

Содержание

1	Постановка задачи.....	6
2	Описание используемого алгоритма деления.....	7
3	Доказательство отсутствия необходимости в нормализации мантиссы частного	9
4	Численные примеры.....	10
4.1	Пример без возникновения исключительных ситуаций	10
4.2	Операция деления с возникновением ПРС	12
4.3	Операция деления с возникновением ПРС при денормализации делимого	12
4.4	Операция деления с возникновением истинной ПМР	14
4.5	Операция деления с возникновением устранимой временной ПМР...	14
4.6	Операция деления с возникновением неустранимой временной ПМР	16
5	Выбор функциональной схемы операционной части устройства и определение списка микроопераций и логических условий	19
5.1	Состав операционного автомата.....	19
5.2	Описание операционного автомата.....	20
5.3	Управляющие и осведомительные сигналы	22
6	Разработка содержательной граф-схемы алгоритма	25
7	Построение отмеченной граф-схемы алгоритма	29
8	Построение графов автоматов моделей Мили и Мура и выбор структурной схемы управляющего автомата	31
9	Кодирование внутренних состояний для модели Мили на D- триггерах.....	32

определение списка микроопераций и логических условий	19
5.1 Состав операционного автомата.....	19
5.2 Описание операционного автомата	20
5.3 Управляющие и осведомительные сигналы	22
6 Разработка содержательной граф-схемы алгоритма	25
7 Построение отмеченной граф-схемы алгоритма	29
8 Построение графов автоматов моделей Мили и Мура и выбор	
структурной схемы управляющего автомата	31
9 Кодирование внутренних состояний для модели Мили	
на D- триггерах.....	32

Подп. и дата	Име. №	Взам. име.	Подп. и дата	Име. №
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.	Опалеев Е.Н.			
Пров.	Исупов К.С.			

ТПЖА 090301.686		
Синтез микропрограммного управляющего автомата	Лит.	Лист
		3
	Листов	
	68	
Кафедра ЭВМ Группа ИВТ-21		

9.1	Кодирование внутренних состояний для модели Мили на RS-триггерах.....	36
9.2	Кодирование внутренних состояний для модели Мили на счетчике	45
10	Кодирование внутренних состояний для модели Мура.....	51
10.1	Кодирование внутренних состояний для модели Мура на D-триггерах.....	51
11	Построение схемы управляющего микропрограммного автомата	57
	Заключение	58
	Перечень сокращений	59
	Приложение А (справочное).....	60
	Приложение Б (обязательное)	61
	Приложение В (обязательное).....	62
	Приложение Г (обязательное)	63
	Приложение Д (обязательное).....	64
	Приложение Е (обязательное)	65
	Приложение Ж (обязательное).....	66

Инв. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Инв. №	Подп. и дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
ТПЖА 090301.04.686				
				Лист
				4

Введение

Необходимость автоматизации обработки данных, в том числе вычислений, возникла очень давно. Современный человек уже не может существовать без вычислительной техники: компьютеры управляют производством и распределением электроэнергии, производят расчёты в банках, обеспечивают безопасное движение железнодорожного и воздушного транспорта, составляют прогнозы погоды.

Для обработки такого большого количества информации ЭВМ использует простые арифметические операции: сложение, вычитание, умножение и деление чисел. Но объемы вычислений все увеличиваются и выполнять их вручную уже невозможно. Поэтому разрабатываются различные вычислительные устройства, позволяющие выполнять данные вычисления в автоматическом режиме.

Основной целью данного курсового проекта является получение навыков синтеза управляющего МПА с жесткой логикой на основе разработки машинных алгоритмов одной из заданных арифметических операций. Основным требованием является минимизация аппаратных затрат как управляющего, так и операционного автомата.

Инв. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Инв. №	Подп. и дата						
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ТПЖА 090301.04.686					Лист
										5

1 Постановка задачи

Синтезировать микропрограммный автомат, управляющий выполнением деления чисел в двоичной системе счисления с плавающей запятой в прямом коде с порядками вторым способом с восстановлением остатков с использованием дополнительного кода при вычитании мантисс, в основном логическом базисе.

Инв. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Инв. №	Подп. и дата	ТПЖА 090301.04.686					Лист
										6
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						

2 Описание используемого алгоритма деления

- 1) Считывание делимого;
- 2) считывание делителя;
- 3) проверка делителя на равенство нулю:
 - если делитель равен нулю – выдать сообщение о делении на нуль и перейти к п. 18;
 - иначе перейти к п. 4;
- 4) проверка делимого на равенство нулю:
 - если делимое равно нулю – сформировать результат нуль, перейти к п. 17;
 - иначе перейти к п. 5;
- 5) определение порядка частного вычитанием в дополнительном коде порядка делителя из порядка делимого;
- 6) проверка на ПРС:
 - если в результате вычитания порядков в знаковом разряде единица, но отсутствует единица переноса, то выдать сигнал о ПРС и перейти к п. 18;
 - иначе перейти к п. 7;
- 7) проверка на ПМР:
 - если в результате вычитания порядков в знаковом разряде нуль, но присутствует единица переноса, то произошла ПМР, сформировать результат нуль и перейти к п.17;
 - иначе перейти к п. 8;
- 8) определение знака частного с помощью сложения по модулю 2 знаков операндов;
- 9) выполнение вычитания делителя из делимого/остатка, путем сложения в ДК;

Инв. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Инв. №	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	
--------	--------------	------------	--------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--

- 10) анализ знака остатка:
 - если знак 1, то восстановить остаток, путем его сложения с делителем, и занести в частное 0 перейти к п. 11;
 - перейти к п. 11;
- 11) сдвиг частного влево, а делителя вправо, увеличение счетчика тактов;
- 12) проверка нормализации частного:
 - если в старшем разряде частного 0 то, перейти к п. 9;
 - иначе (если в старшем разряде частного 1) перейти к п. 13;
- 13) если в старшем разряде счетчика тактов 0, то прибавить к порядку 1 и перейти к п. 14, иначе – к п. 15;
- 14) проверка на ПРС:
 - если возникло ПРС – выдать сигнал о ПРС, перейти к п. 18;
 - иначе перейти к п. 15;
- 15) проверка на истинную ПМР:
 - если возникла истинная ПМР – сформировать результат 0, перейти к п. 17;
 - иначе перейти к п. 16;
- 16) присвоение результату знака из п.8;
- 17) выдача результата;
- 18) завершение деления.

Инв. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Инв. №	Подп. и дата	Инв. №	Подп. и дата	ТПЖА 090301.04.686	Лист
								8
								Изм.

3 Доказательство отсутствия необходимости в нормализации мантиссы частного

В операциях над числами с плавающей запятой в прямом коде с порядками мантиссы могут принимать значения в полуинтервале $[0.5; 1)$ и ноль. Далее в качестве делимого и делителя будут использоваться их мантиссы. Если один из операндов равен нулю, то такие ситуации обрабатываются отдельно, иначе (значения операндов находятся в полуинтервале $[0.5; 1)$) необходимо рассмотреть случаи, когда делимое меньше делителя и делимое больше либо равно делителю.

Если делимое меньше делителя, то их частное будет меньше единицы, но не меньше 0.5, т. к. делитель не может превосходить делимое более, чем в два раза, иначе оно бы находилось в полуинтервале $[1; 2)$. Поэтому частное будет принимать значения в том же диапазоне, что и делимое и делитель.

Если делимое не меньше делителя, то их частное будет не меньше единицы, но меньше двух, т. к. делимое не может превосходить делимое более, чем в два раза, иначе оно бы находилось в полуинтервале $[1; 2)$. В таком случае, следуя алгоритму, цикл деления продолжается до достижения в старшем разряде частного единицы, что исключает возможность ненормализованного частного. Следовательно, частное будет принимать значения из полуинтервала $[0.5; 1)$, т. е. такие же, что и делимое и делитель. После выполнения основного цикла в данном случае нормализуется порядок (прибавляется единица).

Необходимо уменьшить делимое в два раза (сдвиг на один разряд вправо). Но это также приведет к уменьшению частного в два раза.

Из этого следует, что мантисса частного после выполнения основного цикла деления будет уже нормализована.

Ине. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Ине. №	Подп. и дата	ТПЖА 090301.04.686					Лист
										9
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						

4 Численные примеры

4.1 Пример без возникновения исключительных ситуаций

Делимое: $9,5 = 0,100110_2$ Порядок: $0,100_2$

Делитель: $-49 = 1,110001_2$ Порядок: $0,110_2$

Делитель не равен нулю, делимое не равно нулю.

Знак частного: $0 \oplus 1 = 1$

Порядок частного: $0,100 - 0,110 =$

$$\begin{array}{r} +0,100 \\ 1,010 \\ \hline 1,110 \end{array}$$

Деление мантисс операндов представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Деление мантисс операндов

Частное ←	Делимое (остаток)	Делитель →	Пояснения
0,000000	0.100110.000000 <u>1.001111.000000</u> 1.110101.000000	0.110001.000000	Вычитание из делимого / остатка делителя
0,000000	1.110101.000000 <u>0.110001.000000</u> 0.100110.000000	0.110001.000000	Восстановление остатка
0,00000 <u>0</u>	0.100110.000000	0.011000.100000	Сдвиг делителя и частного В младший разряд частного заносится 0, т.к. $\Delta_0 = 1$.
0,00000 <u>0</u>	0.100110.000000 <u>1.100111.100000</u> 0.001101.100000	0.011000.100000	Вычитание из делимого / остатка делителя
0,00000 <u>01</u>	0.001101.100000	0.001100.010000	Сдвиг делителя и частного В младший разряд частного заносится 1, т.к. $\Delta_1 = 0$.
0,00000 <u>01</u>	0.001101.100000 <u>1.110011.110000</u> 0.000001.010000	0.001100.010000	Вычитание из делимого / остатка делителя
0,0000 <u>011</u>	0.000001.010000	0.000110.001000	Сдвиг делителя и частного В младший разряд частного заносится 1, т.к. $\Delta_2 = 0$.

Ине. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Ине. №	Подп. и дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
ТПЖА 090301.04.686				
				Лист
				10

Продолжение таблицы 1.

0,000011	0.000001.010000 <u>1.111001.111000</u> 1.111011.001000	0.000110.001000	Вычитание из делимого / остатка делителя
0,000011	1.111011.001000 <u>0.000110.001000</u> 0.000001.010000	0.000110.001000	Восстановление остатков
0,000110	0.000001.010000	0.000011.000100	Сдвиг делителя и частного В младший разряд частного заносится 0, т.к. $\Delta_3 = 1$.
0,000110	0.000001.010000 <u>1.111100.111100</u> 1.111110.001100	0.000011.000100	Вычитание из делимого / остатка делителя
0,000110	1.111110.001100 <u>0.000011.000100</u> 0.000001.010000	0.000011.000100	Восстановление остатков
0,001100	0.000001.010000	0.000001.100010	Сдвиг делителя и частного В младший разряд частного заносится 0, т.к. $\Delta_4 = 1$.
0,001100	0.000001.010000 <u>1.111110.011110</u> 1.111111.101110	0.000001.100010	Вычитание из делимого / остатка делителя
0,001100	1.111111.101110 <u>0.000001.100010</u> 0.000001.010000	0.000001.100010	Восстановление остатков
0,011000	0.000001.010000	0.000001.100010	Сдвиг делителя и частного В младший разряд частного заносится 0, т.к. $\Delta_5 = 1$.
0,011000	0.000001.010000 <u>1.111111.001111</u> 0.000000.011111	0.000000.110001	Вычитание из делимого / остатка делителя
0,110001	0.000000.011111	0.000000.110001	Сдвиг делителя и частного В младший разряд частного заносится 1, т.к. $\Delta_6 = 0$.

Ответ: $-0.110001_2 * 2^{-2} = 1.00110001_2 = -0,19140625$

Проверка результата: $9,5 / -49 \approx -0,1938776$

Абсолютная погрешность: $|-0,19140625 + 0,1938776| = 0,00247135$

Относительная погрешность: $\left| \frac{-0,19140625 + 0,1938776}{-0,1938776} \right| * 100\% = 1,275\%$

Инв. №	Подп. и дата	Инв. №	Подп. и дата	Лист		
	Взам. инв.	Инв. №	Подп. и дата			
	Инв. №	Подп. и дата	Подп. и дата			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ТПЖА 090301.04.686	11

4.2 Операция деления с возникновением ПРС

Делимое: $64_{10} = 0,1000000_2$ Порядок: 0,111

Делитель: $0,078125_{10} = 0,1010000_2$ Порядок: 1,011

Делитель не равен нулю, делимое не равно нулю.

Знак частного: $0 \oplus 0 = 0$

Порядок частного: $0,111 - 1,011 =$

$$\begin{array}{r} 0,111 \\ + 0,011 \\ \hline 1,010 \end{array}$$

Обнаружено ПРС.

Прекращение операции деления с выдачей сигнала о ПРС.

4.3 Операция деления с возникновением ПРС при денормализации порядка

Делимое: $15_{10} = 0,111100_2$ Порядок: 0,100

Делитель: $0,078125_{10} = 0,101000_2$ Порядок: 1,101

Делитель не равен нулю, делимое не равно нулю.

Знак частного: $0 \oplus 0 = 0$

Порядок частного: $0,100 - 1,101 =$

$$\begin{array}{r} 0,100 \\ + 0,011 \\ \hline 0,111 \end{array}$$

Деление мантисс операндов представлено в таблице 2.

Инт. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Инт. №	Подп. и дата	ТПЖА 090301.04.686					Лист
										12
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						

Таблица 2 – Деление мантисс операндов

Частное ←	Делимое (остаток)	Делитель →	Пояснения
0,000000	0.111100.000000 <u>1.011000.000000</u> 0.010100.000000	0.101000.000000	Вычитание из делимого / остатка делителя
0,00000 <u>1</u>	0.010100.000000	0.010100.000000	Сдвиг делителя и частного В младший разряд частного заносится 1, т.к. $\Delta_0 = 0$.
0,00000 <u>1</u>	0.010100.000000 <u>1.101100.000000</u> 0.000000.000000	0.010100.000000	Вычитание из делимого / остатка делителя
0,0000 <u>11</u>	0.000000.000000	0.001010.000000	Сдвиг делителя и частного В младший разряд частного заносится 1, т.к. $\Delta_1 = 0$.
0,0000 <u>11</u>	0.000000.000000 <u>1.110110.000000</u> 1.110110.000000	0.001010.000000	Вычитание из делимого / остатка делителя
0,0000 <u>11</u>	1.110110.000000 <u>0.001010.000000</u> 0.000000.000000	0.001010.000000	Восстановление остатка
0,000 <u>110</u>	0.000000.000000	0.000101.000000	Сдвиг делителя и частного В младший разряд частного заносится 0, т.к. $\Delta_2 = 1$.
0,000 <u>110</u>	0.000000.000000 <u>1.111011.000000</u> 1.111011.000000	0.000101.000000	Вычитание из делимого / остатка делителя
0,000 <u>110</u>	1.111011.000000 <u>0.000101.000000</u> 0.000000.000000	0.000101.000000	Восстановление остатка
0,00 <u>1100</u>	0.000000.000000	0.000010.100000	Сдвиг делителя и частного В младший разряд частного заносится 0, т.к. $\Delta_3 = 1$.
0,00 <u>1100</u>	0.000000.000000 <u>1.111101.100000</u> 1.111101.100000	0.000010.100000	Вычитание из делимого / остатка делителя
0,00 <u>1100</u>	1.111101.100000 <u>0.000010.100000</u> 0.000000.000000	0.000010.100000	Восстановление остатка
0,0 <u>11000</u>	0.000000.000000	0.000001.010000	Сдвиг делителя и частного В младший разряд частного заносится 0, т.к. $\Delta_4 = 1$.
0,0 <u>11000</u>	0.000000.000000 <u>1.111110.110000</u> 1.111110.110000	0.000001.010000	Вычитание из делимого / остатка делителя
0,0 <u>11000</u>	1.111110.110000 <u>0.000001.010000</u> 0.000000.000000	0.000001.010000	Восстановление остатка
0, <u>110000</u>	0.000000.000000	0.000000.101000	Сдвиг делителя и частного В младший разряд частного заносится 0, т.к. $\Delta_5 = 1$.

Инв. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Инв. №	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ТПЖА 090301.04.686	Лист
						13

Нормализация порядка частного:

$$\begin{array}{r} + \quad 0,111 \\ \quad \quad 1 \\ \hline (0)1,000 \end{array}$$

Обнаружено ПРС после нормализации порядка.

Прекращение операции деления с выдачей сигнала о ПРС.

4.4 Операция деления с возникновением истинной ПМР

Делимое: $0,0430_{10} = 0,101100_2$ Порядок: 1,101

Делитель: $18_{10} = 0,100100_2$ Порядок: 0,101

Делитель не равен нулю, делимое не равно нулю.

Знак частного: $0 \oplus 0 = 0$

Порядок частного: $1,101 - 0,101 =$

$$\begin{array}{r} + \quad 1,101 \\ \quad \quad 1,011 \\ \hline (1) 0,111 \end{array}$$

Обнаружена ист. ПМР.

Ответ: 0.

4.5 Операция деления с возникновением устранимой временной ПМР

Делимое: $0,09375_{10} = 0,110000_2$ Порядок: 1,101

Делитель: $20_{10} = 0,101000_2$ Порядок: 0,101

Делитель не равен нулю, делимое не равно нулю.

Знак частного: $0 \oplus 0 = 0$

Порядок частного: $1,101 - 0,101 =$

$$\begin{array}{r} + \quad 1,101 \\ \quad \quad 1,011 \\ \hline (1)1,000 \end{array}$$

Ине. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Ине. №	Подп. и дата	ТПЖА 090301.04.686					Лист
										14
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						

Деление мантисс представлено в таблице 3.

Таблица 3 – Деление мантисс операндов

Частное ←	Делимое (остаток)	Делитель →	Пояснения
0,000000	0.110000.000000 <u>1.011000.000000</u> 0.001000.000000	0.101000.000000	Вычитание из делимого / остатка делителя
0,00000 <u>1</u>	0.001000.000000	0.010100.000000	Сдвиг делителя и частного В младший разряд частного заносится 1, т.к. $\Delta_0 = 0$.
0,00000 <u>1</u>	0.001000.000000 <u>1.101100.000000</u> 1.110100.000000	0.010100.000000	Вычитание из делимого / остатка делителя
0,00000 <u>1</u>	1.110100.000000 <u>0.010100.000000</u> 0.001000.000000	0.010100.000000	Восстановление остатков
0,0000 <u>10</u>	0.001000.000000	0.001010.000000	Сдвиг делителя и частного В младший разряд частного заносится 0, т.к. $\Delta_1 = 1$.
0,0000 <u>10</u>	0.001000.000000 <u>1.110110.000000</u> 1.111110.000000	0.001010.000000	Вычитание из делимого / остатка делителя
0,0000 <u>10</u>	1.111110.000000 <u>0.001010.000000</u> 0.001000.000000	0.001010.000000	Восстановление остатков
0,000 <u>100</u>	0.001000.000000	0.000101.000000	Сдвиг делителя и частного В младший разряд частного заносится 0, т.к. $\Delta_2 = 1$.
0,000 <u>100</u>	0.001000.000000 <u>1.111011.000000</u> 0.000011.000000	0.000101.000000	Вычитание из делимого / остатка делителя
0,00 <u>1001</u>	0.000011.000000	0.000010.100000	Сдвиг делителя и частного В младший разряд частного заносится 1, т.к. $\Delta_3 = 0$.
0,00 <u>1001</u>	0.000011.000000 <u>1.111101.100000</u> 0.000000.100000	0.000010.100000	Вычитание из делимого / остатка делителя
0,0 <u>10011</u>	0.000000.100000	0.000001.010000	Сдвиг делителя и частного В младший разряд частного заносится 1, т.к. $\Delta_4 = 0$.

Инв. №	Подп. и дата	Инв. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Инв. №	Подп. и дата	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ТПЖА 090301.04.686		Лист
							15

Продолжение таблицы 3.

0,010011	0.000000.100000 1.111110.110000 1.111111.010000	0.000001.0100000	Вычитание из делимого / остатка делителя
0,010011	1.111111.010000 0.000001.010000 0.000000.100000	0.000001.0100000	Восстановление остатков
0,100110	0.000000.100000	0.000000.1010000	Сдвиг делителя и частного В младший разряд частного вносится 0, т.к. $\Delta_5 = 1$.

Нормализация порядка частного:

$$\begin{array}{r} + 1,000 \\ 0,001 \\ \hline 1,001 \end{array}$$

$$1,001_2 = 1,111_2 = -7_{10}$$

$$\text{Ответ: } 0,100110_2 \cdot 2^{-7} = 0,0000000100110_2 = 0,0046387$$

$$\text{Проверка результата: } 0,09375 / 20 \approx 0,0046875$$

$$\text{Абсолютная погрешность: } |0,0046387 - 0,0046875| = 0,0000488$$

$$\text{Относительная погрешность: } \left| \frac{0,0046387 - 0,0046875}{0,0046875} \right| \cdot 100\% = 1,043\%$$

4.6 Операция деления с возникновением неустраняемой временной ПМР

$$\text{Делимое: } 0,078125_{10} = 0,101000_2 \text{ Порядок: } 1,101$$

$$\text{Делитель: } 28_{10} = 0,111000_2 \text{ Порядок: } 0,101$$

Делитель не равен нулю, делимое не равно нулю.

$$\text{Знак частного: } 0 \oplus 0 = 0$$

$$\text{Порядок частного: } 1,101 - 0,101 =$$

$$\begin{array}{r} + 1,101 \\ 1,011 \\ \hline (1)1,000 \end{array}$$

Деление мантисс представлено в таблице 4.

Име. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Име. №	Подп. и дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
ТПЖА 090301.04.686				
				Лист
				16

Таблица 4 – Деление мантисс операндов

Частное ←	Делимое (остаток)	Делитель →	Пояснения
0,000000	0.101000.000000 <u>1.001000.000000</u> 1.110000.000000	0.111000.000000	Вычитание из делимого / остатка делителя
0,000000	1.110000.000000 <u>0.111000.000000</u> 0.101000.000000	0.111000.000000	Восстановление остатков
0,000000	0.101000.000000	0.011100.000000	Сдвиг делителя и частного В младший разряд частного заносится 0, т.к. $\Delta_0 = 1$.
0,000000	0.101000.000000 <u>1.100100.000000</u> 0.001100.000000	0.011100.000000	Вычитание из делимого / остатка делителя
0,000001	0.001100.000000	0.001110.000000	Сдвиг делителя и частного В младший разряд частного заносится 1, т.к. $\Delta_1 = 0$.
0,000001	0.001100.000000 <u>1.110010.000000</u> 1.111110.000000	0.001110.000000	Вычитание из делимого / остатка делителя
0,000001	1.111110.000000 <u>0.001110.000000</u> 0.001100.000000	0.001110.000000	Восстановление остатков
0,000010	0.001100.000000	0.000111.000000	Сдвиг делителя и частного В младший разряд частного заносится 0, т.к. $\Delta_2 = 1$.
0,000010	0.001100.000000 <u>1.111001.000000</u> 0.000101.000000	0.000111.000000	Вычитание из делимого / остатка делителя
0,000101	0.000101.000000	0.000011.100000	Сдвиг делителя и частного В младший разряд частного заносится 1, т.к. $\Delta_3 = 0$
0,000101	0.000101.000000 <u>1.111100.100000</u> 0.000001.100000	0.000011.100000	Вычитание из делимого / остатка делителя
0,001011	0.000001.100000	0.000001.110000	Сдвиг делителя и частного В младший разряд частного заносится 1, т.к. $\Delta_4 = 0$
0,001011	0.000001.100000 <u>1.111110.010000</u> 1.111111.110000	0.000001.110000	Вычитание из делимого / остатка делителя
0,001011	1.111111.110000 <u>0.000001.110000</u> 0.000001.100000	0.000001.110000	Восстановление остатков
0,010110	0.000001.100000	0.000000.111000	Сдвиг делителя и частного В младший разряд частного заносится 0, т.к. $\Delta_5 = 1$

Инв. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Инв. №	Подп. и дата					
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ТПЖА 090301.04.686				
					Лист 17				

Продолжение таблицы 4.

0, <u>010110</u>	0.000001.100000 <u>1.111111.001000</u> 0.000000.101000	0.000000.111000	Вычитание из делимого / остатка делителя
0, <u>101101</u>	0.000000.101000	0.000000.011100	Сдвиг делителя и частного В младший разряд частного вносится 1, т.к. $\Delta_6 = 0$

Обнаружена временная ПМР, которая не устранилась после цикла деления.

Ответ: 0.

Инв. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Инв. №	Подп. и дата						
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ТПЖА 090301.04.686					Лист
										18

5 Выбор функциональной схемы операционной части устройства и определение списка микроопераций и логических условий

5.1 Состав операционного автомата

Операционный автомат (ОА) должен содержать следующие элементы:

- 46-разрядный сдвиговый регистр RG1 для хранения мантиссы делителя;
- 47-разрядный несдвиговой регистр RG2 для хранения мантиссы делимого / остатка;
- 23-разрядный сдвиговый регистр RG3 для хранения частного;
- 8-разрядный несдвиговой регистр RG4 для хранения порядка делителя;
- 6-разрядный реверсивный счетчик СТ1 для вычисления количества сдвигов;
- 8-разрядный реверсивный счетчик СТ2 для хранения порядка частного;
- 47-разрядный управляемый инвертор КС1 для инвертирования мантиссы делителя;
- 7-разрядный управляемый инвертор КС2 для инвертирования порядка делителя;
- 7-разрядный управляемый инвертор КС3 для инвертирования отрицательного порядка результата;
- 47-х разрядный сумматор SM1 для вычитания делителя из остатка от делимого или для восстановления остатка;
- 8-разрядный сумматор SM2 для вычитания порядка делителя из порядка делимого;
- D-триггер Т1 для хранения сигнала о ПРС;
- D-триггер Т2 для хранения сигнала о ДНН;

Ине. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Ине. №	Подп. и дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
ТПЖА 090301.04.686				
				Лист
				19

- D-триггер Т3 для хранения знака делимого;
- D-триггер Т4 для хранения знака делителя;
- D-триггер Т5 для хранения единицы переноса результата вычитания порядков;
- D-триггер Т6 для хранения знака остатка;
- двухвходовой элемент «сложение по модулю 2» для получения знака результата;
- двухвходовой элемент «сложения по модулю 2» для определения необходимости инверсии порядка при сложении на SM2;
- трехвходовой элемент «сложения по модулю 2» для получения единицы переноса результата вычитания;
- 7-входовой элемент «или-не» для проверки на временную ПМР;
- 5 элементов «не», 1 двухвходовой элемент «и» для определения истинной ПРС, 1 трехвходовой элемент «и» для определения временной ПМР, 1 двухвходовой элемент «и» для определения ПМР;
- усилитель-формирователь для выдачи результата на выходную шину.

5.2 Описание операционного автомата

Операнды разрядностью 32 бита поступают по входной шине в прямом коде, результат в прямом коде выводится по выходной шине разрядностью 32.

Регистр RG1 имеет 46 разрядов и является сдвиговым вправо, поскольку в цикле деления необходимо сдвигать делитель влево. В данный регистр в старшие 23 разряда вносятся сначала делимое, а после делитель, в младшие 23 разряда заносятся нули.

Несдвиговой регистр RG2 имеет 47 разрядов, в нем хранится делимое / остаток со знаковым разрядом и дополнительными 23 разрядами. Запись в

Инв. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Инв. №	Подп. и дата	<p>– усилитель-формирователь для выдачи результата на выходную шину.</p>	
					<p>5.2 Описание операционного автомата</p>	
					<p>Операнды разрядностью 32 бита поступают по входной шине в прямом коде, результат в прямом коде выводится по выходной шине разрядностью 32.</p>	
					<p>Регистр RG1 имеет 46 разрядов и является сдвиговым вправо, поскольку в цикле деления необходимо сдвигать делитель влево. В данный регистр в старшие 23 разряда вносятся сначала делимое, а после делитель, в младшие 23 разряда заносятся нули.</p>	
Инв. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Инв. №	Подп. и дата	<p>Несдвиговой регистр RG2 имеет 47 разрядов, в нем хранится делимое / остаток со знаковым разрядом и дополнительными 23 разрядами. Запись в</p>	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ТПЖА 090301.04.686	Лист
						20

регистр производится из RG1 через сумматор SM1 и управляемый инвертор KC1. Перед началом операции деления в RG2 записываются нули.

Сдвиговый регистр RG3 имеет 23 разряда, так как в нем хранится мантисса частного без знака. В каждом такте цикла деления производится сдвиг данного регистра вправо. В начале операции деления в него записываются нули.

Регистр RG4 имеет 8 разрядов, так как в нем сначала хранится порядок делимого, а потом делителя.

Суммирующий счетчик CT1 имеет разрядность 6, используется для счета количества сдвигов. В начале деления в него записывается «001000».

Суммирующий счетчик CT2 имеет 8 разрядов, так как в нем сначала хранится порядок делимого, а потом порядок частного. Необходимость суммирующего счетчика обусловлена необходимостью добавления единицы к порядку результата при денормализации порядка частного.

Сумматор SM1 имеет 47 разряда на входах и выходе, а также вход CR переноса. На плечо А сумматора поступает содержимое регистра RG2, на плечо В – содержимое выхода 47-разрядного управляемого инвертора KC1, на вход CR – единица, если были инвертированы данные, поступающие из регистра RG1. С выхода S данные подаются на регистр RG2. Старший разряд выхода S подается на триггер Т6 для дальнейшего анализа знака остатка.

Из триггера Т6 данные проходят через инвертор и записываются в специальный разряд регистра RG3.

Сумматор SM2 имеет 8 разрядов на входе и выходе, вход переноса CRP и выход CR переноса. На плечо А в младшие разряды поступают данные с выхода 7-разрядного управляемого инвертора KC2, на вход В – данные из счетчика CT1. На вход CRP и в старший разряд плеча А подается единица,

Ине. №	Подп. и дата	Взам. ине.	Ине. №	Подп. и дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
ТПЖА 090301.04.686				Лист 21

если были инвертированы данные, поступающие из регистра RG4. С выхода S данные подаются на счетчик СТ. С выхода СР снимается единица перенос, которая поступает на трехвходовой элемент «сложение по модулю 2».

Единица переноса результата вычитания получается с помощью «сложения по модулю 2» единицы переноса после вычитания порядков, сигнала необходимости инвертирования порядка, формируемого «сложением по модулю 2» старшего разряда RG4 и управляющего сигнала необходимости вычитания содержимого RG4, и старшего разряда порядка делимого, снимаемого с счетчика СТ2. Она записывается в триггер Т5.

На выходную шину из счетчика СТ2 все разряды за исключением старшего поступают, проходя через управляемый инвертор КС3.

Сигнал ПРС записывается в триггер Т1.

Сигнал ДНН проходит через инвертор и записывается в триггер Т2.

На выходную шину поступают: знак частного, который получается с помощью «сложения по модулю 2» знаковых разрядов двух операндов (делителя и делимого), которые заносятся в триггеры Т3 и Т4, знак порядка, который снимается со старшего разряда СТ2, далее с СТ2 снимаются оставшиеся разряды и записываются на шину, проходя через управляемый инвертор КС3, после заносится мантисса частного с RG3.

5.3 Управляющие и осведомительные сигналы

Для выполнения операции деления из управляющего автомата в операционный автомат необходимо подавать управляющие сигналы, реализующие следующие микрооперации:

- y0 – обнуление RG2, СТ2, RG3, сброс триггеров Т1, Т2, Т6;
- y1 – сброс триггеров Т3, Т4;

Ине. №	Подп. и дата	Взам. ине.	Ине. №	Подп. и дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
ТПЖА 090301.04.686				
				Лист
				22

у12 – запись в T2 единицы.

Таким образом, управляющий МПА должен вырабатывать 13 управляющих сигналов и посылать их в ОА в нужные такты машинного

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Изн. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Изн. №	Подп. и дата
					<p>X – проверка наличия операндов на входной шине</p> <p>r0 – проверка делителя на ноль;</p> <p>r1 – определение следующей операции: вычитание или восстановление остатка;</p> <p>r2 – проверка на ПРС;</p> <p>r3 – проверка на истинную ПМР;</p> <p>r4 – проверка на временную ПМР;</p> <p>r5 – проверка нормализации;</p> <p>r6 – проверка окончания деления;</p> <p>r7 – проверка делимого на ноль;</p> <p>Z – проверка возможности выдачи результата на выходную шину</p> <p>Таким образом, управляющий МПА должен вырабатывать 13 управляющих сигналов и посылать их в ОА в нужные такты машинного</p>				
					ТПЖА 090301.04.686				
					Лист				
					23				

времени в соответствии с алгоритмом выполнения операции деления, ориентируясь на 10 осведомительных сигналов, поступающих из ОА. Схема операционного автомата представлена в приложении Б.

Инв. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Инв. №	Подп. и дата	Инв. №	Подп. и дата	ТПЖА 090301.04.686					Лист
												24
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата								

6 Разработка содержательной граф-схемы алгоритма

В первом такте производится проверка наличия на входной шине делимого. При поступлении делимого его мантисса заносится в старшие разряды RG1, порядок с знаком – в RG4. Знак делимого заносится в триггеры T3 и T4. Также в данном такте происходит обнуление триггеров T1, T2, T6, обнуление регистров RG2, RG3, счетчика CT2, занесение нулей в младшие разряды регистра RG1, запись в счетчик CT1 «001000».

Во втором такте происходит запись делимого из RG1 в RG2 путем записи в RG2 данных с выхода S сумматора SM1, которые являются результатом сложения данных RG2 (обнуленного в первом такте), подающихся на плечо А сумматора SM1, с данными регистра RG1, подающихся на плечо В сумматора SM1. Данные из RG1 на плечо В сумматора SM1 поступают без инверсии, в старший разряд KC1 подается ноль. На вход переноса SM1 подается ноль. Порядок делимого из регистра RG4 записывается в счетчик CT2 путем записи в CT2 данных с выхода S сумматора SM2, которые являются результатом сложения данных с RG4, подающихся в младшие разряды на плечо А сумматора SM2 с данными счетчика CT1 (обнуленного в первом такте), подающимся на плечо В сумматора SM2. Данные из RG4 на плечо А сумматора SM2 подаются инвертированными или неинвертированными в зависимости от сигнала необходимости инвертирования порядка, на вход CRP и в старший разряд плеча А подается сам сигнал необходимости инвертирования порядка. В триггер T5 записывается результат «сложения по модулю 2» значения с выхода CR сумматора SM2, сигнала необходимости инвертирования порядка и старшего разряда CT1.

В третьем такте производится проверка наличия на входной шине делителя. При поступлении делителя его мантисса заносится в старшие

Име. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Име. №	Подп. и дата	<div style="text-align: right; font-size: 1.2em; font-weight: bold;">ТПЖА 090301.04.686</div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div> Изм. Лист № докум. Подп. Дата </div> <div style="text-align: right;"> Лист 25 </div> </div>				

разряды регистра RG1, в младшие же разряды записываются нули. В триггер Т4 заносится знаковый разряд делителя, а его порядок – в регистр RG4.

В четвертом такте производится проверка делителя на равенство нулю. Если он равен нулю ($p_0 = 1$), то триггер Т2 переключается в единицу, показывая, что было произведено ДНН, и операция деления прекращается. Если делитель не равен нулю ($p_0 = 0$), то производится проверка делимого на равенство нулю. Если оно равно нулю ($p_7 = 1$), то сбрасываются регистры RG3, RG2, счетчик СТ2, триггеры Т1, Т2, Т3, Т4, Т6, тем самым формируя на выходной шине 0, как результат деления. Если делимое не равно нулю ($p_7=0$), то производится вычитание порядка делителя из порядка делимого, путем подачи в младшие разряды на плечо А сумматора SM2 инвертированных или неинвертированных в зависимости от сигнала необходимости инвертирования порядка, подачи на плечо В сумматора SM2 порядка делимого из счетчика СТ2, на вход переноса CRP и в старший разряд плеча А сумматора SM2 сигнал необходимости инвертирования порядка. Результат вычитания порядков записывается в счетчик СТ2 с выхода S сумматора SM2. В триггер Т5 записывается результат «сложения по модулю 2» значения с выхода CR сумматора SM2, сигнала необходимости инвертирования порядка и старшего разряда СТ1.

В пятом такте производится проверка на ПРС и ист. ПМР. Если произошло ПРС ($p_2 = 1$), то триггер Т1 переключается в 1, символизируя ПРС, и операция деления прекращается. Если возникла ист. ПМР ($p_3 = 1$), то сбрасываются регистры RG3, RG2, счетчик СТ2, триггеры Т1, Т2, Т3, Т4, Т6, тем самым формируя на выходной шине 0, как результат деления. Если ПМР не произошла ($p_3 = 0$), то производится проверка проинвертированного старшего разряда регистра RG2 (знак делимого / остатка). Если делимое / остаток положительный ($p_3 = 1$), то выполняется вычитание делителя из

Ине. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Ине. №	Подп. и дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

делимого / остатка, путем подачи на плечо А сумматора SM1 данных с регистра RG2, на плечо В сумматора SM1 инвертированных данных с регистра RG1, в старший разряд KC1 подается ноль, на вход CR подается единица. Результат вычитания делителя из делимого заносится в регистр RG2 с выхода S сумматора SM1. Знак результата с выхода S сумматора SM1 записывается в триггер Т6.

В шестом такте анализируется знак результата, записанный в триггере Т6. Если знак положительный ($p1 = 0$), то выполняется переход к 7 такту. Иначе ($p1 = 1$) выполняется восстановление остатка. Для этого на плечо А сумматора SM1 подаются данные регистра RG1 (45 разряд обнуляется), на плечо В – содержимое регистра RG2. На вход CRP подаются данные с триггера Т4. Результат с выхода S записывается в регистр RG2. С 46 разряда выхода S данные записываются в триггер Т6.

В седьмом такте производится сдвиг регистров RG1 вправо и RG3 влево с занесением в старший разряд ноль и в младший разряд значения триггера Т6 соответственно. Увеличивается счетчик СТ1 на единицу.

Далее анализируется старший разряд частного – регистра RG3. Если частное ненормализовано ($p6 = 0$), то происходит возвращение к пятому такту, тем самым оформляется цикл деления. Если частное нормализовано ($p6 = 1$), то производится проверка старшего разряда счетчика СТ1. Если количество сдвигов меньше 24 ($p5 = 0$), то увеличивается счетчик СТ2 на 1 и производится проверка на ПРС. Если произошло ПРС ($p2 = 1$), то триггер Т1 переключается в 1, символизируя ПРС, и операция деления прекращается. Если количество сдвигов равно 24 ($p5 = 1$), то производится проверка на временную ПМР, если возникла временная ПМР ($p4 = 1$), то сбрасываются регистры RG3, RG2, счетчик СТ2, триггеры Т1, Т2, Т3, Т4, Т6, тем самым формируя на выходной шине 0, как результат деления.

Ине. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Ине. №	Подп. и дата

Если ПРС и временная ПМР не возникли ($p_2 = 0$ и $p_4 = 0$ соответственно), то происходит проверка возможности выдачи результата на выходную шину. При разрешении выдачи результата на выходную шину подается знак результата с выхода элемента «сложение по модулю 2», на который подаются данные T3 и T4, также подается инвертированный знак порядок из старшего разряда СТ2, инвертированный порядок результата с младших 6 разрядов СТ2, мантисса результата из регистра RG3.

Содержательная граф-схема алгоритма представлена в приложении В.

Инв. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Инв. №	Подп. и дата						
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ТПЖА 090301.04.686					Лист
										28

7 Построение отмеченной граф-схемы алгоритма

Для разметки граф-схемы алгоритма каждой совокупности микроопераций, находящихся в операторных вершинах содержательной граф-схемы, ставятся в соответствие управляющие сигналы $Y_1 \dots Y_{12}$. Эти управляющие сигналы являются выходными сигналами управляющего автомата и обеспечивают выполнение требуемых действий в соответствии со списком микроопераций операционного автомата. Совокупности микроопераций для каждой операторной вершины образуют микрокоманды, список которых представлен в таблице 5.

Таблица 5 – Совокупность микроопераций и соответствующие им микрокоманды

МК	Совокупность МО
Y_1	y_0, y_2, y_3
Y_2	y_6, y_9
Y_3	y_2
Y_4	y_8, y_9
Y_5	y_5, y_6
Y_6	y_6
Y_7	y_4
Y_8	y_7
Y_9	y_{10}
Y_{10}	y_{11}
Y_{11}	y_{12}
Y_{12}	y_0, y_1

Каждой условной вершине содержательной граф-схемы алгоритма ставится в соответствие один из входных сигналов управляющего автомата $x_0 \dots x_9$, список которых представлен в таблице 6.

Инв. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Инв. №	Подп. и дата						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ТПЖА 090301.04.686					29

Инв. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Инв. №	Подп. и дата

Входной сигнал в УА	Логическое условие ОА
x0	X
x1	p0
x2	p7
x3	p2
x4	p3
x5	p1
x6	p6
x7	p5
x8	p4
x9	Z

Далее в полном соответствии с содержательной ГСА строится отмеченная ГСА, условным вершинам которой приписывается один из входных сигналов УА, а операторным вершинам – одна из микрокоманд. Отмеченная граф-схема алгоритма представлена в приложении Г.

8 Построение графов автоматов моделей Мили и Мура и выбор структурной схемы управляющего автомата

Граф автомата модели Мили имеет 10 вершин, соответствующих состояниям автомата $a_0 \dots a_9$. Дуги его отмечены входными сигналами $x_0 \dots x_9$, действующими на каждом переходе, и набором выходных сигналов $y_0 \dots y_{12}$, вырабатываемых управляющим автоматом на данном переходе. Граф автомата модели Мили представлен в приложении Д.

Граф автомата Мура имеет 15 вершин, соответствующих состояниям автомата $b_0 \dots b_{14}$. Каждое состояние определяет наборы выходных сигналов $y_0 \dots y_{12}$ управляющего автомата, а дуги графа отмечены входными сигналами $x_0 \dots x_9$, действующими на данном переходе. Граф автомата модели Мура представлен в приложении Е.

В управляющем автомате в качестве элементов памяти (ЭП) могут быть использованы D-триггеры, RS-триггеры, счетчик и т.д.

При использовании D-триггеров в качестве ЭП при переходе из одного состояния в другое сигналы возбуждения должны быть поданы только на те триггеры, которые в коде состояния содержат единицу. Отсюда следует, что для получения комбинационной схемы меньшей сложности необходимо соблюдать основное требование: чем больше переходов в какое-либо состояние, тем меньше единиц должен содержать код этого состояния.

Для RS-триггеров лучше использовать соседнее кодирование, так как именно этот способ минимизирует число переключений ЭП.

При использовании счетчика в качестве элемента памяти необходимо придерживаться последовательного кодирования.

Инв. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Инв. №	Подп. и дата	ТПЖА 090301.04.686					Лист
										31
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						

9 Кодирование внутренних состояний для модели Мили

9.1 Кодирование внутренних состояний для модели Мили на D-триггерах

Для кодирования 10 состояний ($a_0 \dots a_9$) графа автомата по модели Мили, минимально необходимо четыре элемента памяти.

С учетом особенностей работы D-триггера для кодирования состояний применяется метод, который состоит в том, чтобы выбрать код содержащий меньше единиц для состояния, в который больше всего переходов. Алгоритм данного метода кодирования следующий:

Каждому состоянию a_i ставится в соответствие целое число N_i , равное числу переходов в данное состояние;

Состоянию a_0 присваивается код, содержащий все нули, для упрощения начальной установки D-триггера;

Далее состоянию, соответствующему большему N_i , присваивается код, содержащий наименьшее количество единиц. Данный пункт повторяется до тех пор, пока все состояния не будут закодированы.

Кодирование состояний для модели Мили на D-триггерах представлено в таблице 7.

Таблица 7 – Коды состояний для модели Мили на D-триггерах

Исходное состояние	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8	a_9
Состояния перехода	a_0 a_3 a_4 a_8 a_9	a_0	a_1 a_2	a_2	a_3	a_4 a_7	a_5	a_5 a_6	a_7	a_3 a_4 a_7 a_8 a_9
Число переходов	5	1	2	1	1	2	1	2	1	6
Код	0000	0011	0010	0110	1100	0100	0101	1000	1001	0001

Инв. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Инв. №	Подп. и дата						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ТПЖА 090301.04.686					32

Далее составляется прямая структурная таблица переходов и выходов автомата по модели Мили, результаты которой представлены в таблице 8, и формируются логические выражения для функций возбуждения.

Таблица 8 – Прямая структурная таблица переходов и выходов автомата модели Мили на D-триггерах

am	K(am)	as	K(as)	X(am,as)	Y(am,as)	F(am,as)
a0	0000	a0	0000	$\neg x_0$	~	-
		a1	0011	x_0	$y_0y_2y_3$	D1D0
a1	0011	a2	0010	1	y_6y_9	D1
a2	0010	a2	0010	$\neg x_0$	~	D1
		a3	0110	x_0	y_2	D2D1
a3	0110	a0	0000	x_1	y_{12}	-
		a4	1100	$\neg x_1\neg x_2$	y_8y_9	D3D2
		a9	0001	$\neg x_1x_2$	y_0y_1	D0
a4	1100	a0	0000	x_3	y_{11}	-
		a5	0100	$\neg x_3\neg x_4$	y_5y_6	D2
		a9	0001	$\neg x_3x_4$	y_0y_1	D0
a5	0010	a6	0101	x_5	y_6	D2D0
		a7	1000	$\neg x_5$	y_4	D3
a6	0101	a7	1000	1	y_4	D3
a7	0001	a5	0100	$\neg x_6$	y_5y_6	D2
		a8	1001	$x_6\neg x_7$	y_{10}	D3D0
		a9	0001	$x_6x_7x_8$	y_0y_1	D0
		a9	0001	$x_6x_7\neg x_8$	~	D0
a8	1001	a0	0000	x_3	y_{11}	-
		a9	0001	$\neg x_3$	~	D0

Инв. №	Подп. и дата	Инв. №	Подп. и дата
	Взам. инв.	Инв. №	Подп. и дата
	Подп. и дата	Инв. №	Подп. и дата

Продолжение таблицы 8.

a9	0000	a0	0000	x9	y7	-
		a9	0001	¬x9	~	D0

Логические выражения для каждой функции возбуждения D-триггера получают по таблице, как конъюнкции соответствующих исходных состояний a_m и входных сигналов, которые объединены знаками дизъюнкции для всех строк, содержащих данную функцию возбуждения:

$$D0 = a0x0 \vee a3\neg x1x2 \vee a4\neg x3x4 \vee a5x5 \vee a7x6\neg x7 \vee a7x6x7x8 \vee a7x6x7\neg x8 \vee a8\neg x3 \vee a9\neg x9$$

$$D1 = a0x0 \vee a1 \vee a2\neg x0 \vee a2x0$$

$$D2 = a2x0 \vee a3\neg x1\neg x2 \vee a4\neg x3\neg x4 \vee a5x5 \vee a7\neg x6$$

$$D3 = a3\neg x1\neg x2 \vee a5\neg x5 \vee a7x6\neg x7$$

Аналогично составляются логические выражения для функций ВЫХОДОВ:

$$y12 = a3x1$$

$$y11 = a4x3 \vee a8x3$$

$$y10 = a7x6\neg x7$$

$$y9 = a1 \vee a3\neg x1\neg x2$$

$$y8 = a3\neg x1\neg x2$$

$$y7 = a9x9$$

$$y6 = a1 \vee a4\neg x3\neg x4 \vee a5x5 \vee a7\neg x6$$

$$y5 = a4\neg x3\neg x4 \vee a7\neg x6$$

$$y4 = a5\neg x5 \vee a6$$

$$y3 = a0x0$$

$$y2 = a0x0 \vee a2x0$$

$$y1 = a3\neg x1x2 \vee a4\neg x3x4 \vee a7x6x7x8$$

$$y0 = a0x0 \vee a3\neg x1x2 \vee a4\neg x3x4 \vee a7x6x7x8$$

Ине. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Ине. №	Подп. и дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
ТПЖА 090301.04.686				Лист
				34

После выделения общих частей в логических выражениях и некоторого их упрощения получаем логические уравнения для построения функциональной схемы управляющего автомата:

$$y_{12} = a_3x_1 \quad (2)$$

$$y_{11} = a_4x_3 \vee a_8x_3 \quad (6)$$

$$y_{10} = a_7x_6 \neg x_7 \quad (3)$$

$$y_9 = a_1 \vee s \quad (2)$$

$$y_8 = s \quad (0)$$

$$y_7 = a_9x_9 \quad (2)$$

$$y_6 = a_1 \vee p \vee z \vee l \quad (4)$$

$$y_5 = p \vee l \quad (2)$$

$$y_4 = m \vee a_6 \quad (2)$$

$$y_3 = t \quad (0)$$

$$y_2 = t \vee g \quad (2)$$

$$y_1 = h \vee q \vee n \quad (3)$$

$$y_0 = t \vee h \vee q \vee n \quad (4)$$

$$t = a_0x_0 \quad (2)$$

$$z = a_5x_5 \quad (2)$$

$$m = a_5 \neg x_5 \quad (2)$$

$$n = a_7x_6x_7x_8 \quad (4)$$

$$q = a_4 \neg x_3x_4 \quad (3)$$

$$p = a_4 \neg x_3 \neg x_4 \quad (3)$$

$$l = a_7 \neg x_6 \quad (2)$$

$$s = a_3 \neg x_1 \neg x_2 \quad (3)$$

$$h = a_3 \neg x_1x_2 \quad (3)$$

$$g = a_2x_0 \quad (2)$$

$$D_0 = t \vee h \vee q \vee z \vee a_7x_6 \vee a_8 \neg x_3 \vee a_9 \neg x_9 \quad (13)$$

$$D_1 = t \vee a_1 \vee a_2 \quad (3)$$

Изн. №	Подп. и дата	Взам. изн.	Изн. №	Подп. и дата	$y_0 = t \vee h \vee q \vee n$	(4)	
					$t = a_0x_0$	(2)	
					$z = a_5x_5$	(2)	
					$m = a_5 \neg x_5$	(2)	
					$n = a_7x_6x_7x_8$	(4)	
					$q = a_4 \neg x_3x_4$	(3)	
					$p = a_4 \neg x_3 \neg x_4$	(3)	
					$l = a_7 \neg x_6$	(2)	
					$s = a_3 \neg x_1 \neg x_2$	(3)	
					$h = a_3 \neg x_1x_2$	(3)	
Изн. №	Подп. и дата	Взам. изн.	Изн. №	Подп. и дата	$g = a_2x_0$	(2)	
					$D_0 = t \vee h \vee q \vee z \vee a_7x_6 \vee a_8 \neg x_3 \vee a_9 \neg x_9$	(13)	
					$D_1 = t \vee a_1 \vee a_2$	(3)	
Изн. №	Подп. и дата	Взам. изн.	Изн. №	Подп. и дата	ТПЖА 090301.04.686		Лист
Изн.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата			35

$$D2 = g \vee s \vee p \vee z \vee l \quad (5)$$

$$D3 = s \vee m \vee a6 \vee f \quad (4)$$

$$\text{Инверторы: } \neg x1, \neg x2, \neg x3, \neg x4, \neg x5, \neg x6, \neg x7 \quad (7)$$

Цена комбинационной схемы по Квайну автомата по модели Мили при использовании графа, построенного на основе ГСА, который представлен в приложении Д, с использованием в качестве элементов памяти 4 D-триггеров:

$$\Sigma = \text{КС} + \text{ИНВ} + \text{ЭП} + \text{НУ} + \text{ДШ} = 83 + 7 + 12 + 0 + 4 = 106$$

Схема формирования начальной установки на D-триггерах представлена на рисунке 1.

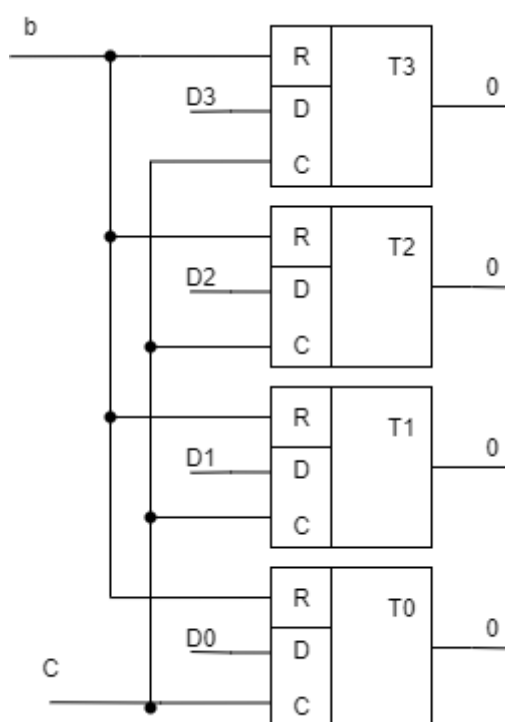


Рисунок 1 – Схема формирования начальной установки на D-триггерах

9.2 Кодирование внутренних состояний для модели Мили на RS-триггерах

Для кодирования 10 состояний автомата Мили на RS-триггерах так же потребуется 4 триггера. При кодировании следует применить метод соседнего кодирования для минимизации числа переключений триггеров при переходе

Ине. №	Подп. и дата	Ине. №	Подп. и дата	Ине. №	Подп. и дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	
ТПЖА 090301.04.686					Лист
					36

Инв. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Инв. №	Подп. и дата

– из следующей строки матрицы выбирается незакодированное состояние γ , строится для него матрица $\|M_\gamma\|$, которая состоит из всех анализируемых строк из матрицы $\|M\|$, которые содержат состояние γ . Далее для γ находится множество B_γ , состоящее из закодированных состояний, взятых матрицы $\|M_\gamma\|$. Для каждого элемента из множества B_γ находится множество соседних кодов C_δ^1 , если таких нет, то находится C_δ^2 и тд. Далее все коды из множеств C_δ^1 собираются в множество D_γ^1 . Далее для каждого элемента

множества D_{γ}^1 высчитывается суммарное количество переключений триггера при кодировании состояния γ данным кодом. Код, который потребует минимальное число переключений назначается состоянию γ . Из матрицы $\|M\|$ вычеркиваются все строки, в которых оба состояния закодированы;

– предыдущий пункт повторяется до тех пор, пока все состояния не будут закодированы.

На рисунках 2,3 представлено кодирование состояний автомата Мили эвристическим методом.

Инв. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Инв. №	Подп. и дата	<div>ТПЖА 090301.04.686</div>	Лист
						38
						Изм.

$$M = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 2 \\ 2 & 3 \\ 3 & 0 \\ 3 & 4 \\ 3 & 9 \\ 4 & 0 \\ 4 & 5 \\ 4 & 9 \\ 5 & 6 \\ 5 & 7 \\ 6 & 7 \\ 7 & 5 \\ 7 & 8 \\ 7 & 9 \\ 8 & 0 \\ 8 & 9 \\ 9 & 0 \end{pmatrix} \longrightarrow M = \begin{pmatrix} 7 & 9 \\ 9 & 0 \\ 3 & 0 \\ 3 & 9 \\ 4 & 0 \\ 4 & 9 \\ 5 & 7 \\ 7 & 5 \\ 3 & 4 \\ 4 & 5 \\ 7 & 8 \\ 8 & 0 \\ 8 & 9 \\ 0 & 1 \\ 6 & 7 \\ 2 & 3 \\ 5 & 6 \\ 1 & 2 \end{pmatrix} \quad \begin{array}{l} a_7 = 0000 \\ a_9 = 0001 \end{array}$$

$$M^0 = \begin{pmatrix} 9 & 0 \\ 3 & 0 \\ 4 & 0 \\ 8 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \quad \begin{array}{l} B_0 = \{9\} = \{0001\} \\ C^1_9 = \{0011, 0101, 1001\} \\ D^1_0 = \{0011, 0101, 1001\} \\ w_{0011} = |0001 \oplus 0011| = 1 \\ w_{0101} = |0001 \oplus 0101| = 1 \\ w_{1001} = |0001 \oplus 1001| = 1 \end{array} \quad a_0 = 0011$$

$$M^3 = \begin{pmatrix} 3 & 0 \\ 3 & 9 \\ 3 & 4 \\ 2 & 3 \end{pmatrix} \quad \begin{array}{l} B_3 = \{0, 9\} = \{0011, 0001\} \\ C^1_0 = \{0111, 1011\} \\ C^1_9 = \{0101, 1001\} \\ D^1_3 = \{0101, 0111, 1001, 1011\} \\ w_{0101} = |0011 \oplus 0101| + |0001 \oplus 0101| = 2+1 = 3 \\ w_{0111} = |0011 \oplus 0111| + |0001 \oplus 0111| = 1+2 = 3 \\ w_{1001} = |0011 \oplus 1001| + |0001 \oplus 1001| = 2+1 = 3 \\ w_{1011} = |0011 \oplus 1011| + |0001 \oplus 1011| = 1+2 = 3 \end{array} \quad a_3 = 0101$$

$$M^4 = \begin{pmatrix} 4 & 0 \\ 4 & 9 \\ 3 & 4 \\ 4 & 5 \end{pmatrix} \quad \begin{array}{l} B_3 = \{0, 3, 9\} = \{0011, 0101, 0001\} \\ C^1_0 = \{0111, 1011\} \\ C^1_3 = \{0111, 1101\} \\ C^1_9 = \{1001\} \\ D^1_3 = \{0111, 1001, 1011, 1101\} \\ w_{0111} = |0011 \oplus 0111| + |0101 \oplus 0111| + |0001 \oplus 0111| = 1+1+2 = 4 \\ w_{1001} = |0011 \oplus 1001| + |0101 \oplus 1001| + |0001 \oplus 1001| = 2+2+1 = 5 \\ w_{1011} = |0011 \oplus 1011| + |0101 \oplus 1011| + |0001 \oplus 1011| = 1+3+2 = 6 \\ w_{1101} = |0011 \oplus 1101| + |0101 \oplus 1101| + |0001 \oplus 1101| = 3+1+2 = 6 \end{array} \quad a_4 = 0111$$

$$M^5 = \begin{pmatrix} 5 & 7 \\ 7 & 5 \\ 4 & 5 \end{pmatrix} \quad \begin{array}{l} B_5 = \{4, 7\} = \{0111, 0000\} \\ C^1_4 = \{1111, 0110\} \\ C^1_7 = \{0010, 0100, 1000\} \\ D^1_5 = \{0010, 0100, 0110, 1000, 1111\} \\ w_{0010} = |0111 \oplus 0010| + |0000 \oplus 0010| = 2+1 = 3 \\ w_{0100} = |0111 \oplus 0100| + |0000 \oplus 0100| = 2+1 = 3 \\ w_{0110} = |0111 \oplus 0110| + |0000 \oplus 0110| = 1+2 = 3 \\ w_{1000} = |0111 \oplus 1000| + |0000 \oplus 1000| = 4+1 = 5 \\ w_{1111} = |0111 \oplus 1111| + |0000 \oplus 1111| = 1+4 = 5 \end{array} \quad a_5 = 0010$$

Рисунок 2 – кодирование состояний эвристическим методом

Ине. №	Взам. ине.	Ине. №	Подп. и дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подп. Дата
ТПЖА 090301.04.686			
Лист 39			

$$M^8 = \begin{vmatrix} 7 & 8 \\ 8 & 0 \\ 8 & 9 \end{vmatrix} \quad \begin{aligned} B_8 &= \{0, 7, 9\} = \{0011, 0000, 0001\} \\ C^1_0 &= \{1011\} \\ C^1_7 &= \{0100, 1000\} \\ C^1_9 &= \{1001\} \\ D^1_8 &= \{0100, 1000, 1001, 1011\} \\ w_{0100} &= |0011 \oplus 0100| + |0000 \oplus 0100| + |0001 \oplus 0100| = 3+1+2 = 6 \\ w_{1000} &= |0011 \oplus 1000| + |0000 \oplus 1000| + |0001 \oplus 1000| = 3+1+2 = 6 \\ w_{1001} &= |0011 \oplus 1001| + |0000 \oplus 1001| + |0001 \oplus 1001| = 2+2+1 = 5 \\ w_{1011} &= |0011 \oplus 1011| + |0000 \oplus 1011| + |0001 \oplus 1011| = 1+3+2 = 6 \end{aligned} \quad \underline{a8 = 1001}$$

$$M^1 = \begin{vmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 2 \end{vmatrix} \quad \begin{aligned} B_1 &= \{0\} = \{0001\} \\ C^1_0 &= \{1011\} \\ D^1_1 &= \{1011\} \\ w_{1011} &= |0001 \oplus 1011| = 2 \end{aligned} \quad \underline{a1 = 1011}$$

$$M^6 = \begin{vmatrix} 6 & 7 \\ 5 & 6 \end{vmatrix} \quad \begin{aligned} B_6 &= \{5, 7\} = \{0010, 0000\} \\ C^1_5 &= \{0110, 1010\} \\ C^1_7 &= \{0100, 1000\} \\ D^1_6 &= \{0100, 0110, 1000, 1010\} \\ w_{0100} &= |0010 \oplus 0100| + |0000 \oplus 0100| = 2+1 = 3 \\ w_{0110} &= |0010 \oplus 0110| + |0000 \oplus 0110| = 1+2 = 3 \\ w_{1000} &= |0010 \oplus 1000| + |0000 \oplus 1000| = 2+1 = 3 \\ w_{1010} &= |0010 \oplus 1010| + |0000 \oplus 1010| = 1+2 = 3 \end{aligned} \quad \underline{a6 = 0100}$$

$$M^2 = \begin{vmatrix} 2 & 3 \\ 1 & 2 \end{vmatrix} \quad \begin{aligned} B_2 &= \{1, 3\} = \{1011, 0101\} \\ C^1_1 &= \{1010, 1111\} \\ C^1_3 &= \{1101\} \\ D^1_2 &= \{1010, 1101, 1111\} \\ w_{1010} &= |1011 \oplus 1010| + |0101 \oplus 1010| = 1+4 = 5 \\ w_{1101} &= |1011 \oplus 1101| + |0101 \oplus 1101| = 2+1 = 3 \\ w_{1111} &= |1011 \oplus 1111| + |0101 \oplus 1111| = 1+2 = 3 \end{aligned} \quad \underline{a2 = 1101}$$

Рисунок 3 – кодирование состояний эвристическим методом

Для определения эффективности кодирования применяется коэффициент k , который является отношением минимального количества переключений (если бы состояния были закодированы соседним кодированием) к общему количеству переключений триггеров, где состояния закодированы с помощью эвристического метода кодирования:

Эффективность кодирования: $k = 29/24 = 1.21$.

Получившиеся коды состояний представлены в таблице 9.

Име. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Име. №	Подп. и дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
ТПЖА 090301.04.686				
				Лист
				40

Таблица 9 – Коды состояний для модели Мили на RS-триггерах

Состояние	a0	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9
Код	0011	1011	1101	0101	0111	0010	0100	0000	1001	0001

Далее составляется прямая структурная таблица переходов и выходов автомата модели Мили, представленная в таблице 10, и по известному правилу формируются логические выражения для функций возбуждения.

Таблица 10 – Прямая структурная таблица переходов и выходов автомата модели Мили на RS-триггерах

am	K(am)	as	K(as)	X(am,as)	Y(am,as)	F(am,as)
a0	0011	a0	0011	$\neg x_0$	~	-
		a1	1011	x_0	$y_0 y_2 y_3$	S3
a1	1011	a2	1101	1	$y_6 y_9$	S2R1
a2	1101	a2	1101	$\neg x_0$	~	-
		a3	0101	x_0	y_2	R3
a3	0101	a0	0011	x_1	y_{12}	R2S1
		a4	0111	$\neg x_1 \neg x_2$	$y_8 y_9$	S1
		a9	0001	$\neg x_1 x_2$	$y_0 y_1$	R2
a4	0111	a0	0011	x_3	y_{11}	R2
		a5	0010	$\neg x_3 \neg x_4$	$y_5 y_6$	R2R0
		a9	0001	$\neg x_3 x_4$	$y_0 y_1$	R2R1
a5	0010	a6	0100	x_5	y_6	S2R1
		a7	0000	$\neg x_5$	y_4	R1
a6	0100	a7	0000	1	y_4	R2

Инв. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Инв. №	Подп. и дата						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ТПЖА 090301.04.686					41

Продолжение таблицы 10.

a7	0000	a5	0010	$\neg x_6$	y5y6	S1
		a8	1001	$x_6 \neg x_7$	y10	S3S0
		a9	0001	$x_6 x_7 x_8$	y0y1	S0
		a9	0001	$x_6 x_7 \neg x_8$	~	S0
a8	1001	a0	0011	x_3	y11	R3S1
		a9	0001	$\neg x_3$	~	R3
a9	0001	a0	0011	x_9	y7	S1
		a9	0001	$\neg x_9$	~	-

Логические выражения для каждой функции возбуждения RS- триггера получают по таблице, как конъюнкции соответствующих исходных состояний a_m и входных сигналов, которые объединены знаками дизъюнкции для всех строк, содержащих данную функцию возбуждения:

$$S0 = a7x_6\neg x_7 \vee a7x_6x_7x_8 \vee a7x_6x_7\neg x_8$$

$$R0 = a4\neg x_3\neg x_4$$

$$S1 = a3x_1 \vee a3\neg x_1\neg x_2 \vee a7\neg x_6 \vee a8x_3 \vee a9x_9$$

$$R1 = a1 \vee a4\neg x_3x_4 \vee a5x_5 \vee a5\neg x_5$$

$$S2 = a1 \vee a5x_5$$

$$R2 = a3x_1 \vee a3\neg x_1x_2 \vee a4x_3 \vee a4\neg x_3\neg x_4 \vee a4\neg x_3x_4$$

$$S3 = a0x_0 \vee a7x_6\neg x_7$$

$$R3 = a2x_0 \vee a8x_3 \vee a8\neg x_3$$

Аналогично составляются логические выражения для функций ВЫХОДОВ:

$$y12 = a3x_1$$

$$y11 = a4x_3 \vee a8x_3$$

$$y10 = a7x_6\neg x_7$$

Инв. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Инв. №	Подп. и дата	ТПЖА 090301.04.686					Лист
										42
					Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	

$$m = a3x1 \quad (2)$$

$$n = a7x6x7x8 \quad (4)$$

$$q = a4\neg x3\neg x4 \quad (3)$$

$$p = a4\neg x3x4 \quad (3)$$

$$s = a3\neg x1\neg x2 \quad (3)$$

$$f = a7x6\neg x7 \quad (3)$$

$$c = a3\neg x1x2 \quad (3)$$

$$b = a7\neg x6 \quad (2)$$

$$d = a2x0 \quad (2)$$

$$g = a9x9 \quad (2)$$

$$h = a8x3 \quad (2)$$

$$S0 = a7x6 \quad (2)$$

$$R0 = q \quad (0)$$

$$S1 = m \vee s \vee b \vee h \vee g \quad (5)$$

$$R1 = a1 \vee p \vee a5 \quad (3)$$

$$S2 = a1 \vee z \quad (2)$$

$$R2 = m \vee c \vee a4 \quad (3)$$

$$S3 = t \vee f \quad (2)$$

$$R3 = d \vee a8 \quad (2)$$

$$\text{Инверторы: } \neg x1, \neg x2, \neg x3, \neg x4, \neg x5, \neg x6, \neg x7 \quad (7)$$

Цена комбинационной схемы по Квайну автомата по модели Мили при использовании графа, построенного на основе ГСА, который представлен в приложении Д, с использованием в качестве элементов памяти 4 RS-триггеров:

$$\Sigma = \text{КС} + \text{ИНВ} + \text{ЭП} + \text{НУ} + \text{ДШ} = 77+7+12+17+4=117$$

Схема формирования начальной установки на RS-триггерах представлена на рисунке 3.

Инв. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Инв. №	Подп. и дата	$S2 = a1 \vee z$	(2)
					$R2 = m \vee c \vee a4$	(3)
Инв. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Инв. №	Подп. и дата	$S3 = t \vee f$	(2)
					$R3 = d \vee a8$	(2)
Инв. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Инв. №	Подп. и дата	Инверторы: $\neg x1, \neg x2, \neg x3, \neg x4, \neg x5, \neg x6, \neg x7$	(7)
					Цена комбинационной схемы по Квайну автомата по модели Мили при использовании графа, построенного на основе ГСА, который представлен в приложении Д, с использованием в качестве элементов памяти 4 RS-триггеров:	
Инв. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Инв. №	Подп. и дата	$\Sigma = \text{КС} + \text{ИНВ} + \text{ЭП} + \text{НУ} + \text{ДШ} = 77+7+12+17+4=117$	
					Схема формирования начальной установки на RS-триггерах представлена на рисунке 3.	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ТПЖА 090301.04.686	
					Лист 44	

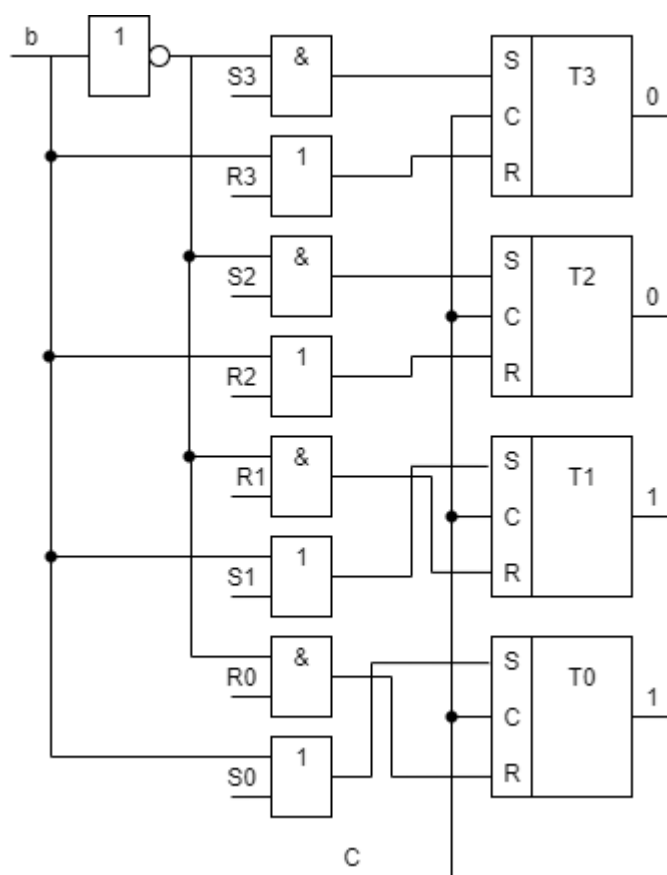


Рисунок 4 – Схема формирования начальной установки на RS- триггерах

9.3 Кодирование внутренних состояний для модели Мили на счетчике

При кодировании состояний на счетчике необходимо стараться закодировать состояния таким образом, чтобы код состояния, отличающегося от предыдущего порядковым номером на единицу, был больше на единицу, так как счетчик имеет входные управляющие сигналы «+1», «Reset», «WR». Если при кодировании возникает ситуация, когда происходит переход в состояние отличное от предыдущего состояния более чем на единицу, необходимо заносить нестандартное состояние сразу же на элементы памяти счетчика. Для кодирования 10 состояний автомата по модели Мили потребуется 4-х разрядный счетчик. Получившиеся коды состояний представлены в таблице 11.

Инв. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Инв. №	Подп. и дата	9.3 Кодирование внутренних состояний для модели Мили на счетчике					
					При кодировании состояний на счетчике необходимо стараться закодировать состояния таким образом, чтобы код состояния, отличающегося от предыдущего порядковым номером на единицу, был больше на единицу, так как счетчик имеет входные управляющие сигналы «+1», «Reset», «WR».					
					Если при кодировании возникает ситуация, когда происходит переход в состояние отличное от предыдущего состояния более чем на единицу, необходимо заносить нестандартное состояние сразу же на элементы памяти счетчика. Для кодирования 10 состояний автомата по модели Мили потребуется 4-х разрядный счетчик. Получившиеся коды состояний представлены в таблице 11.					
					ТПЖА 090301.04.686					Лист
										45
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						

Таблица 11 – Коды состояний для модели Мили на счетчике

Состояние	a0	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9
Код	0001	0010	0011	0100	0101	0110	0111	1000	1001	0000

Далее составляется прямая структурная таблица переходов и выходов автомата Мили на счетчике, результаты которой представлены в таблице 12, и по известному правилу формируются логические выражения для функций возбуждения.

Таблица 12 – Структурная таблица переходов и выходов автомата модели Мили на счетчике

am	K(am)	as	K(as)	X(am,as)	Y(am,as)	F(am,as)
a0	0001	a0	0001	$\neg x_0$	\sim	-
		a1	0010	x_0	$y_0y_2y_3$	+1
a1	0010	a2	0011	1	y_6y_9	+1
a2	0011	a2	0011	$\neg x_0$	\sim	-
		a3	0100	x_0	y_2	+1
a3	0100	a0	0001	x_1	y_{12}	WRD0
		a4	0101	$\neg x_1\neg x_2$	y_8y_9	+1
		a9	0000	$\neg x_1x_2$	y_0y_1	Reset
a4	0101	a0	0001	x_3	y_{11}	WRD0
		a5	0110	$\neg x_3\neg x_4$	y_5y_6	+1
		a9	0000	$\neg x_3x_4$	y_0y_1	Reset
a5	0101	a6	0111	x_5	y_6	+1
		a7	1000	$\neg x_5$	y_4	WRD3
a6	0111	a7	1000	1	y_4	+1

Ине. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Ине. №	Подп. и дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Продолжение таблицы 12.

a7	1000	a5	0110	$\neg x_6$	y5y6	WRD2D1
		a8	1001	$x_6 \neg x_7$	y10	+1
		a9	0000	$x_6 x_7 x_8$	y0y1	Reset
		a9	0000	$x_6 x_7 \neg x_8$	~	Reset
a8	1001	a0	0001	x_3	y11	WRD0
		a9	0000	$\neg x_3$	~	Reset
a9	0000	a0	0001	x_9	y7	+1
		a9	0000	$\neg x_9$	~	-

Логические выражения для каждой функции возбуждения счетчика получают по таблице, как конъюнкции соответствующих исходных состояний a_m и входных сигналов, которые объединены знаками дизъюнкции для всех строк, содержащих данную функцию возбуждения:

$$+1 = a_0 x_0 \vee a_1 \vee a_2 x_0 \vee a_3 \neg x_1 \neg x_2 \vee a_4 \neg x_3 \neg x_4 \vee a_5 x_5 \vee a_6 \vee a_7 x_6 \neg x_7 \vee a_9 x_9$$

$$WR = D_0 \vee D_1 \vee D_2 \vee D_3$$

$$D_0 = a_3 x_1 \vee a_4 x_3 \vee a_8 x_3$$

$$D_1 = a_7 \neg x_6$$

$$D_2 = a_7 \neg x_6$$

$$D_3 = a_5 \neg x_5$$

$$\text{Reset} = a_3 \neg x_1 x_2 \vee a_4 \neg x_3 x_4 \vee a_7 x_6 x_7 x_8 \vee a_7 x_6 x_7 \neg x_8 \vee a_8 \neg x_3$$

Аналогично составляются логические выражения для функций
ВЫХОДОВ:

$$y_{12} = a_3 x_1$$

$$y_{11} = a_8 x_3 \vee a_4 x_3$$

$$y_{10} = a_7 x_6 \neg x_7$$

Инв. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Инв. №	Подп. и дата	ТПЖА 090301.04.686					Лист 47
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						

$$g = a7x6x7x8 \quad (4)$$

$$j = a7\neg x6 \quad (2)$$

$$d = a7x6\neg x7 \quad (3)$$

$$h = a4\neg x3\neg x4 \quad (3)$$

$$k = a4\neg x3x4 \quad (3)$$

$$l = a3\neg x1x2 \quad (3)$$

$$m = a3\neg x1\neg x2 \quad (3)$$

$$n = a8x3 \quad (2)$$

$$p = a3x1 \quad (2)$$

$$q = a2x0 \quad (2)$$

$$s = a4x3 \quad (2)$$

$$w = a5x5 \quad (2)$$

$$z = a5\neg x5 \quad (2)$$

$$+1 = t \vee a1 \vee q \vee m \vee h \vee w \vee a6 \vee a8\neg x3 \quad (10)$$

$$WR = D0 \vee D1 \vee D2 \vee D3 \quad (4)$$

$$D0 = p \vee s \vee n \quad (3)$$

$$D1 = j \quad (0)$$

$$D2 = j \quad (0)$$

$$D3 = z \quad (0)$$

$$Reset = l \vee k \vee a7x6x7 \vee a8\neg x3 \quad (9)$$

$$\text{Инверторы: } \neg x1, \neg x2, \neg x3, \neg x4, \neg x5, \neg x6, \neg x7 \quad (7)$$

Цена комбинационной схемы по Квайну автомата по модели Мили при использовании графа, построенного на основе ГСА, который представлен в приложении Д, с использованием в качестве элемента памяти 4-х разрядного счетчика:

$$\Sigma = \text{КС} + \text{ИНВ} + \text{ЭП} + \text{НУ} + \text{ДШ} = 83+7+8+2+4=104$$

Схема формирования начальной установки на счетчике представлена на рисунке 5.

Инв. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Инв. №	Подп. и дата	D0 = p v s v n	(3)
					D1 = j	(0)
					D2 = j	(0)
Инв. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Инв. №	Подп. и дата	D3 = z	(0)
					Reset = l v k v a7x6x7 v a8¬x3	(9)
					Инверторы: ¬x1, ¬x2, ¬x3, ¬x4, ¬x5, ¬x6, ¬x7	(7)
Инв. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Инв. №	Подп. и дата	Цена комбинационной схемы по Квайну автомата по модели Мили при использовании графа, построенного на основе ГСА, который представлен в приложении Д, с использованием в качестве элемента памяти 4-х разрядного счетчика:	
					$\Sigma = \text{КС} + \text{ИНВ} + \text{ЭП} + \text{НУ} + \text{ДШ} = 83+7+8+2+4=104$	
					Схема формирования начальной установки на счетчике представлена на рисунке 5.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ТПЖА 090301.04.686	Лист
						49

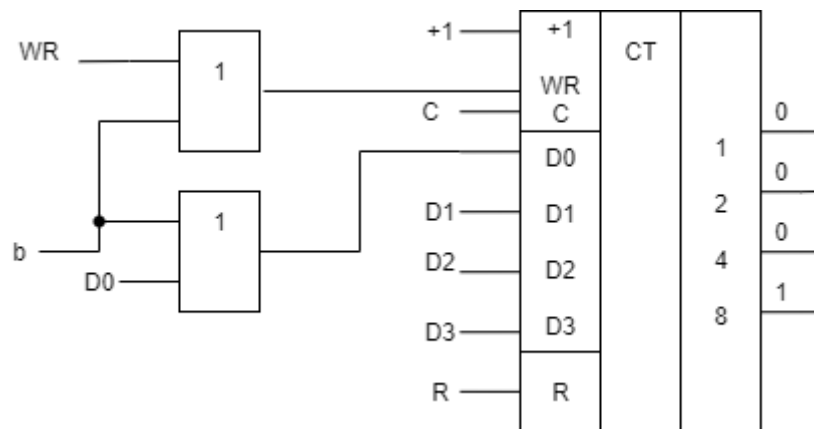


Рисунок 5 – Схема формирования начальной установки на счетчике

Изн. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Изн. №	Подп. и дата

Изн. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ТПЖА 090301.04.686				Лист
				50

10 Кодирование внутренних состояний для модели Мура

10.1 Кодирование внутренних состояний для модели Мура на D-триггерах

Для кодирования 15 состояний ($b_0 \dots b_{14}$) графа автомата по модели Мура, минимально необходимо четыре элемента памяти.

С учетом особенностей работы D-триггера для кодирования состояний применяется метод, который состоит в том, чтобы выбрать код содержащий меньше единиц для состояния, в который больше всего переходов. Алгоритм данного метода кодирования следующий:

Каждому состоянию b_i ставится в соответствие целое число N_i , равное числу переходов в данное состояние;

Состояния b_0 присваивается код, содержащий все нули, для упрощения начальной установки D-триггера.

Далее состоянию, соответствующему большему N_i , присваивается код, содержащий наименьшее количество единиц. Данный пункт повторяется до тех пор, пока все состояния не будут закодированы.

Кодирование состояний для модели Мура на D-триггерах представлено в таблице 13.

Таблица 13 – Коды состояний для модели Мура на D-триггерах

Исходное состояние	Состояния перехода	Число переходов	Код состояния
b_0	$b_0, b_{10}, b_{12}, b_{14}$	4	0000
b_1	b_0	1	1010
b_2	b_1	1	0101
b_3	b_2, b_3	2	1000
b_4	b_2, b_3	2	0011
b_5	b_4	1	0111
b_6	b_5, b_8	2	0110
b_7	b_6	1	1110
b_8	b_6, b_7	2	1100

Инв. №	Взам. инв.	Инв. №	Подп. и дата					
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ТПЖА 090301.04.686			Лист
								51

Продолжение таблицы 13.

b9	b8, b9, b11, b13	4	0001
b10	b8, b9, b11, b13	4	0010
b11	b8	1	1101
b12	b5, b11	2	1001
b13	b4, b5, b8	3	0100
b14	b4	1	1011

Далее составляется прямая структурная таблица переходов и выходов автомата по модели Мура, результаты которой представлены в таблице 14, и формируются логические выражения для функций возбуждения.

Таблица 14 – Прямая структурная таблица переходов и выходов автомата модели Мура на D-триггерах

bm	K(am)	bs	K(bs)	X(bm,bs)	Y(bm,bs)	F(bm,bs)
b0	0000	b0	0000	$\neg x_0$	~	-
		b1	1010	x_0	$y_0 y_2 y_3$	D3D1
b1	1010	b2	0101	1	$y_6 y_9$	D2D0
b2	0101	b3	1000	$\neg x_0$	~	D3
		b4	0011	x_0	y_2	D1D0
b3	1000	b3	1000	$\neg x_0$	~	D3
		b4	0011	x_0	y_2	D1D0
b4	0011	b5	0111	$\neg x_1 \neg x_2$	$y_8 y_9$	D2D1D0
		b13	0100	$\neg x_1 x_2$	$y_0 y_1$	D2
		b14	1011	x_1	y_{12}	D3D1D0
b5	0111	b6	0110	$\neg x_3 \neg x_4$	$y_5 y_6$	D2D1
		b12	1001	x_3	y_{11}	D3D0
		b13	0100	$\neg x_3 x_4$	$y_0 y_1$	D2
b6	0110	b7	1110	x_5	y_6	D3D2D1
		b8	1100	$\neg x_5$	y_4	D3D2

Изн. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Изн. №	Подп. и дата						
Изн. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Изн. №	Подп. и дата	ТПЖА 090301.04.686					
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						Лист
										52

Продолжение таблицы 14.

b7	1110	b8	1100	1	y4	D3D2
b8	1100	b6	0110	$\neg x_6$	y5y6	D2D1
		b9	0001	$x_6x_7\neg x_8\neg x_9$	~	D0
		b10	0010	$x_6x_7\neg x_8x_9$	y7	D1
		b11	1101	$x_6\neg x_7$	y10	D3D2D0
		b13	0100	$x_6x_7x_8$	y0y1	D2
b9	0001	b9	0001	$\neg x_9$	~	D0
		b10	0010	x_9	y7	D1
b10	0010	b0	0000	1	~	-
b11	0001	b9	0001	$\neg x_3\neg x_9$	~	D0
		b10	0010	$\neg x_3x_9$	y7	D1
		b12	1001	x_3	y11	D3D0
b12	1001	b0	0000	1	~	-
b13	0100	b9	0001	$\neg x_9$	~	D0
		b10	0010	x_9	y7	D1
b14	1011	b0	0000	1	~	-

Логические выражения для каждой функции возбуждения D-триггера получают по таблице, как конъюнкции соответствующих исходных состояний a_m и входных сигналов, которые объединены знаками дизъюнкции для всех строк, содержащих данную функцию возбуждения:

Инв. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Инв. №	Подп. и дата					
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ТПЖА 090301.04.686				Лист
									53

$$D0 = b1 \vee b2x0 \vee b3x0 \vee b4\neg x1\neg x2 \vee b4x1 \vee b5x3 \vee b8x6x7\neg x8\neg x9 \vee b8x6\neg x7 \vee b9\neg x9 \vee b11\neg x3\neg x9 \vee b11x3 \vee b13\neg x9$$

$$D1 = b0x0 \vee b2x0 \vee b3x0 \vee b4\neg x1\neg x2 \vee b4x1 \vee b5\neg x3\neg x4 \vee b6x5 \vee b8\neg x6 \vee b8x6x7\neg x8x9 \vee b9x9 \vee b11\neg x3x9 \vee b13x9$$

$$D2 = b1 \vee b4\neg x1\neg x2 \vee b4\neg x1x2 \vee b5\neg x3\neg x4 \vee b5\neg x3x4 \vee b6x5 \vee b6\neg x5 \vee b7 \vee b8\neg x6 \vee b8x6\neg x7 \vee b8x6x7x8$$

$$D3 = b0x0 \vee b2\neg x0 \vee b3\neg x0 \vee b4x1 \vee b5x3 \vee b6x5 \vee b6\neg x5 \vee b7 \vee b8x6\neg x7 \vee b11x3$$

Аналогично составляются логические выражения для функций ВЫХОДОВ:

$$y12 = b4x1$$

$$y11 = b5x3 \vee b11x3$$

$$y10 = b8x6\neg x7$$

$$y9 = b1 \vee b4 \neg x1\neg x2$$

$$y8 = b4 \neg x1\neg x2$$

$$y7 = b8x6x7\neg x8x9 \vee b9x9 \vee b11\neg x3x9 \vee b13x9$$

$$y6 = b1 \vee b5\neg x3\neg x4 \vee b6x5 \vee b8\neg x6$$

$$y5 = b5\neg x3\neg x4 \vee b8\neg x6$$

$$y4 = b6\neg x5 \vee b7$$

$$y3 = b0x0$$

$$y2 = b0x0 \vee b2x0 \vee b3x0$$

$$y1 = b4\neg x1x2 \vee b5\neg x3x4 \vee b8x6x7x8$$

$$y0 = b0x0 \vee b4\neg x1x2 \vee b8x6x7x8$$

После выделения общих частей в логических выражениях и некоторого их упрощения получаем логические уравнения для построения функциональной схемы управляющего автомата:

$$y12 = n \tag{0}$$

$$y11 = j \vee w \tag{2}$$

Ине. №	Подп. и дата	Ине. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Ине. №	Подп. и дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ТПЖА 090301.04.686	
					Лист 54	

$y_{10} = h$	(0)
$y_9 = b_1 \vee b$	(2)
$y_8 = b$	(0)
$y_7 = f \vee s \vee t \vee q$	(4)
$y_6 = b_1 \vee d \vee b_6 x_5 \vee k$	(6)
$y_5 = d \vee k$	(2)
$y_4 = b_6 \neg x_5 \vee b_7$	(4)
$y_3 = l$	(0)
$y_2 = l \vee m \vee p$	(3)
$y_1 = c \vee b_5 \neg x_3 x_4 \vee g$	(6)
$y_0 = l \vee c \vee g$	(3)
$b = b_4 \neg x_1 \neg x_2$	(3)
$c = b_4 \neg x_1 x_2$	(3)
$d = b_5 \neg x_3 \neg x_4$	(3)
$f = b_8 x_6 x_7 \neg x_8 x_9$	(5)
$g = b_8 x_6 x_7 x_8$	(4)
$h = b_8 x_6 \neg x_7$	(3)
$k = b_8 \neg x_6$	(2)
$l = b_0 x_0$	(2)
$m = b_2 x_0$	(2)
$n = b_4 x_1$	(2)
$p = b_3 x_0$	(2)
$s = b_9 x_9$	(2)
$t = b_{11} \neg x_3 x_9$	(3)
$w = b_{11} x_3$	(2)
$j = b_5 x_3$	(2)
$q = b_{13} x_9$	(2)

Инев. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Инев. №	Подп. и дата	$g = b8x6x7x8$	(4)	
					$h = b8x6\text{---}x7$	(3)	
					$k = b8\text{---}x6$	(2)	
					$l = b0x0$	(2)	
					$m = b2x0$	(2)	
					$n = b4x1$	(2)	
					$p = b3x0$	(2)	
					$s = b9x9$	(2)	
					$t = b11\text{---}x3x9$	(3)	
					$w = b11x3$	(2)	
					$j = b5x3$	(2)	
					$q = b13x9$	(2)	
					ТПЖА 090301.04.686		Лист
							55

$$D0 = b1 \vee m \vee p \vee b \vee n \vee j \vee b8x6x7 \neg x8 \neg x9 \vee h \vee b9 \neg x9 \vee b11 \neg x3 \neg x9 \vee w \vee b13 \neg x9 \quad (24)$$

$$D1 = l \vee m \vee p \vee b \vee d \vee b6x5 \vee k \vee f \vee s \vee t \vee q \quad (14)$$

$$D2 = b1 \vee b4 \neg x1 \vee b5 \neg x3 \vee b6 \vee b7 \vee k \vee h \vee g \quad (12)$$

$$D3 = l \vee b2 \neg x0 \vee b3 \neg x0 \vee n \vee j \vee b6 \vee b7 \vee h \vee w \quad (13)$$

$$\text{Инверторы: } \neg x1, \neg x2, \neg x3, \neg x4, \neg x5, \neg x6, \neg x7 \quad (7)$$

Цена комбинационной схемы по Квайну автомата по модели Мура при использовании графа, построенного на основе ГСА, который представлен в приложении Д, с использованием в качестве элементов памяти 4 D-триггеров:

$$\Sigma = \text{КС} + \text{ИНВ} + \text{ЭП} + \text{НУ} + \text{ДШ} = 137 + 7 + 12 + 0 + 4 = 160$$

Схема формирования начальной установки на D-триггерах представлена на рисунке 6.

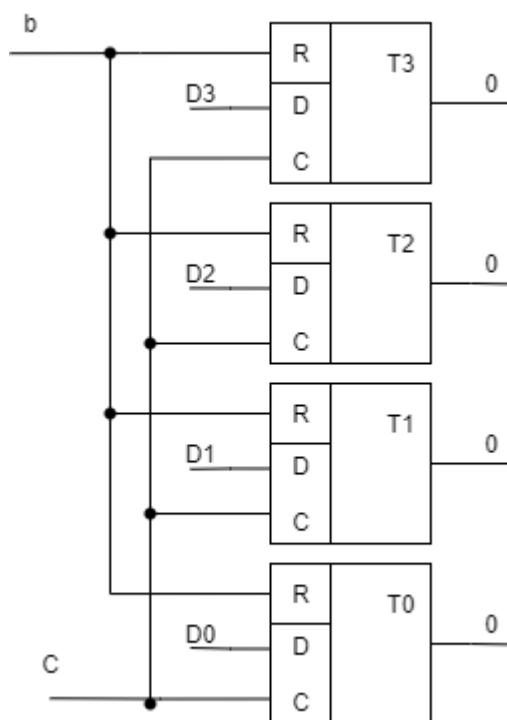
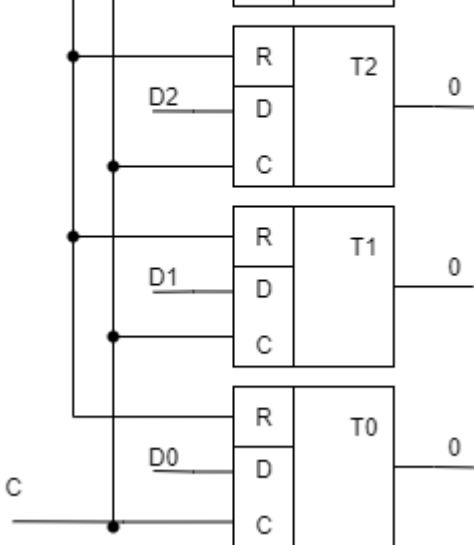


Рисунок 6 – Схема формирования начальной установки на D-триггерах

Цена по Квайну автомата модели Мура на D-триггерах получилась больше, чем цена по Квайну автомата модели Мили на D- триггерах. Отсюда

Инв. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Инв. №	Подп. и дата				
Рисунок 6 – Схема формирования начальной установки на D-триггерах					Цена по Квайну автомата модели Мура на D-триггерах получилась больше, чем цена по Квайну автомата модели Мили на D- триггерах. Отсюда			
					ТПЖА 090301.04.686			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лист			
					56			

можно сделать вывод, что цена по Квайну автомата модели Мура на RS-триггерах не будет минимальной.

11 Построение схемы управляющего микропрограммного автомата

Наименьшей ценой по Квайну обладает модель автомата модели Мили на счетчике, она равна 104, поэтому микропрограммный автомат будет строиться для этой модели. В приложении Ж приведена функциональная схема проектируемого управляющего автомата, выполняющего операцию деления чисел в двоичной системе счисления с плавающей запятой в прямом коде с порядками первым способом с восстановлением остатков с использованием дополнительного кода при вычитании мантисс. Функциональная схема построена в основном логическом базисе «И, ИЛИ, НЕ» в полном соответствии с приведенной для модели Мили системой логических уравнений для функций возбуждения элемента памяти и функций получения выходных сигналов.

Инв. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Инв. №	Подп. и дата						
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ТПЖА 090301.04.686					Лист
										57

Заключение

В ходе курсового проекта был синтезирован автомат, выполняющий деление вторым способом в двоичной системе счисления с плавающей запятой с характеристиками с использованием дополнительного кода при вычитании без восстановления остатков в основном логическом базисе. Управляющий автомат был синтезирован по модели Мили с использованием 4-разрядного счетчика в качестве элемента памяти, так как цена по Квайну данного автомата получилась наименьшей и равной 104. Автомат, полученный в ходе выполнения курсового проекта, задан множеством внутренних состояний a_0 – a_9 , множеством входных сигналов x_0 – x_9 , множеством выходных сигналов y_0 – y_{12} , функциями переходов и выходов, заданной в таблице 12, начальным состоянием a_0 .

Инв. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Инв. №	Подп. и дата						
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ТПЖА 090301.04.686					Лист
										58

Перечень сокращений

ДК – дополнительный код

ПК – прямой код

ГСА – граф-схема алгоритма

УА – управляющий автомат

ОА – операционный автомат

МПА – микропрограммный автомат

ЭП – элемент памяти

ПРС – переполнение разрядной сетки

ПМР – потеря младших разрядов

Вр. ПМР – временная потеря младших разрядов

Ист. ПМР – истинная потеря младших разрядов

ДНН – деление на ноль

Инв. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Инв. №	Подп. и дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
ТПЖА 090301.04.686				
				Лист
				59

Приложение А

(справочное)

Библиографический список

1. Мельцов, В.Ю. Синтез микропрограммных управляющих автоматов. Учебное пособие [Текст] / Мельцов, В. Ю., Фадеева, Т.Р. – Киров: Вятский государственный технический университет, 2000. – 69с.

2. Мельцов, В.Ю. Применение САПР Quartus для синтеза абстрактных и структурных автоматов. Учебное пособие [Текст] – Киров: ГОУ ВПО ВятГУ, 2011. – 86с.

3. Фадеева, Т.Р. Арифметические основы ЭВМ. Методические указания к курсовой работе [Текст] / Фадеева, Т.Р., Матвеева, Л.И., Долженкова, М.Л. – Киров, 2007. – 80с

Инв. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Инв. №	Подп. и дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
ТПЖА 090301.04.686				
				Лист
				60

(обязательное)

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ТПЖА 090301.04.686

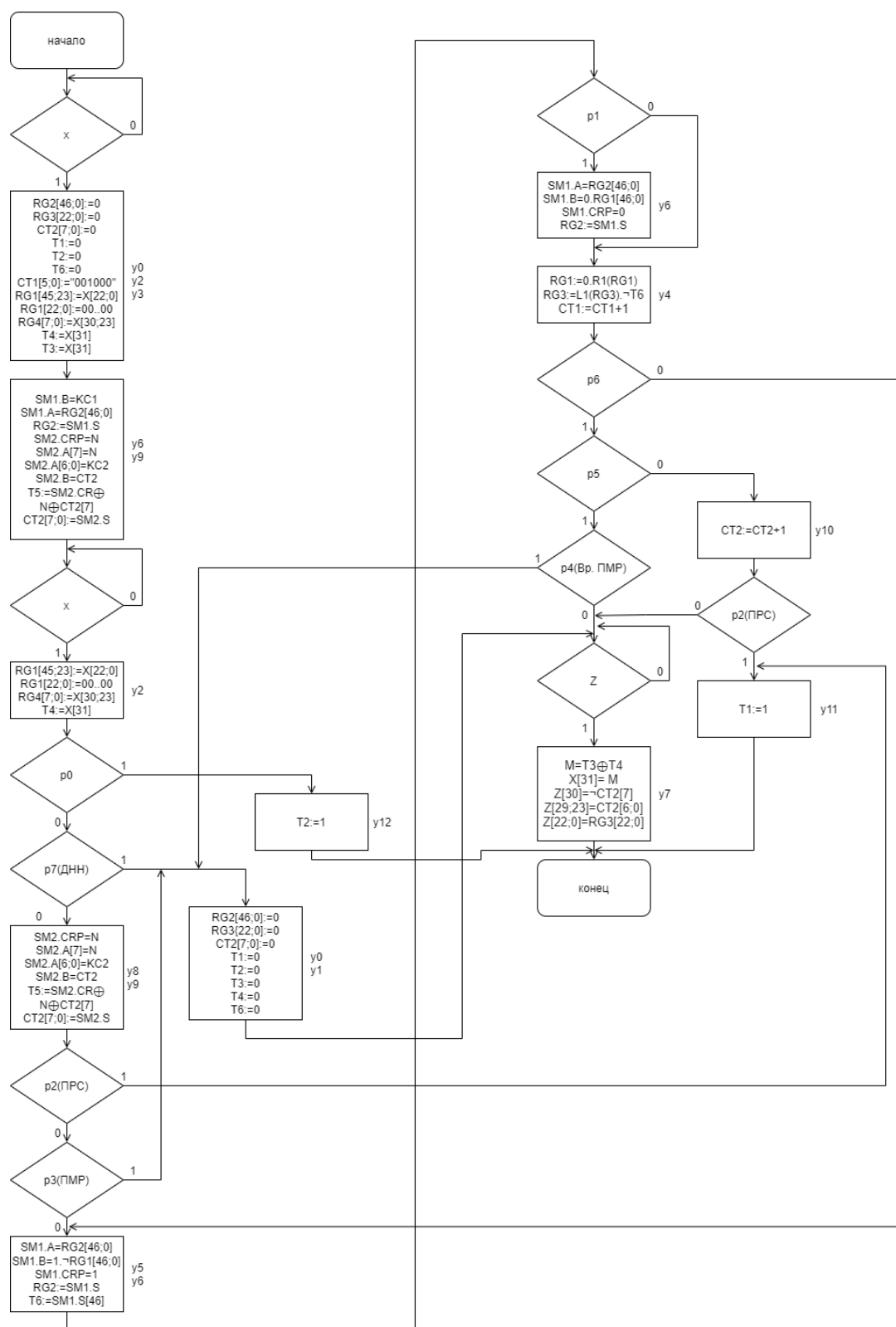
Лист

61

Приложение В

(обязательное)

Содержательная граф-схема алгоритма



Инва. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Инва. №	Подп. и дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

1

RG1[45;23]=X[22;0]
RG1[22;0]=00.00
RG4[7;0]=X[30;23]
T4:=X[31]

y2

p0

1

0

p7(ДНН)

1

0

SM2.CRP=N
SM2.A[7]=N
SM2.A[6;0]=KC2
SM2.B=CT2
T5:=SM2.CR⊕
N⊕CT2[7]
CT2[7;0]:=SM2.S

y8
y9

p2(ПРС)

1

0

p3(ПМР)

1

0

SM1.A=RG2[46;0]
SM1.B=1.¬RG1[46;0]
SM1.CRP=1
RG2:=SM1.S
T6:=SM1.S[46]

y5
y6

T2:=1

y12

RG2[46;0]:=0
RG3[22;0]:=0
CT2[7;0]:=0
T1:=0
T2:=0
T3:=0
T4:=0
T6:=0

y0
y1

Z

0

1

M=T3⊕T4
X[31]=M
Z[30]=¬CT2[7]
Z[29;23]=CT2[6;0]
Z[22;0]=RG3[22;0]

y7

конец

T1:=1

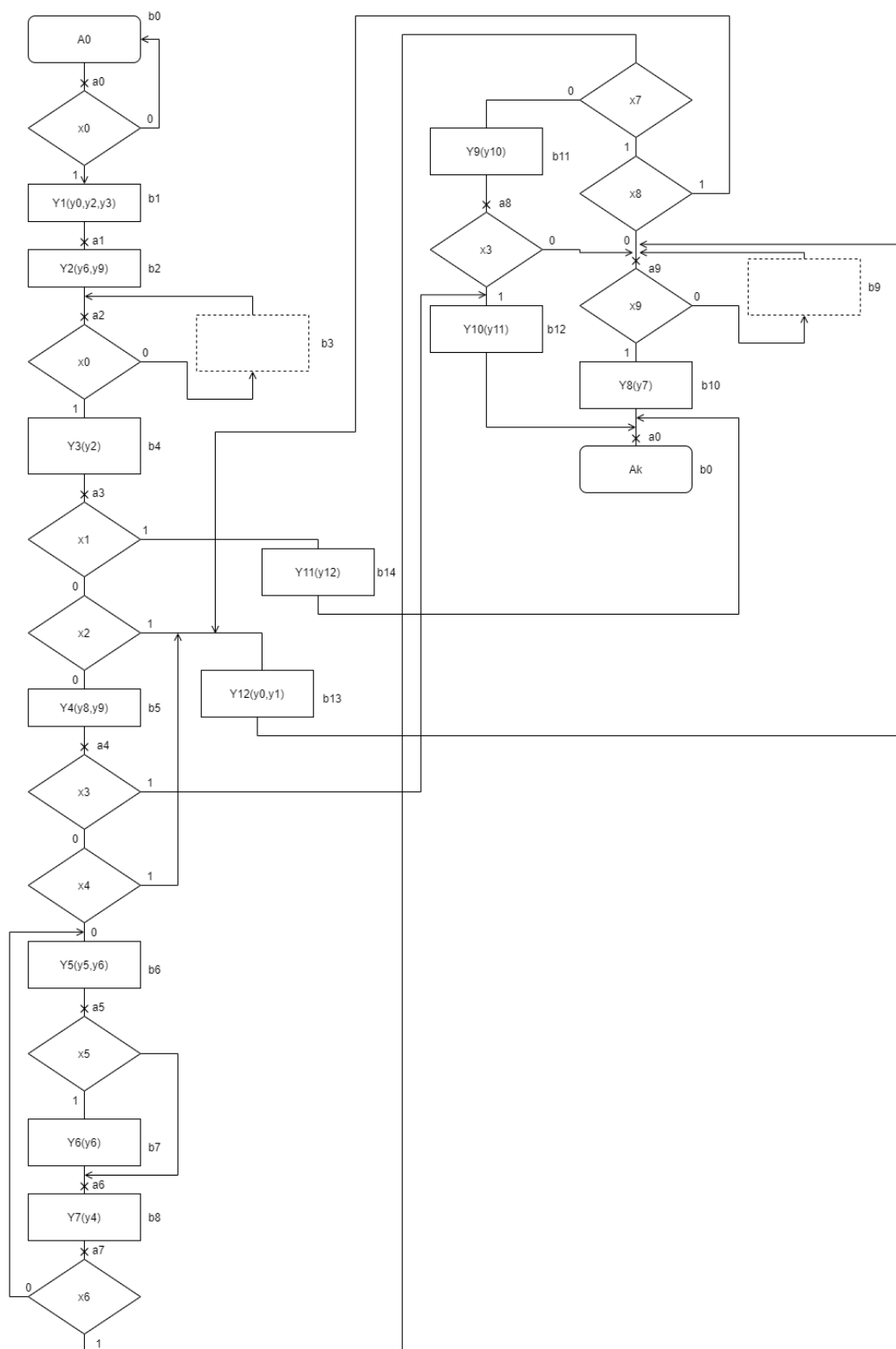
y11

Инва. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ТПЖА 090301.04.686	Лист
						62

Приложение Г

(обязательное)

Отмеченная граф-схема алгоритма

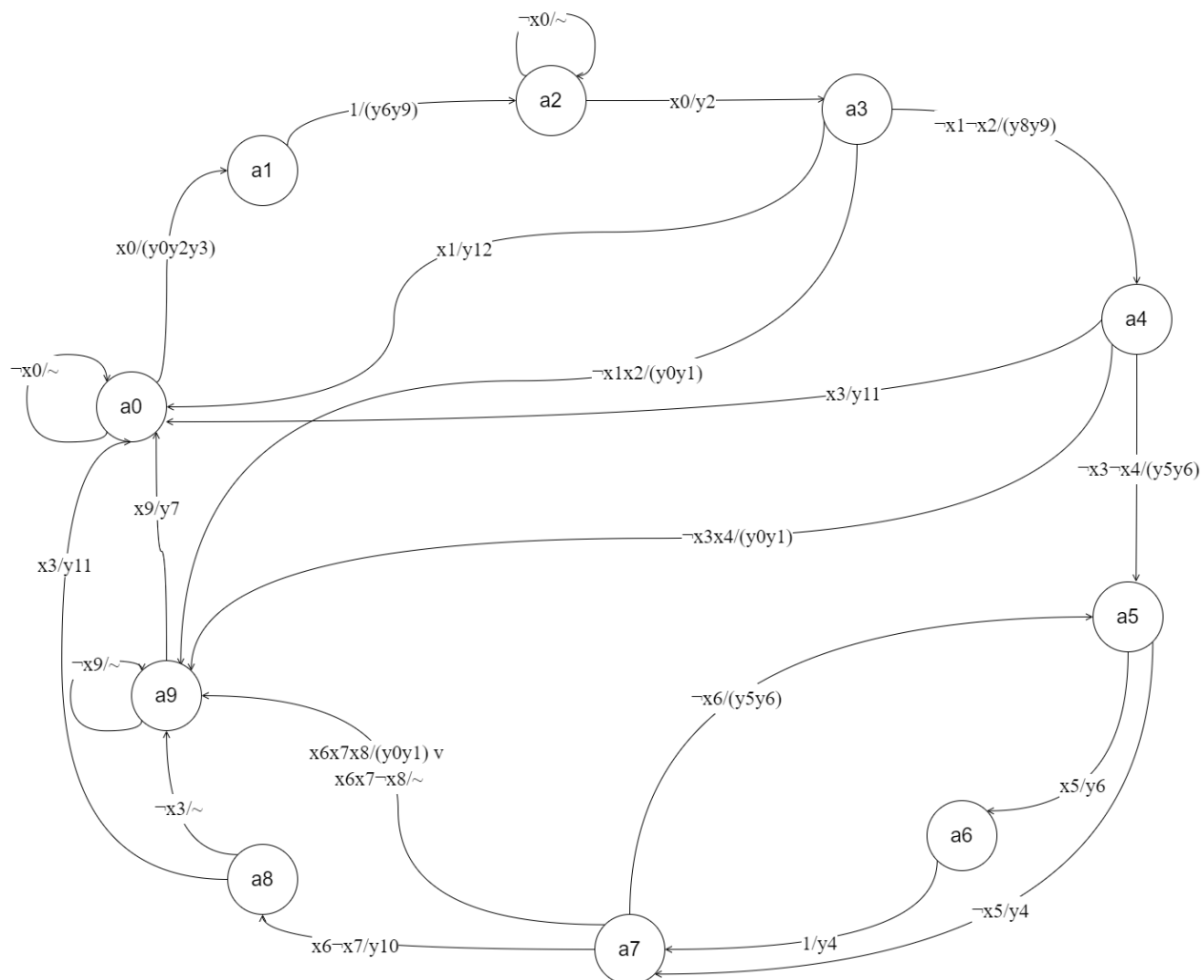


Ине. №	Подп. и дата	Ине. №	Подп. и дата	Ине. №	Подп. и дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	
ТПЖА 090301.04.686					Лист
					63

Приложение Д

(обязательное)

Граф автомата модели Мили



Ине. №	Подп. и дата	Ине. №	Подп. и дата	Ине. №	Подп. и дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	

Ине. №

ТПЖА 090301.04.686

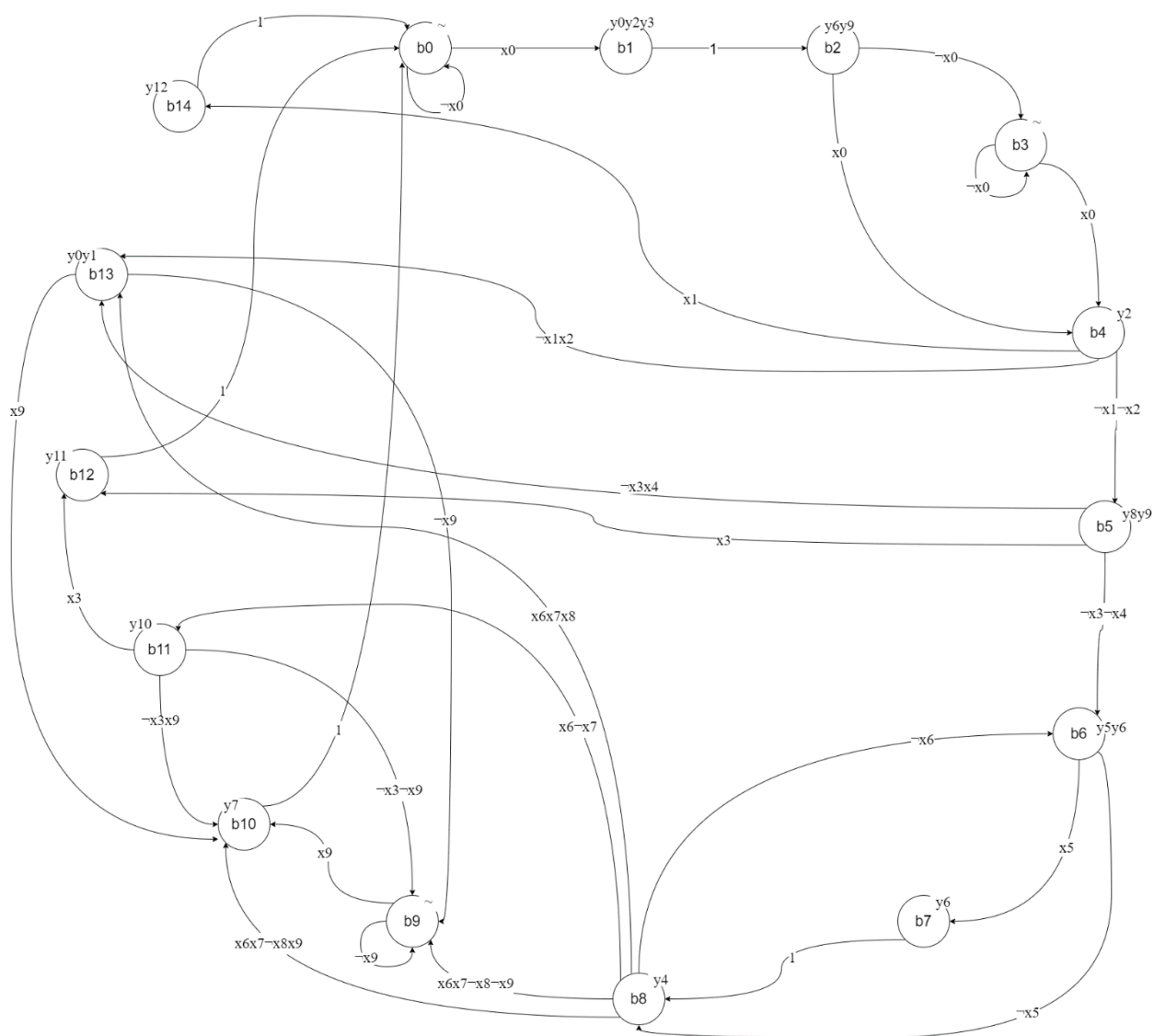
Лист

64

Приложение Е

(обязательное)

Граф автомата модели Мура



Ине. №	Подп. и дата	Ине. №	Подп. и дата	Ине. №	Подп. и дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	
ТПЖА 090301.04.686					Лист
					65

Функциональная схема управляющего автомата

