUT10 | SET_DO10 | |
| 75 | Установить активный уровень канала DOUT11 | SET_DO11 | |
| 76 | Установить активный уровень канала DOUT12 | SET_DO12 | |
| 77 | Установить активный уровень канала DOUT13 | SET_DO13 | |
| 78 | Установить активный уровень канала DOUT14 | SET_DO14 | |
| 79 | Установить активный уровень канала DOUT15 | SET_DO15 | |
| 80 | Снять активный уровень канала DOUT0 | CLR_DO0 | |
| 81 | Снять активный уровень канала DOUT1 | CLR_DO1 | |
| 82 | Снять активный уровень канала DOUT2 | CLR_DO2 | |
| 83 | Снять активный уровень канала DOUT3 | CLR_DO3 | |
| 84 | Снять активный уровень канала DOUT4 | CLR_DO4 | |
| 85 | Снять активный уровень канала DOUT5 | CLR_DO5 | |
| 86 | Снять активный уровень канала DOUT6 | CLR_DO6 | |
| 87 | Снять активный уровень канала DOUT7 | CLR_DO7 | |
| 88 | Снять активный уровень канала DOUT8 | CLR_DO8 | |
| 89 | Снять активный уровень канала DOUT9 | CLR_DO9 | |
| 90 | Снять активный уровень канала DOUT10 | CLR_DO10 | |
| 91 | Снять активный уровень канала DOUT11 | CLR_DO11 | |
| 92 | Снять активный уровень канала DOUT12 | CLR_DO12 | |
| 93 | Снять активный уровень канала DOUT13 | CLR_DO13 | |
| 94 | Снять активный уровень канала DOUT14 | CLR_DO14 | |
| 95 | Снять активный уровень канала DOUT15 | CLR_DO15 | |
| 96 | Установить активный уровень группы каналов DOUT | SET_GDO | |
| 97 | Снять активный уровень группы каналов DOUT | CLR_GDO | |
| 98 | Старт счетчика экспериментального времени | ST_TCNT | |
| 99 | Стоп счетчика экспериментального времени | SP_TCNT | |
| 100 | Сброс счетчика системного времени | CLR_TCNT | |
| 101 | Сформировать асинхронный сигнал | GEN_AS | |

Формат микрокоманд управления при их размещении в памяти МК приведен на рис. 2.29.

| Поле | Значение поля |
|---------------------------|--------------------|
| Поле COP (1 байт) | 1Fh |
| Поле DATA (1 байт) | Код события |

Рис. 2.29. Формат микрокоманды управления

Поле COP содержит код микрокоманды управления – 1Fh. Поле DATA содержит код события.

Микрокоманды записи данных в регистровый файл

Микрокоманды данного типа позволяют осуществить запись данных в регистровый файл (РФ). Символьные обозначения микрокоманд приведены в табл. 2.5.

Таблица 2.5

Микрокоманды записи в данных регистровый файл

| № | Название микрокоманды | Символьное обозначение | Числовой Код операции | Примечание |
|---|---------------------------------|------------------------|-----------------------|---|
| 1 | Загрузить байт данных в РФ | LDBRF | 21h | Команда имеет аргументы: Адрес ячейки РФ – два байта (0-3FFFh); Данные – 1 байт |
| 2 | Загрузить два байта данных в РФ | LDWRF | 22h | Команда имеет аргументы: Адрес ячейки РФ – 2 байта (0-3FFFh); Данные – 2 байт |

Структура регистрового файла приведена в [2]. Формат микрокоманды показан на рис. 2.30.

| Поле | Значение поля |
|-------------------------|--------------------------------------|
| COP (1 байт) | Код операции |
| ADL (1 байт) | Младший байт адреса ячейки РФ |
| ADH (1 байт) | Старший байт адреса ячейки РФ |
| DATA (1–2 байта) | Данные |

Рис. 2.30. Формат микрокоманды записи данных в регистровый файл

Микрокоманды битовых операций

Микрокоманды этого типа позволяют устанавливать или сбрасывать отдельные биты в ячейках регистрового файла. Символьные обозначения микрокоманд приведены в табл. 2.6.

Таблица 2.6

Микрокоманды битовых операций

| № | Название микрокоманды | Символьное обозначение | Числовой Код операции | Примечание |
|---|-----------------------|------------------------|-----------------------|---|
| 1 | Установить бит | SETB | 31h | Команды имеют аргументы: Адрес ячейки РФ – два байта (0-3FFFh); Номер бита – 1 байт |
| 2 | Сбросить бит | CLRB | 30h | |
| 3 | Инвертировать бит | INVB | 32h | |

Формат микрокоманд этого типа, при их размещении в памяти МК, приведен на рис. 2.31.

| Поле | Значение поля |
|---------------------|--------------------------------------|
| COP (1 байт) | Код операции |
| ADL (1 байт) | Младший байт адреса ячейки РФ |
| ADH (1 байт) | Старший байт адреса ячейки РФ |
| DTA (1 байт) | Номер бита |

*Рис. 2.31. Формат микрокоманд битовых операций***Микрокоманды сброса**

Микрокоманды этого типа осуществляют сброс (очистку) регистрового файла и оперативной базы событий. Символьные обозначение микрокоманд приведены в табл. 2.7.

Таблица 2.7

Микрокоманды сброса

| № | Название микрокоманды | Символьное обозначение | Числовой Код операции | Примечание |
|---|---------------------------------------|------------------------|-----------------------|------------------------------|
| 1 | Сброс регистрового файла | CLRRF | 40h | Команды не имеют аргументов: |
| 2 | Сброс оперативной памяти базы событий | CLREM | 41h | |

Формат микрокоманд сброса приведен на рис. 2.32.

| Поле | Значение поля |
|---------------------|---------------------|
| COP (1 байт) | Код операции |

*Рис. 2.32. Формат микрокоманд сброса***Микрокоманда окончания микропрограммы**

Данная микрокоманда обозначает окончание микропрограммы в памяти МК. Все микропрограммы в памяти микроконтроллера должны

оканчиваться этой микрокомандой. Символьное обозначение микрокоманды приведено в табл. 2.8.

Таблица 2.8

Микрокоманд окончание микропрограммы

| № | Название микрокоманды | Символьное обозначение | Числовой Код операции | Примечание |
|---|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------------|
| 1 | Конец микропрограммы | ENDM | 00h | Команда не имеют аргументов: |

Формат микрокоманды приведена на рис. 2.33.

| Поле | Значение поля |
|---------------------|---------------|
| COP (1 байт) | 00h |

Рис. 2.33. Формат микрокоманды окончания микропрограммы

2.8. Синхронизация с питающей сетью

Одной из основных систем токамака является система питания обмоток электромагнитной системы, построенная на основе управляемых тиристорных выпрямителей. Для реализации синхронной схемы управления тиристорными преобразователями необходим блок синхронизации с питающей сетью, т. к. при управлении выходным напряжением следует отслеживать точки естественной коммутации тиристоров. Большое количество выпрямительных блоков делает нецелесообразным создание схемы синхронизации для каждого из них, поэтому наиболее экономичным вариантом является создание одного блока синхронизации с питающей сетью. При этом детектируемый блоком синхронизации момент перехода фазного напряжения через «0» представляет собой событие, код которого передается в центральный блок синхронизации для последующей рассылки во все системы цифрового управления источниками питания. Кроме того, централизованная схема синхронизации с сетью системы электропитания при условии обеспечения так называемого «глубокого ввода» сигнала от сети 220 кВ является основным принципом достижения устойчивой работы преобразовательного комплекса КТМ такой мощности и сложности.

Принципиальная схема одноканальной системы синхронизации приведена на рис. 2.34. На схеме напряжение фазы А понижается трансформатором напряжения Т1 и подаётся на компаратор AD1, выполненный на основе микросхемы Т2117 (производство фирмы Atmel) – микросхема детектора перехода фазы через ноль. При переходе фазного напряжения через ноль компаратор формирует импульс напряжения, который подаётся на схему управления, кодируется и передается в ЦБС.

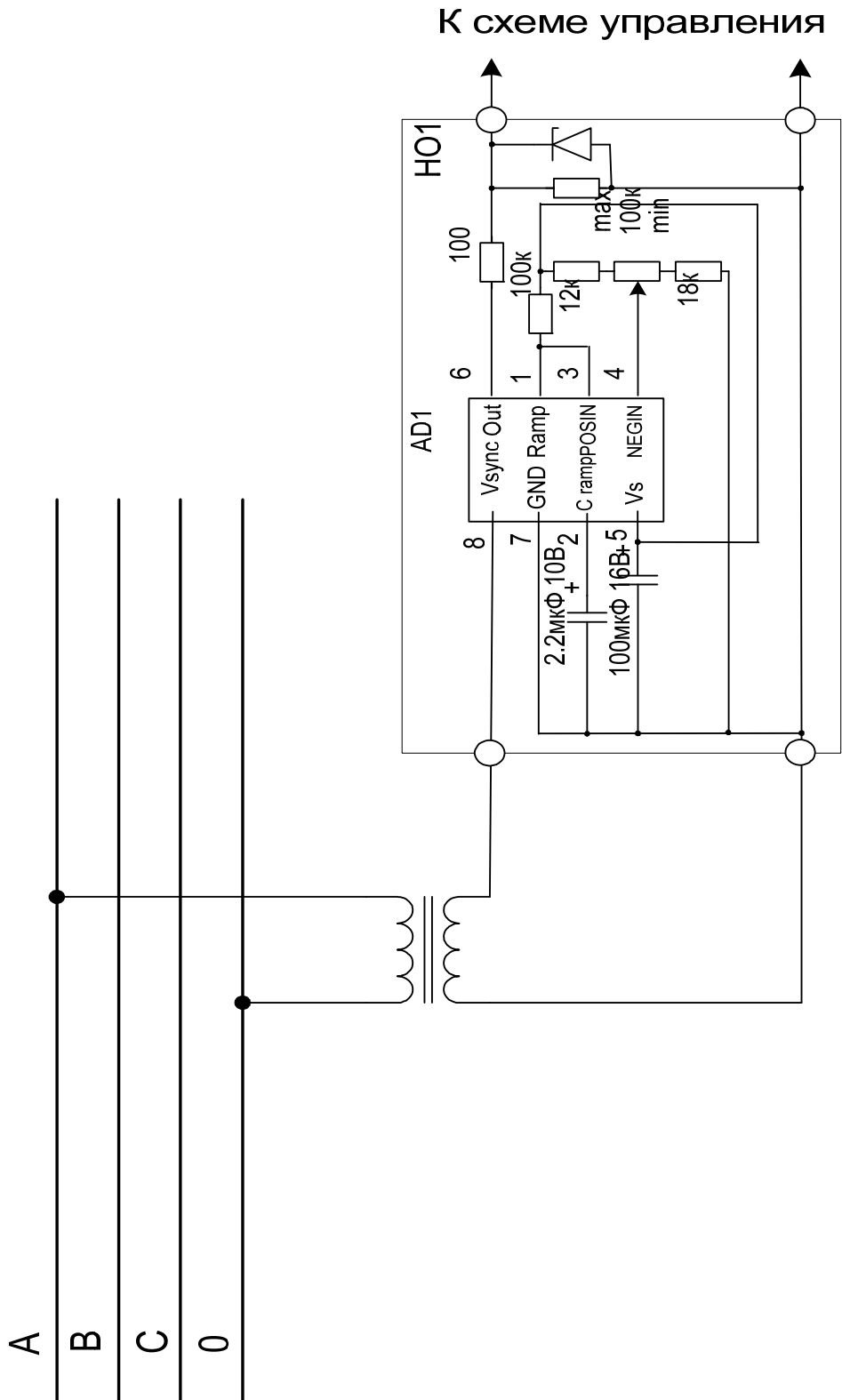


Рис. 2.34. Принципиальная схема блока детектора нуля

При необходимости более точной синхронизации преобразователя возможно контролировать с помощью подобной схемы также фазы В и С,

подавать три импульса за период сетевого напряжения на схему управления и соответственно формировать три кода событий при переходе каждого фазного напряжения через «0».

Важно отметить, что схема синхронизации СЭП с питающей сетью для транспортировки кодов синхронизации к контроллерам источников питания предполагает использование оптических каналов и блоков (центрального блока синхронизации (ЦБС) и модулей локальной синхронизации (ЛМС)) основной системы синхронизации токамака КТМ.

Такое решение должно дать и экономический выигрыш, и обеспечить надежную синхронную работу всего преобразовательного комплекса токамака в каждой из фаз плазменного разряда. Структурная схема синхронизации системы электропитания токамака КТМ с сетью, поясняющая принятые технические решения, приведена на чертеже КТМ.03.001.010.ТП.

3. СТРУКТУРА КОМПЛЕКСА ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ СИСТЕМЫ ПРОТИВОАВАРИЙНОЙ ЗАЩИТЫ И СИНХРОНИЗАЦИИ

Комплекс технических средств системы противоаварийной защиты и синхронизации состоит из двух уровней. На рис. 3.1 показана структура комплекса технических средств. На втором уровне находится блок противоаварийной защиты и центральный блок синхронизации (ЦБС), технически выполненные в едином конструктиве в виде стойки системы противоаварийной защиты и системы синхронизации. Размещение этих систем в одной стойке обусловлено функциональной связью ЦБС и блок противоаварийной защиты. ЦБС осуществляет формирование опорной частоты и кодов команд, инициирующих выполнение подсистемами управления операций, связанных с фазами эксперимента, и временных меток, а блок противоаварийной защиты формирует команды для реализации защитных действий, передаваемые с использованием сети передачи синхросигналов. Использование одноплатного промышленного компьютера и контроллеров на базе VME крейта позволяет повысить надежность и быстродействие системы. На одноплатную ЭВМ EP1A Radstone Techn устанавливаются два 4-х портовых РМС мезонина высокоскоростного последовательного ввода/вывода реализующие каналы передачи асинхронных событийных сигналов. Для расширения числа каналов последовательного ввода/вывода в крейт дополнительно устанавливается несущий модуль.

POCC1 Radstone Techn с возможностью установки еще двух РМС устройств.

На данный уровень возлагается выполнение основных функций:

- контроль основных технологических параметров и выработка управляющих воздействий для реализации защитных действий;
- контроль исправности технических средств подсистем управления и диагностических подсистем;
- формирование тактовой частоты, кодов запускающих команд;
- рассылка по оптоволоконным кабелям одинаковой длины синхросигналов в подсистемы управления и диагностики.

Таблица 2.9

Заказная спецификация на устройства СПЗ и СС

| № | Обозначение | Модель, производитель, поставщик | Описание |
|---|---|---|--|
| 1 | Модуль формирователь синхросигнала | изготовление под заказ | Формирование и распределение в подсистемы временных меток и синхронных кодов команд запуска в соответствии со сценарием разряда. |
| 2 | Одноплатная ЭВМ | EP1A Radstone Techn (PTCoфт) | PowerPC MPC 8240 400MHz, 64Mb SDRAM, 2PMC sites, Ethernet 100BT, |
| 3 | Несущий модуль для РМС устройств | P0CC1 Radstone Techn (PTCoфт) | 2PMC sites |
| 4 | Модули высокоскоростного последовательного ввода/вывода | PMCQ1 Radstone Techn (PTCoфт) | 4 x SCC MPC68360 Synchronous / Asynchronous 4Mbaud RS232 / RS422 / RS485 (Software Selectable) |
| 5 | Оптический разветвитель | S&T Coupler (Fiber Opt NetWork Tech Inc) | Star and Tree Coupler (1:16) |
| 6 | Оптический кабель, коннекторы, монтажное оборудование | Moritex Inc, Delton Inc, Delphy Tech Inc. | Plastic Optic Fiber, ST коннекторы, конвертеры, многоканальные оптические преобразователи. |
| 7 | VME крейт | Schroff (Prosoft) | Отсек для плат 6U, горизонтальный монтаж, 7 слотов, 230V/300W источник питания, установка в 19" стойку |

Окончание табл. 2.9

| № | Обозначение | Модель, производитель, поставщик | Описание |
|----|--------------------------------------|----------------------------------|--|
| 8 | Локальный модуль синхронизации (VME) | изготовление под заказ | VME 6U, 8 каналов ввода асинхронных событийных сигналов, 8 каналов вывода таймирующих сигналов, 1 вход от оптического разветвителя S&T Coupler, 1 выход для передачи асинхронных сигналов в СПЗ |
| 9 | Локальный модуль синхронизации (ISA) | изготовление под заказ | Встроенное исполнение, 8 каналов ввода асинхронных событийных сигналов, 8 каналов вывода таймирующих сигналов, 1 вход от оптического разветвителя S&T Coupler, 1 выход для передачи асинхронных сигналов в САЗ |
| 10 | Стойка | Стек | Стойка 600x400x2200 45U, наполненное исполнение, секционированный, панель электропитания 8x220В, вентиляторная платформа, стеклянная дверь |

Примечание. На этапе макетирования может быть проведен анализ возможности замены модулей, указанных в позициях 4 и 5 на модуль ComEth 3229 (Interface Concept), который представляет собой 16-портовый коммутатор 10/100 Ethernet.

Первый уровень представляет собой технологические системы управления, исполняющие локальные для подсистемы защитные действия. Информация о текущем состоянии подсистемы передается в СПЗ по каналам последовательного ввода/вывода в виде сигналов асинхронных событий. При передаче сигналов асинхронных событий используется помехозащищенное кодирование. В состав подсистем управления и диагностики включены локальные модули синхронизации, выполняющие прием временных меток и команд от центрального блока синхронизации. Связь стойки противоаварийной защиты и синхронизации с устройствами первого уровня осуществляется через каналы цифровой связи путем использования оптоволоконного кабеля и оптических разветвителей сигналов. Связи между СПЗ и подсистемами управления второго уровня СУТП дублируются через каналы Ethernet. По каналам информационной связи от стойки СПЗ и СС со строго заданным периодом времени во все подсистемы управления и диагностики передаются команды (может быть пустой) и метки времени, отсутствие которых диагностируется как отказ СПЗ и СС. В этом случае установка должна быть немедленно переведена в безопасное состояние средствами управления СУТП, при этом последующий запуск КТМ блокируется до восстановления работоспособности СПЗ и СС.

Чертеж общего вида стойки системы противоаварийной защиты и синхронизации

УМЕ-крейт устанавливается в секционированный шкаф в помещении СУТП. На рис. 3.2 представлен компоновочный чертеж стойки системы противоаварийной защиты и системы синхронизации. Шкаф с размерами основания 600×400 мм и высотой 2200 мм позволяет совмещать в себе пассивные кроссовые емкости и малогабаритное активное оборудование. На полках переднего крепления 19" с глубиной 200 мм устанавливается сетевое оборудование: оптический разветвитель и кабельный организатор. Оборудование с нестандартным креплением устанавливается с помощью монтажных пластин и DIN-реек. Все детали шкафа соединены по схеме «звезда» с общей шиной заземления. Для создания локального режима охлаждения и дополнительного потока воздуха предусмотрена вентиляторная платформа, используемые вентиляторы соответствуют стандарту ОСТ В160.539.089–81. Дополнительно для организации питания в состав стойки входит источник бесперебойно питания. Также в стойке размещается коммутатор сети Ethernet на 12 каналов, предназна-

ченный для подключения диагностических подсистем нижнего уровня ИИС в сеть САЭ КТМ.

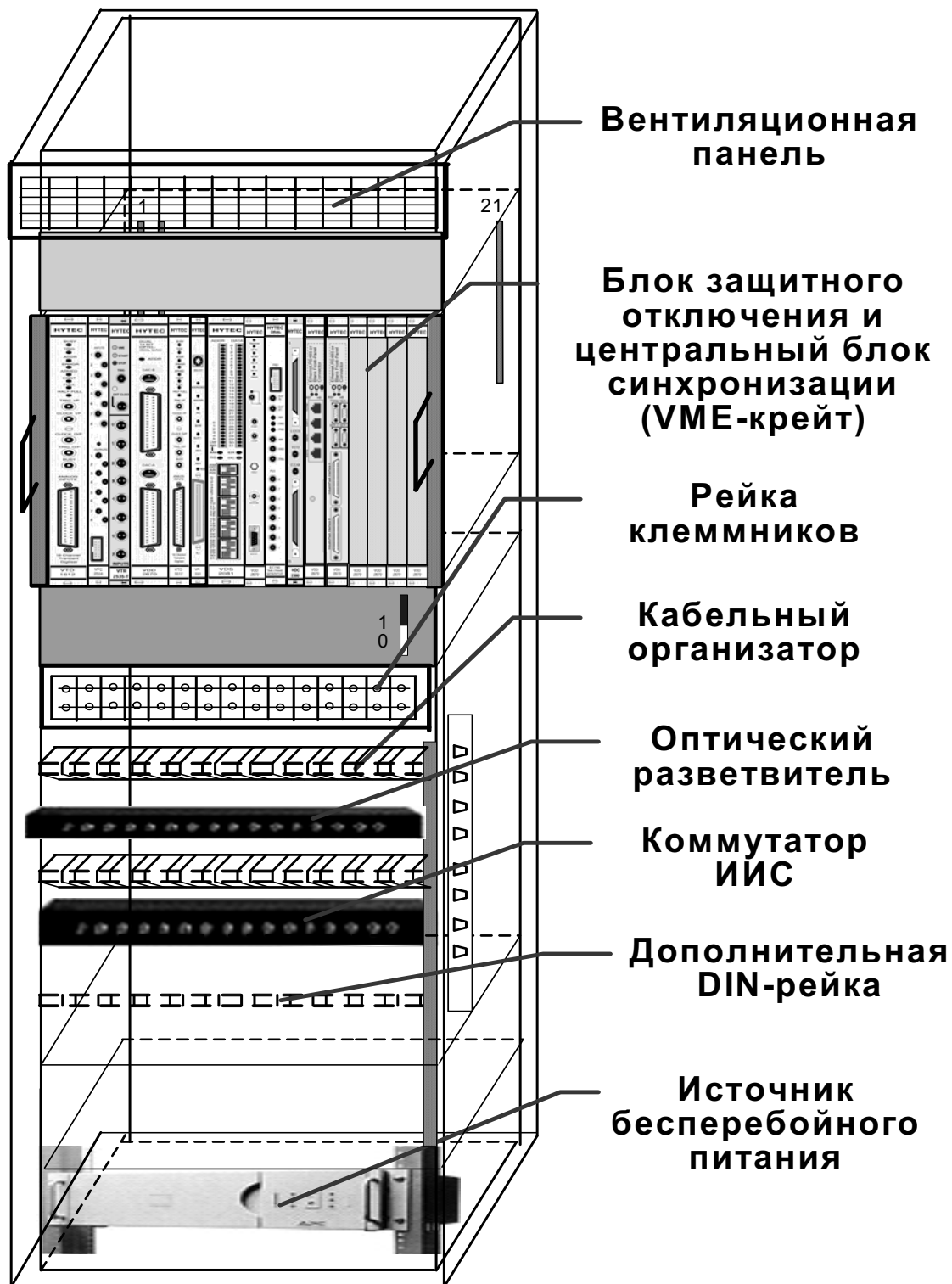


Рис. 2.36. Стойка противоаварийной защиты и синхронизации

Проектные характеристики системы противоаварийной защиты и синхронизации

Таблица 2.10

Характеристики системы СПЗ и СС

| Система противоаварийной защиты | |
|---|--|
| Количество каналов защитного отключения, шт. | 64 |
| Время реакции на сигналы аварийных событий, мкс | < 20 |
| Количество каналов сигнализации, шт. | 1360 |
| Количество каналов аварийного контроля, шт. | 1360 |
| Форма представления информации об аварийных (предаварийных) состояниях | многоуровневая мнемосхема, звуковые сигналы |
| Способ передачи команд защитного отключения | последовательный синхронный цифровой интерфейс с использованием сети передачи синхросигналов |
| Скорость передачи команд защитного отключения, Мб/с | 5 |
| Система синхронизации | |
| Количество уровней синхронизации, шт. | 2 |
| Количество каналов временной синхронизации, шт. | 192 |
| Погрешность временной синхронизации, нс | < 100 |
| Количество каналов событийной синхронизации, шт. | 48 |
| Погрешность событийной синхронизации, мкс | < 10 |
| Количество каналов ввода событийных сигналов, шт. | синхронных – 128, асинхронных – 128 |
| Скорость передачи кодов событийной синхронизации, Мб/с | 5 |
| Общие характеристики | |
| Среда передачи аварийных сообщений, команд защиты и сигналов синхронизации | оптический кабель |
| Метод кодирования сигналов событийной синхронизации и аварийных сообщений | Дифференциальный манчестерский код |
| Наработка на отказ компонентов системы аварийной защиты и системы синхронизации (технических и программных средств) | > 2*10 ⁵ часов. |
| Конструктивное исполнение / габариты, мм | VME-крейт, стойка 19"/ 2000×600×400 |
| Мощность электропитания, кВт | 1 |

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Матусевич Е.С. и др. Системы управления и защиты критических стенов. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 96 с.
2. Клемин А.И., Сметанников В.П., Шиверский Е.А. К вопросу оценки показателей надежности энергетической установки с реактором токамак. Т. 1: Доклады II Всесоюзной конференции по инженерным проблемам термоядерных реакторов. – Ленинград, 1982. – С. 196–201.
3. Аносов В.Н., Круг Х. Аларм-подсистема Автоматизированной системы управления сильноточным фазотроном (установкой «Ф») / Сообщ. Объед. Ин-та ядерных исследований. – Дубна, 1982.
4. Георгиевский А.В., Корявко В.Н., Литвиненко Ю.А. и др. Методика и результаты тензометрирования в сильных магнитных полях торсатрона «Ураган-3». Т. 2: Доклады III Всесоюзной конференции по инженерным проблемам термоядерных реакторов. – Ленинград, 1984. – С. 85–92.
5. Ваулина И.Г. и др. Исследование напряженно-деформированного состояния и оптимизация конструкции электромагнитной системы установки Т-15. В сб. статей «Электрофизическая аппаратура» НИИЭФА им. Д.В. Ефремова. Вып. 20. – М.: Атомиздат, 1982. – С. 73–80.
6. Сивкова Г.Н. и др. К определению напряженно-деформированного состояния электромагнитной системы установки Т-15. В сб. статей «Электрофизическая аппаратура» НИИЭФА им. Д.В. Ефремова. Вып. 20. – М.: Атомиздат, 1982. – С. 36–42.
7. Сивкова Г.Н., Спирченко Ю.В. Исследование напряженно-деформированного состояния токнесущего элемента обмотки тороидального поля установки Т-15. Доклады II Всесоюзной конференции по инженерным проблемам термоядерных реакторов. – Ленинград, 1982. – Т. 2. – С. 223–229.
8. Бортовой В.В., Коломин В.Д. и др. Исследование напряженно-деформированного состояния катушек тороидального поля электромагнитных систем установок типа токамак. Доклады II Всесоюзной конференции по инженерным проблемам термоядерных реакторов. – Ленинград, 1982. – Т. 2. – С. 265–274.
9. Елисеев В.В., Каратаев А.Т., Спирченко Ю.В. Температурные напряжения в сверхпроводящей электромагнитной системе токамака. – М.: ЦНИИ информ. и техн.-экон. исслед. по атом. науке и технике, 1989. – 22 с.
10. Карнаух В.А. и др. Результаты экспериментального исследования напряженно-деформированного состояния силового каркаса блока обмотки тороидального поля установки токамак-10. В сб. статей «Электрофи-

- зическая аппаратура» НИИЭФА им. Д.В. Ефремова. Вып. 17. – М.: Атомиздат, 1979. – С. 100–103.
11. Герасимов В.П., Зайцев А.Е., Саморуков А.В., Скосарев В.А. Многоканальная микропроцессорная система сбора информации для радиационного анализа материалов первой стенки камеры термоядерной установки. Т. 3: Доклады III Всесоюзной конференции по инженерным проблемам термоядерных реакторов. – Ленинград, 1984. – С. 439–446.
 12. Басов Н.Г. Диагностика плотной плазмы. – М., 1989.
 13. Бейтман Г. МГД-неустойчивость. – М.: Энергоиздат, 1982.
 14. Поведение жесткого рентгеновского излучения при срыве плазмы токамака ТВД // Физика плазмы, Том 28, № 7, 2000 г.
 15. Арцимович Л.А. Элементарная физика плазмы. – М.: Атомиздат, 1969. – С. 84–92.
 16. Ораевских В.Н. Плазма на земле и в космосе. – Киев: Наукова думка, 1974. – С. 110–111.
 17. Краткий справочник инженера-физика. Ядерная физика. Атомная физика / составитель Федоров Н.Д. – М.: Госатомиздат, 1961. – С. 228.
 18. Подгорный И.М. Лекции по диагностике плазмы. – М.: Атомиздат, 1968.
 19. Параил В.В., Погуце О.П. Ускоренные электроны в токамаке. В сборнике «Вопросы теории плазмы». Вып. 11 / под редакцией академиков Леонтовича М.А. и Кадомцева Б.Б. – М.: Атомиздат, 1969.
 20. Hard x-ray production from high intensity laser solid interactions (invited) M.D. Perry, J.A. Sefcik, T. Cowan, S. Hatchett, A. Hunt, M. Moran, D. Pennington, R. Snavely, and S.C. Wilks. – P. 265–269. 1999, V. 70, № 1, Jan
 21. Elemental analysis using hard x-ray emission from a laser-produced plasma, induced by a femtosecond laser pulse N. Takeyasu, Y. Hirakawa, and T. Imasaka pp. 3940–3942 2001, V 72, N 10, October.
 22. Plasma diagnostics for x-ray driven foils at Z R.F. Heeter, J.E. Bailey, M.E. Cuneo, J. Emig, M.E. Foord, P.T. Springer, and R.S. Thoe. – P. 1224–1227 2001, V. 72, № 1, January.
 23. Jonatan B. Lister, Ferdinand Hofmann, Jean-Mark Moret, Felix Buhlmann, Michael J. Dutch, Damien Fasel, Alain Farve, Pierre-Francois Isox, Blaise Marletaz, Philippe Mamillod, Yves Marti, Albert Perez, David J. Ward. The control of tokamak configuration variable plasmas. Fusion Technology vol. 32 Nov. 1997.
 24. R.J. Marsala, J.E. Lowson Coil protection calculator for TFTR. // Fusion technology 1988, 1528–1532.
 25. Ваганов А.К., Васильев В.С., Герасимов В.П. Принципы построения систем синхронизации термоядерной установки типа токамак. Т. 3: Доклады II Всесоюзной конференции по инженерным проблемам термоядерных реакторов. – Ленинград, 1982. – С. 398–403.
 26. Герасимов В.П., Гордин В.И., Грачев В.Ф. Организация синхронизации систем питания инжекторов установки Т-15. Т.3: Доклады III Всесоюзной

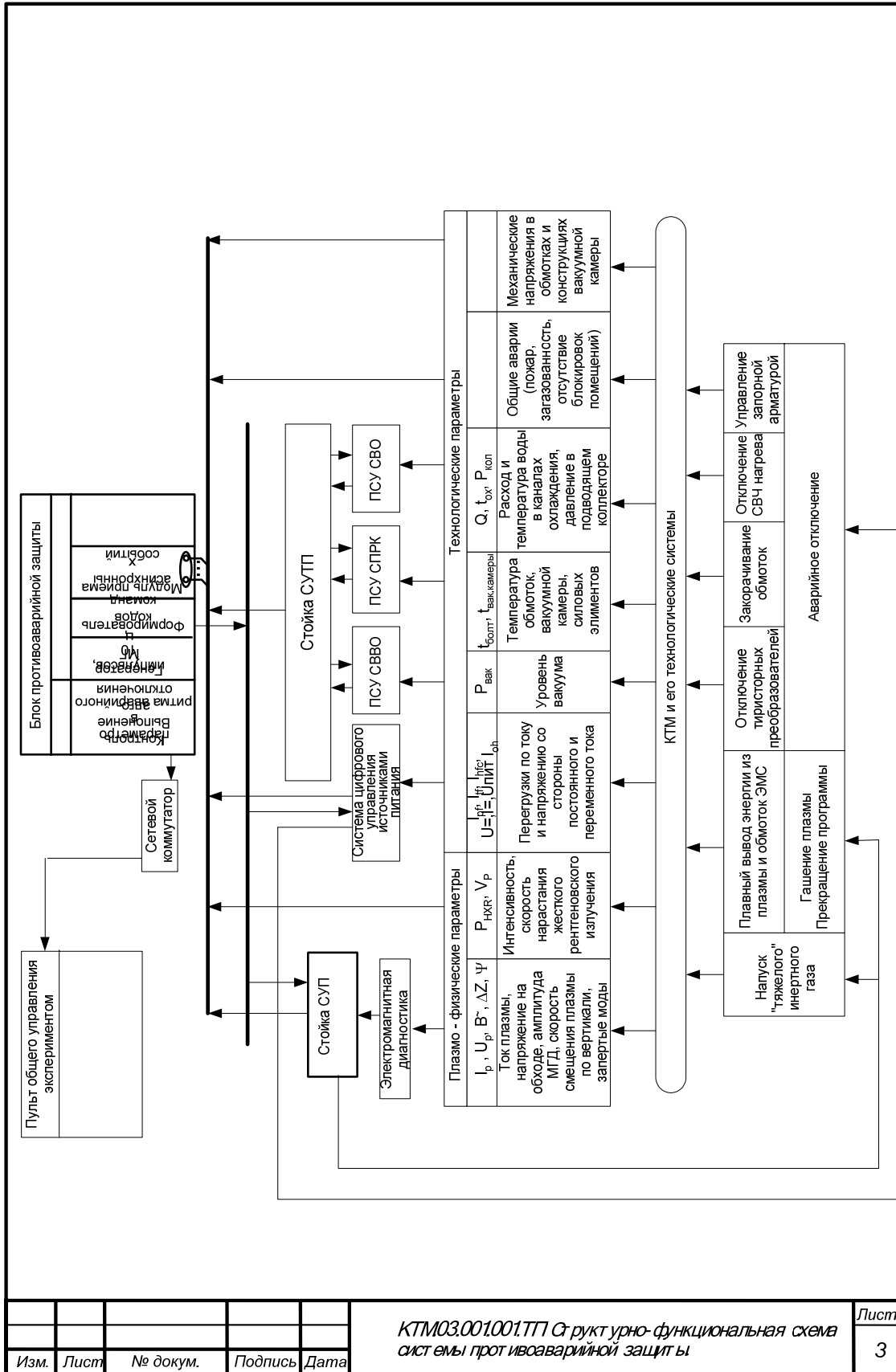
- конференции по инженерным проблемам термоядерных реакторов. – Ленинград, 1984. – С. 490–495.
27. Ваганов А.К., Васильев В.С., Герасимов В.П. Схемная реализация системы синхронизации с кодовой магистралью установки типа токамак. Т. 3, Доклады III Всесоюзной конференции по инженерным проблемам термоядерных реакторов. – Ленинград, 1984. – С. 496–500.
 28. Bramson G. DIII-D Timing System. IEEE Transaction on Nuclear Science, Vol. № 4, August 1987. – P. 728–732.
 29. Terella C., Young I. CTTS: The Composite Timing and Trigger System of JET machine. Preprint, CODAS Division, 30 April 1997. – P. 1–5.
 30. Larsen J.M. et al. The Data Acquisition System of the Tokamak De Varennes, Fusion Technol., 1988.: Proc. 15th Symp. Utrecht, 19–23 Sept. 1988, Vol. 2. – Amsterdam etc., 1989. – P. 1687–1691.
 31. Gerald W. Coutts, Jay D. Wieldwald, Noel R. Sewall, Lawrence J. Lakin, The Design and Implementation of The Integrated Timing System To Be Used in The National Ignition Facility, 31st Annual Precise Time and Time Interval (PTTI) Meeting. – P. 329–338.
 32. R.A. Lerche, G.W. Coutts, L.J. Lakin, R.A. Nyholm, J.D. Wieldwald, N.R. Sewall, J. Larkin, S. Stein, R. Martin. The NIF Integrated Timing System – Design and Performance, TUAP069 physics/0111046. – P. 1–3.
 33. Ясельский В.К., Байструков К.И., Громаков Е.И., Драпико Е.А., Павлов В.М., Тажибаева И.Л., Тихомиров Л.Н., Шарнин А.В. Построение системы синхронизации токамака КТМ. Тезисы докладов седьмой Международной конференции «Инженерные проблемы термоядерных реакторов ИПТР-7» (Санкт-Петербург, 28–31 октября, 2002). – Санкт-Петербург: ФГУП НИИЭФА им. Д.В. Ефремова, 2002. – С. 163–164.

II. Ведомость чертежей системы противоаварийной защиты и синхронизации и чертежи

| | | | | | | | | |
|------------------|------------|-------------------|---------------|------------|---|--------------|-----------------|----------------|
| | | | | | <i>КТМ.03.001.ТП</i> | | | |
| | | | | | <i>Ведомость чертежей системы противоаварийной защиты и синхронизации</i> | <i>Лит.</i> | <i>Масса</i> | <i>Масштаб</i> |
| <i>Изм</i> | <i>Лис</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Подпис</i> | <i>Дат</i> | | | 1 | 1 : 1 |
| <i>Разраб.</i> | | <i>Кудряцев</i> | | | | | | |
| <i>Провер.</i> | | <i>Павлов В.М</i> | | | | | | |
| <i>Т. Контр.</i> | | <i>Ф.И.О.</i> | | | | <i>Лис</i> 1 | <i>Листо</i> 13 | |
| <i>Реценз.</i> | | <i>Ф.И.О.</i> | | | | <i>ТПУ</i> | | |
| <i>Н.</i> | | <i>Ф.И.О.</i> | | | | | | |
| <i>Утверд.</i> | | <i>Ф.И.О.</i> | | | | | | |

1. КТМ.03.001.001 – Структурно-функциональная схема системы противоаварийной защиты.
2. КТМ.03.001.002.ТП – Функциональная схема системы противоаварийной защиты.
3. КТМ.03.001.003.ТП – Блок-схема алгоритма работы СПЗ в предпусковом режиме.
4. КТМ.03.001.004.ТП – Блок-схема алгоритма работы системы противоаварийной защиты в пусковом режиме.
5. КТМ.03.001.005.ТП – Структурно-функциональная схема системы синхронизации КТМ.
6. КТМ.03.001.006.ТП – Структурная схема формирователя синхросигнала.
7. КТМ.03.001.007.ТП – Структурно-функциональная схема локального модуля синхронизации (ЛМС).
8. КТМ.03.001.008.ТП – Алгоритм работы модуля локальной синхронизации.
9. КТМ.03.001.009.ТП – Структурная схема синхронизации СЭП с сетью силового питания.
10. КТМ.03.001.010.ТП – Структура комплекса технических средств системы противоаварийной защиты и синхронизации КТМ.
11. КТМ.03.001.011.ТП – Структура синхросигнала системы синхронизации токамака КТМ.

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|---------------|------------|------------------------------|-------------|
| | | | | | <i>ТП Ведомость чертежей</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Подпис</i> | <i>Дат</i> | | 2 |

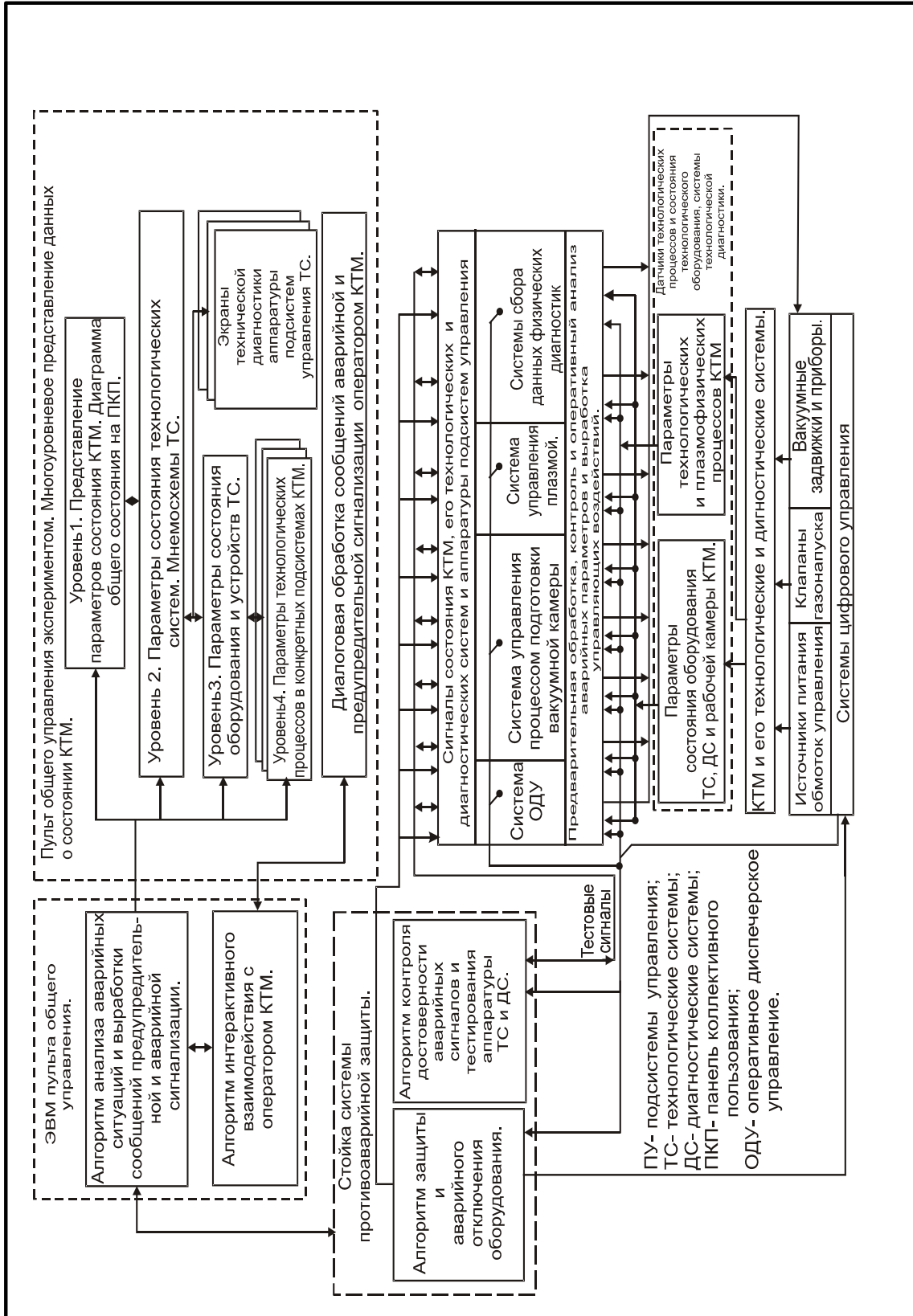


КТМ03.001.001.ТТ1 Структурно-функциональная схема системы противопожарной защиты

Лист

3

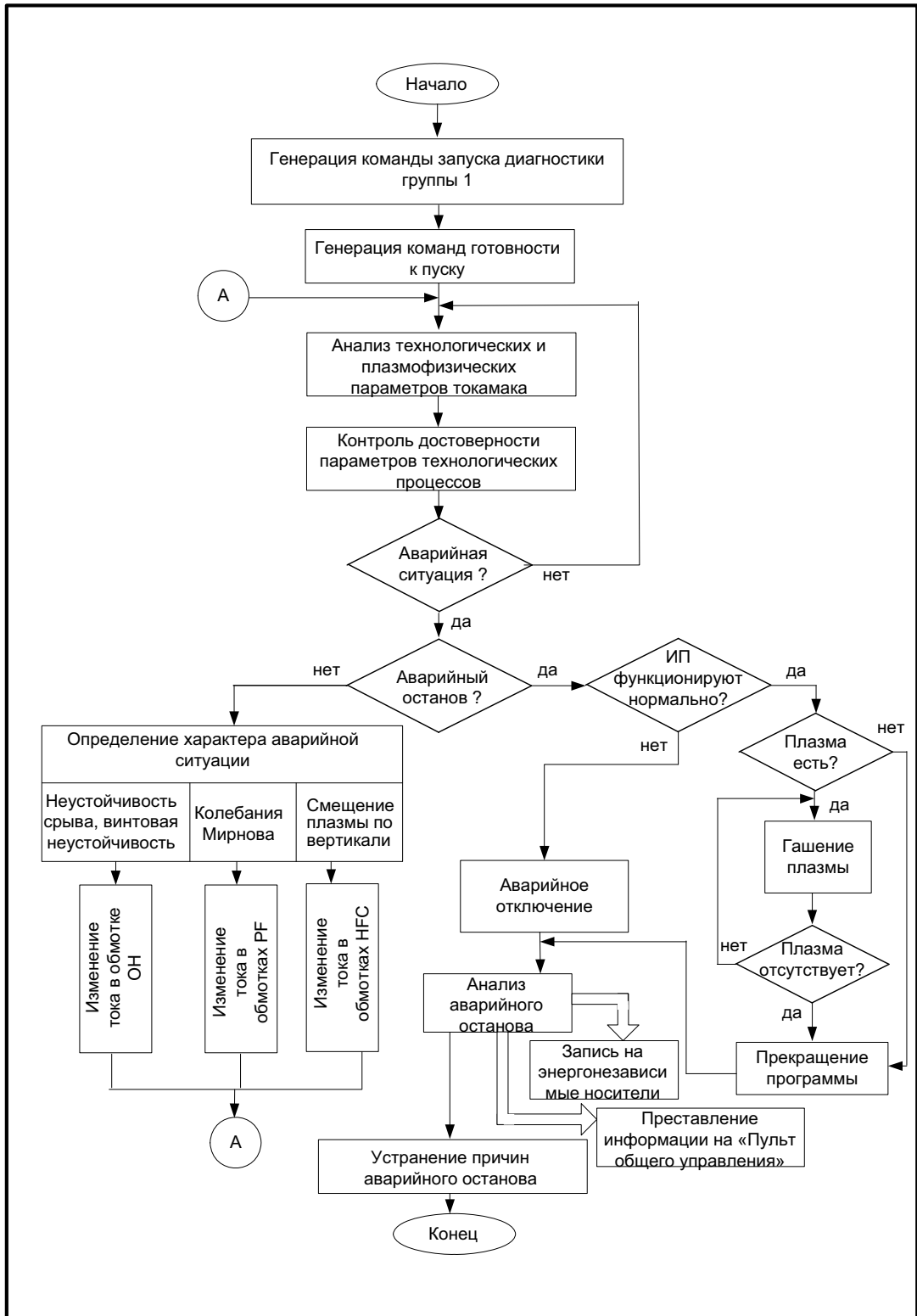
Изм. Лист № докум. Подпись Дата



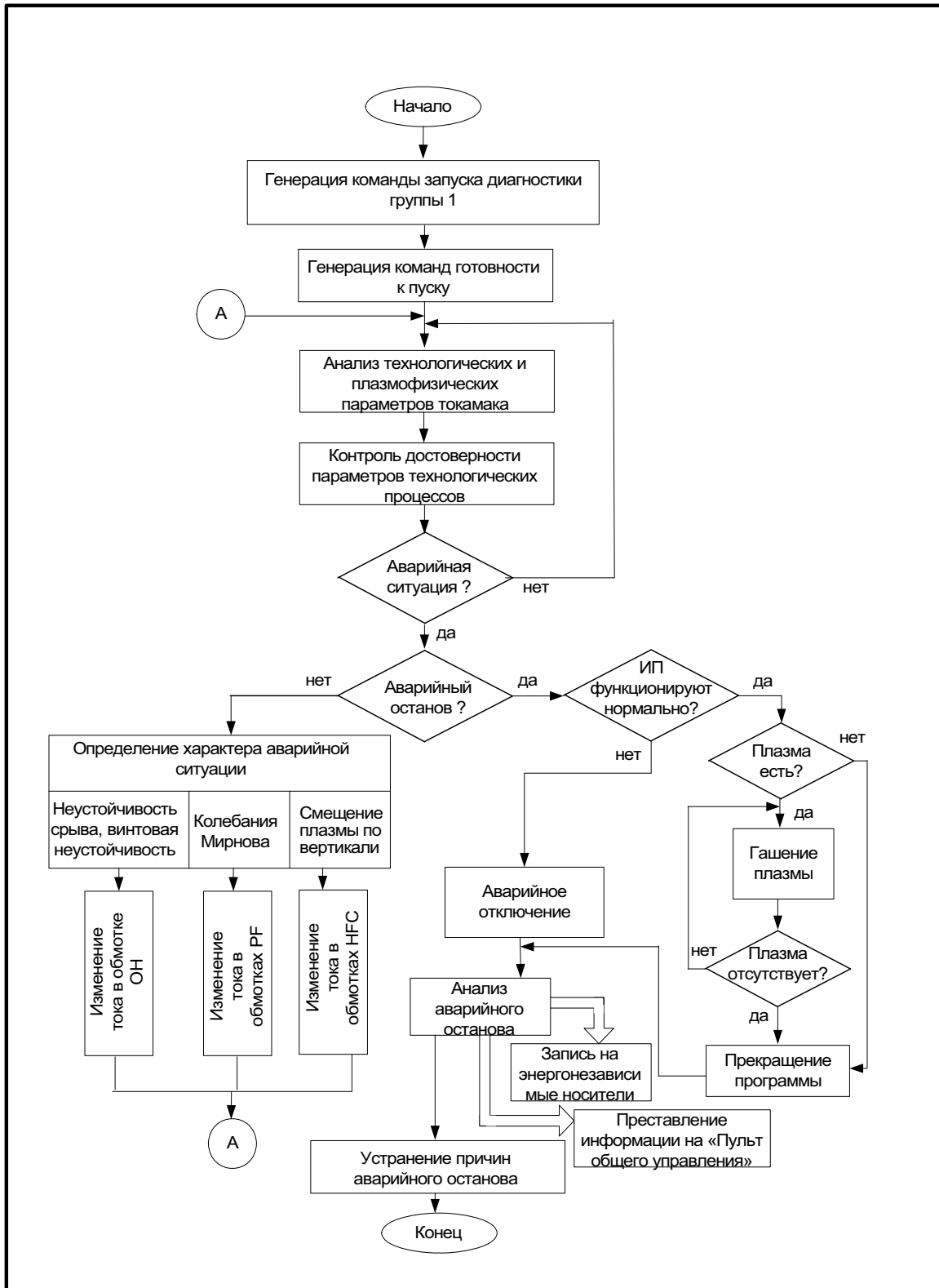
| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|---|------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | КТМ03.001.002.ТТФ Функциональная схема системы противоваварийной защиты | Лист |
| | | | | | | 4 |



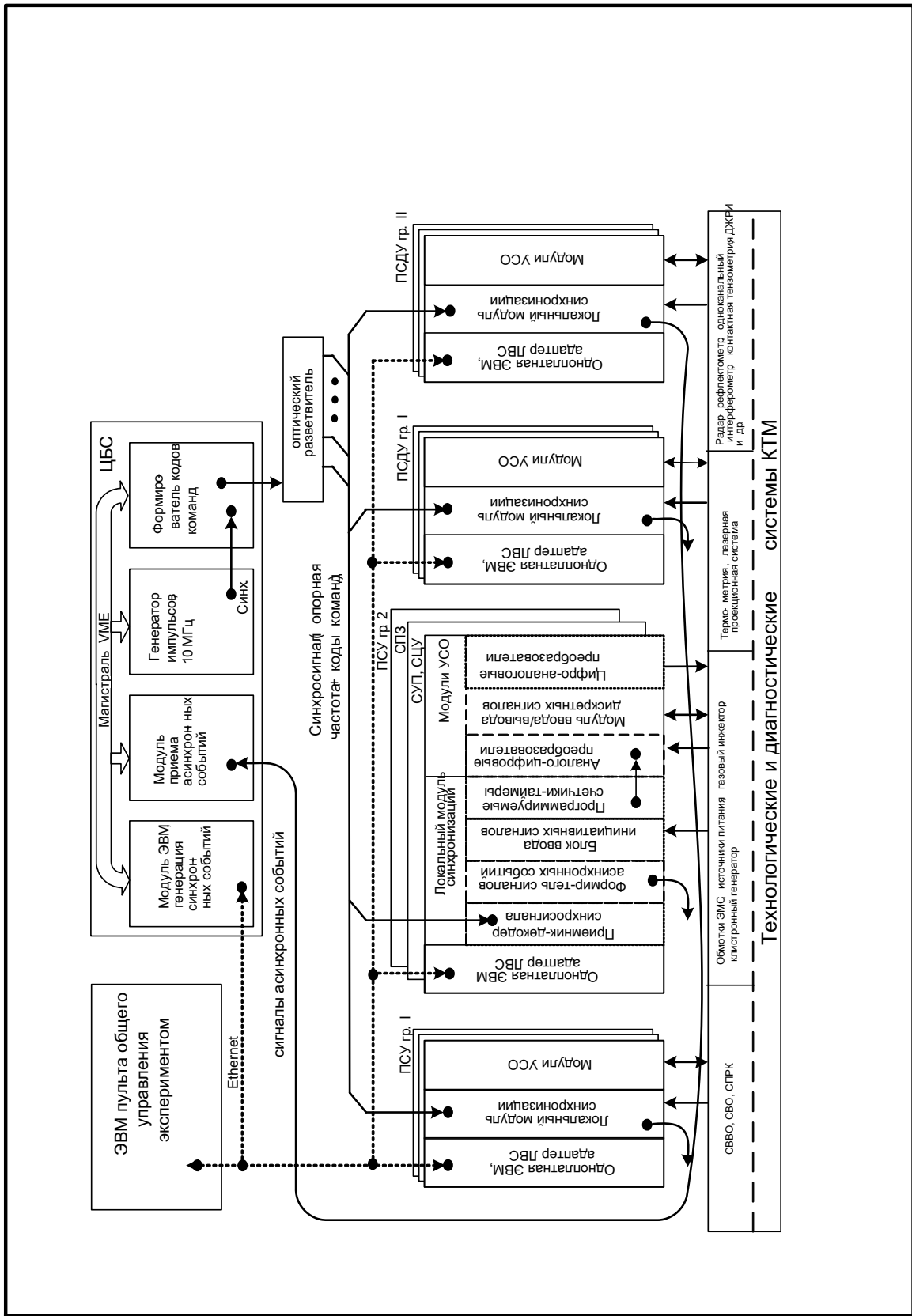
| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--|------|
| | | | | | КТМ03.001.003.ТТТ Блок-схема алгоритма работы СТБ в предпусковом режиме. | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 5 |



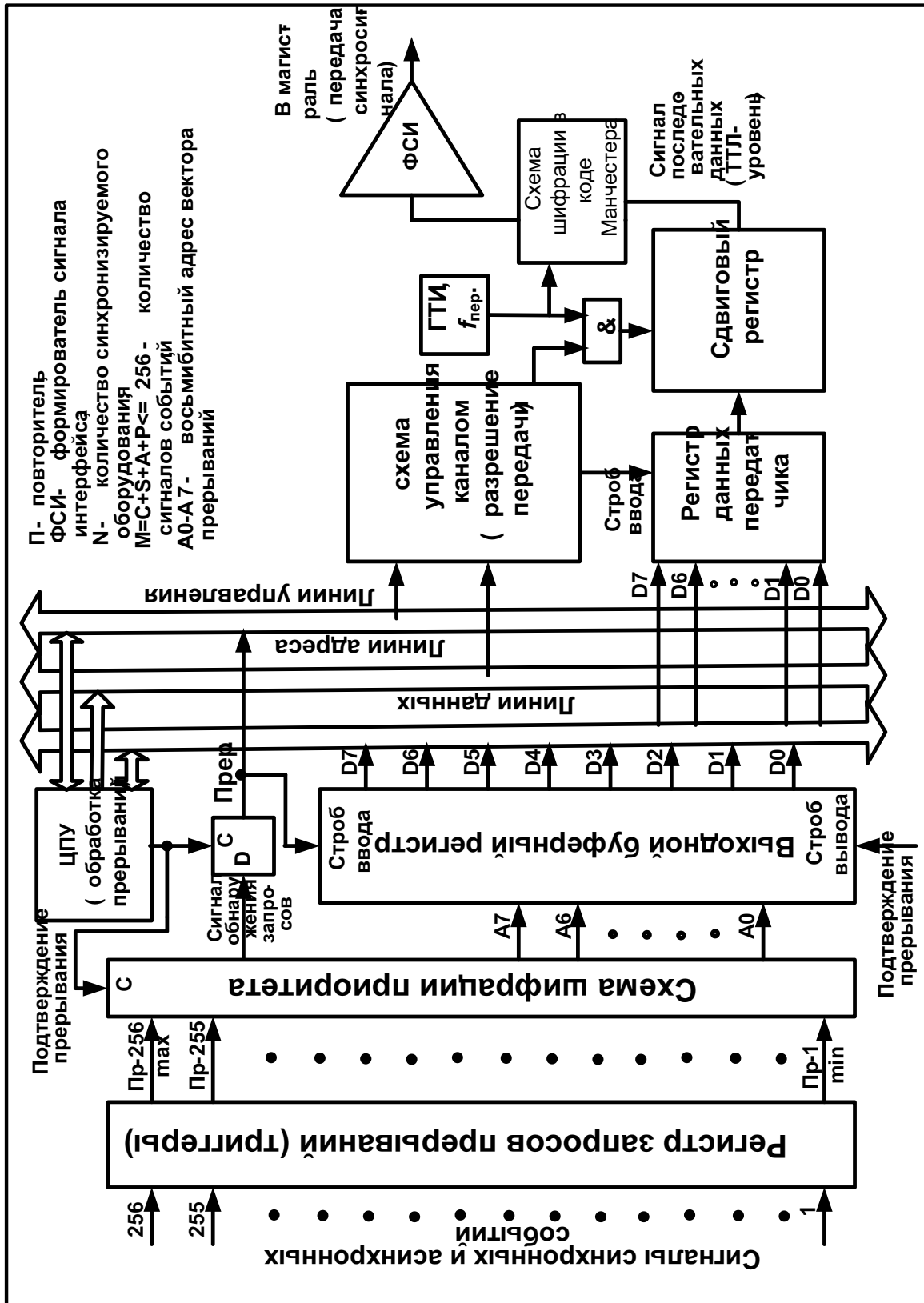
| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|---|------|
| | | | | | КТМ03.001.004.ТТТ Блок-схема алгоритма работы системы противоаварийной защиты в пусковом режиме. | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 6 |



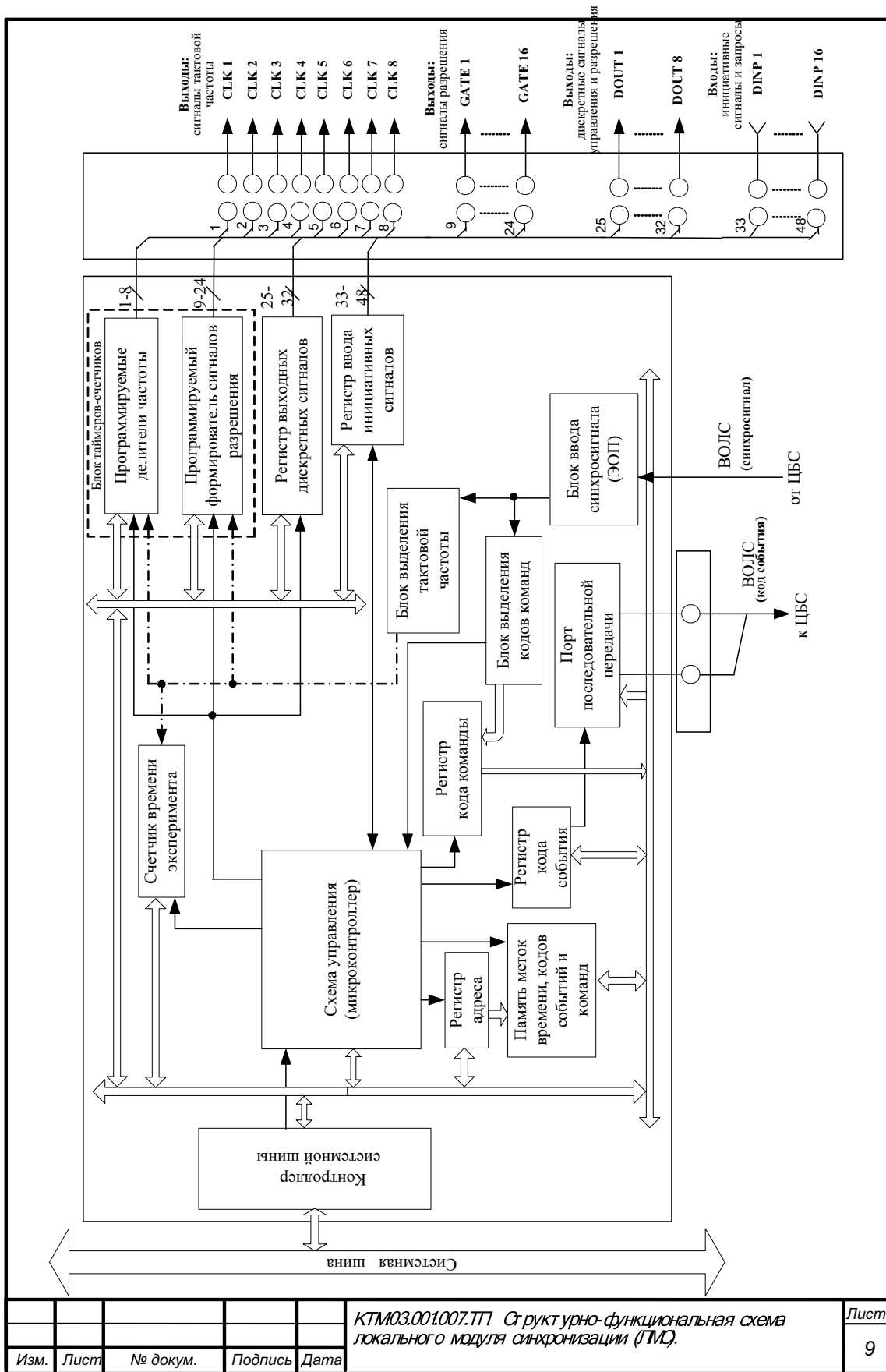
| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--|------|
| | | | | | КТМ03.001.004.ТТП Блок-схема алгоритма работы системы против аварийной защиты в пусковом режиме. | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 6 |



| | | | | | |
|--|------|----------|---------|------|------|
| КТМ03.001.005 ТП Структурно-функциональная схема системы синхронизации КТМ | | | | | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | 7 |



| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|---|------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | КТМ03.001.006.ТТГ Структурная схема формирования синхросигнала. | Лист |
| | | | | | | 8 |

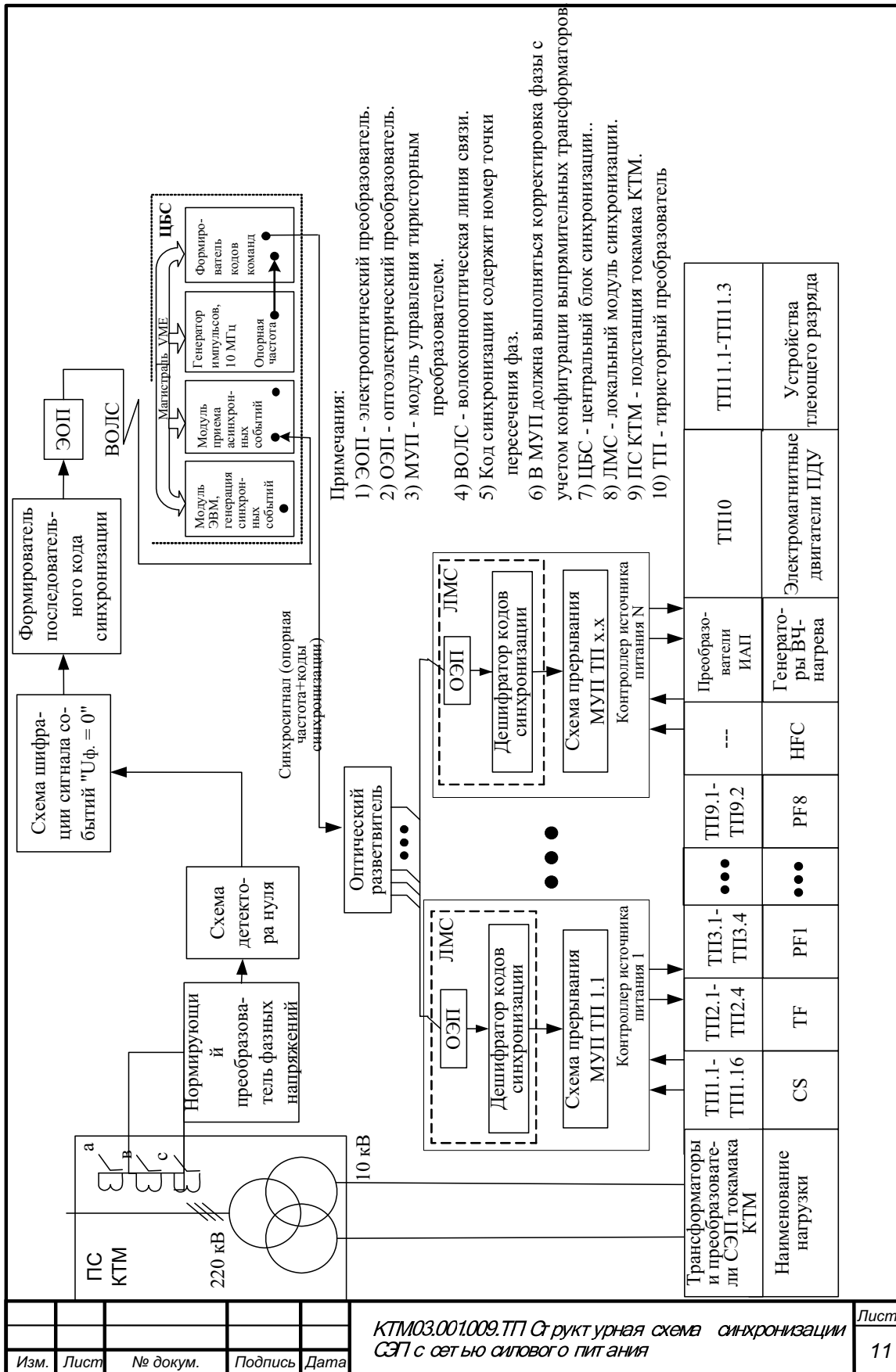


КТМ03.001.007.ТТТ Структурно-функциональная схема локального модуля синхронизации (ЛМС).

Лист

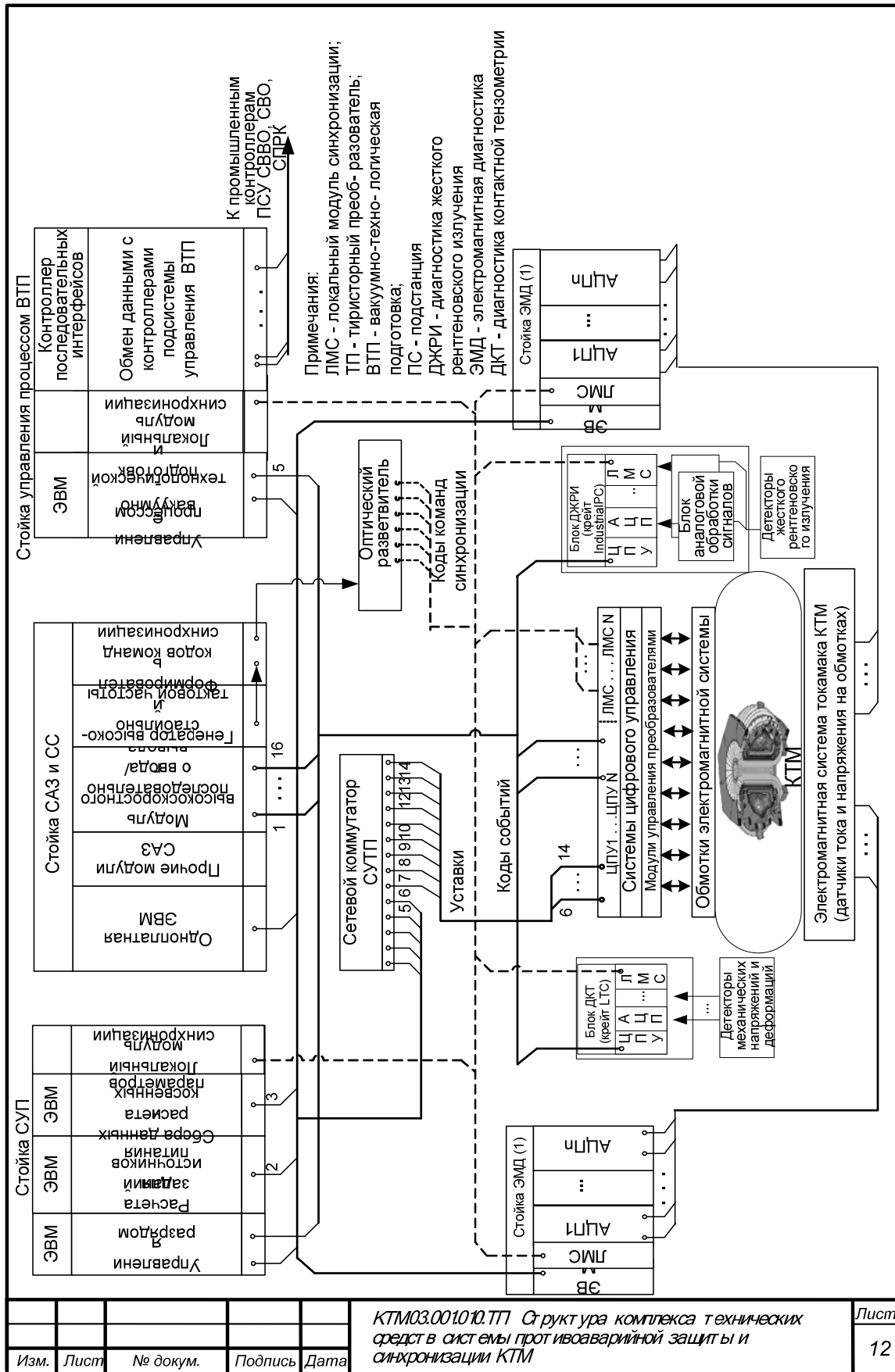
9

| | | | | |
|------|------|----------|---------|------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |
|------|------|----------|---------|------|



КТМ03.001.009.ТП Структурная схема синхронизации СЭП с сетью силового питания

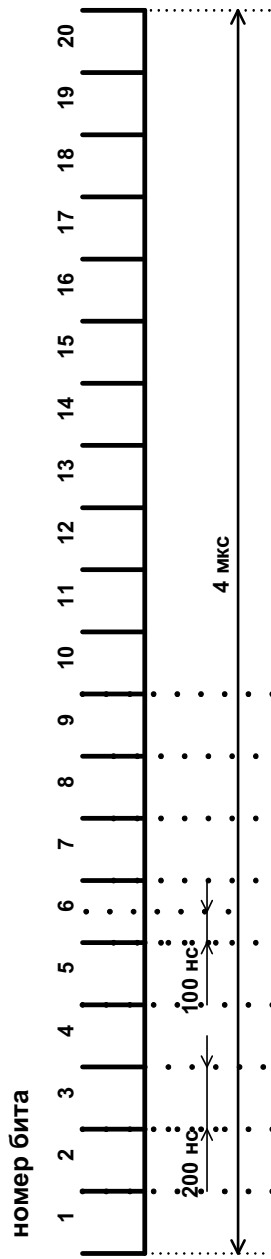
| | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | Лист |
| | | | | | 11 |



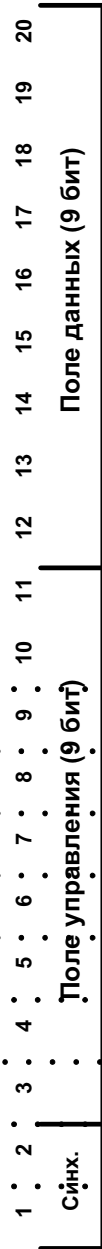
КТМ3.00.10.10.ТП Структура комплекса технических средств в системе противоаварийной защиты и синхронизации КТМ

Лист 12

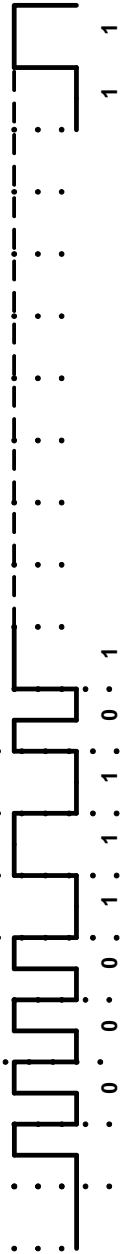
Изм. Лист № докум. Подпись Дата



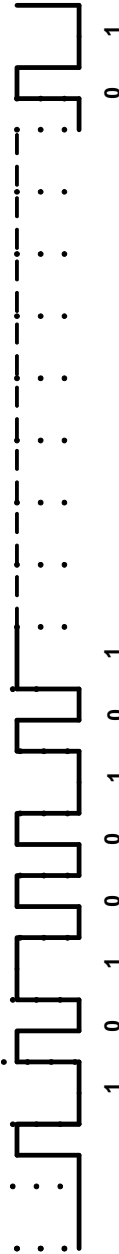
а) Временные параметры передачи информационного блока



б) Структура информационного блока



в) Пример передачи блока команды



г) Пример передачи блока данных

| | | | | |
|------|------|---------|---------|------|
| Изм. | Лист | № докум | Подпись | Дата |
|------|------|---------|---------|------|

КТМ03.001.011. ТП Структура
синхронизирующего сигнала системы
синхронизации

Лист

13

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|-----------|
| СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ | 3 |
| ВВЕДЕНИЕ | 4 |
| 1. СИСТЕМА ПРОТИВОАВАРИЙНОЙ ЗАЩИТЫ И СИГНАЛИЗАЦИИ ТОКАМАКА КТМ | 5 |
| 1.1. Структурно-функциональная схема системы противоаварийной защиты и сигнализации | 5 |
| 1.2. Контроль технологических параметров токамака КТМ | 13 |
| 1.2.1. Защита конструкций КТМ от механических напряжений и деформаций | 15 |
| 1.2.2. Контроль температуры установки КТМ | 16 |
| 1.2.3. Защита источников питания электромагнитной системы | 16 |
| 1.3. Оперативный контроль плазмо-физических параметров | 18 |
| 1.3.1. Контроль развития неустойчивостей по МГД активности плазмы | 19 |
| 1.3.2. Диагностика аварийного развития разряда по параметрам жесткого рентгеновского излучения | 22 |
| 1.4. Алгоритм работы системы противоаварийной защиты в пусковом режиме | 23 |
| 2. СИСТЕМА СИНХРОНИЗАЦИИ ТОКАМАКА КТМ | 26 |
| 2.1. Принципы синхронизации пусковых операций в токамаке КТМ | 26 |
| 2.2. Кодирование событий в системе синхронизации | 28 |
| 2.3. Перечень синхронных и асинхронных событий | 29 |
| 2.4. Структурно-функциональная схема системы синхронизации | 34 |
| 2.5. Описание структуры синхросигнала системы синхронизации | 37 |
| 2.6. Центральный блок синхронизации | 38 |
| 2.6.1. Описание потока событий ЦБС | 39 |
| 2.6.2. Модуль формирователя синхросигнала | 39 |
| 2.7. Локальный модуль синхронизации | 41 |
| 2.7.1. Схема информационных потоков ЛМС | 43 |
| 2.7.2. Структурная схема ЛМС | 44 |
| 2.7.3. Описание функциональной схемы ЛМС | 47 |

| | |
|---|------------|
| 2.7.4. Работа функциональных узлов ЛМС | 51 |
| 2.7.5. Описание протокола обмена данными по шине ISA между ЛМС и ЦПУ | 59 |
| 2.7.6. Типы операций | 60 |
| 2.7.7. Описание структуры памяти базы событий (ОПБС) | 106 |
| 2.7.8. Алгоритм работы модуля ЛМС | 107 |
| 2.7.9. Программное управление ЛМС | 109 |
| 2.8. Синхронизация с питающей сетью | 116 |
| 3. СТРУКТУРА КОМПЛЕКСА ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ СИСТЕМЫ ПРОТИВОАВАРИЙНОЙ ЗАЩИТЫ И СИНХРОНИЗАЦИИ | 119 |
| СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | 125 |
| СОДЕРЖАНИЕ | 141 |

Учебное издание

ПАВЛОВ Вадим Михайлович
БАЙСТРУКОВ Константин Иванович
МЕРКУЛОВ Степан Вадимович

СИСТЕМА СИНХРОНИЗАЦИИ И ПРОТИВОАВАРИЙНОЙ ЗАЩИТЫ

Учебное пособие

Научный редактор
доктор технических наук,
профессор *В.И. Бойко*


Редактор *С.П. Барей*
Верстка *К.С. Чечельницкая*
Дизайн обложки *О.Ю. Аршинова*
О.А. Дмитриев

Подписано к печати 15.12.2008. Формат 60x84/16. Бумага «Снегурочка».
Печать XEROX. Усл.печ.л. 8,32. Уч.-изд.л. 7,52.
Заказ 839. Тираж 200 экз.



Томский политехнический университет
Система менеджмента качества
Томского политехнического университета сертифицирована
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту ISO 9001:2000



ИЗДАТЕЛЬСТВО  ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.