ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ»

Московский институт электроники и математики им. А.Н.Тихонова НИУ ВШЭ

Департамент компьютерной инженерии

Курс «Системное проектирование цифровых устройств»

ОТЧЕТ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ №1

Тема работы: «Разработка и программирование Soft-процессорных ядер с архитектурой однотактный MIPS. Часть 1»

Выполнили:

Студенты группы БИВ174 Бригада №5

Подчезерцев Алексей Евгеньевич Солодянкин Андрей Александрович

Принял: асс. МИЭМ НИУ ВШЭ Американов А.А.

Содержание

1	Зада	ание	3
2	\mathbf{r}		
	2.1	Моделирование счетчика	3
	2.2	Моделирование последовательности Фибоначчи	4
	2.3	Моделирование извлечения квадратного корня	6
3	Can	остоятельная работа	9
4	Вы	воды по работе	9
Cı	Списом непользороми м неточникор		

1 Задание

- 1. Изучить разделы 6.2, 6.3, 6.4, 6.7 и приложение В книги Н&Н. Добавить в микропроцессор в соответствии со своим вариантом поддержку следующих команд: j, xori, sllv, nor.
- 2. Разработать программу, продемонстрировать на модели и прототипе правильность их работы. Разработать в соответствии со своим вариантом программу, продемонстрировать на модели и прототипе правильность ее работы. Добавить ее в проект микропроцессора; добавить в папку с программой файл описания. Использовать только те команды, которые есть в процессоре.
 - 6) Найти сумму геометрической прогрессии (количество членов прогрессии = ваш вариант % 30 + 3, знаменатель прогрессии = ваш вариант % 10 + 1)
- 3. Перейти в ветку проекта schoolMIPS 01_mmio. Скачать новую версию процессора и выполнить на вашей плате (или DE10-Lite) программы 00_counter, 01_fibonacci, 02_sqrt. Убедиться, что они работают также. Выполнить одну из программ (по вариантам):
 - 2) 04 gpio

2 Выполнение работы

2.1 Моделирование счетчика

Ассемблерный код счетчика представлен на листинге ниже.

```
start: move $v0, $0
counter: addiu $v0, $v0, 1
begz $0, counter
```

Моделирование программы проводилось в среде Icarus Verilog. Ниже приведена часть логов из выполнения программы:

```
0 pc = x pcaddr = xxxxxxxX instr = 00001021 v0 = 0 addu $2, $0, $0
1 pc = x pcaddr = xxxxxxXX instr = 00001021 v0 = 0 addu $2, $0, $0
```

```
pcaddr = 00000000
                                 instr = 00001021
                                                     v0 = 0
                                                               addu $2, $0, $0
 2
    pc =
 3
             pcaddr = 00000000
                                 instr = 00001021
                                                     v0 = 0
                                                               addu $2, $0, $0
    pc =
             pcaddr = 00000000
                                 instr = 00001021
                                                     v0 = 0
                                                               addu $2, $0, $0
 4
    pc =
             pcaddr = 00000000
                                 instr = 24420001
                                                     v0 = 0
                                                               addiu $2, $2, 1
 5
    pc =
             pcaddr = 00000000
                                 instr = 1000fffe
                                                     v0 = 1
                                                                     $0, $0, -1
 6
    pc =
          0
                                                               beq
 7
             pcaddr = 00000000
                                 instr = 24420001
                                                     v0 = 1
                                                               addiu $2, $2, 1
    pc =
 8
    рс =
             pcaddr = 00000000
                                 instr = 1000fffe
                                                     v0 = 2
                                                               beq
                                                                     $0, $0, -1
 9
             pcaddr = 00000000
                                 instr = 24420001
                                                     v0 = 2
                                                               addiu $2, $2, 1
    pc =
          0
             pcaddr = 00000000
                                 instr = 1000fffe
                                                     v0 = 3
                                                                     $0, $0, -1
10
    pc =
          0
                                                               beq
11
    рс =
             pcaddr = 00000000
                                 instr = 24420001
                                                     v0 = 3
                                                               addiu $2, $2, 1
                                                     v0 = 4
12
          0
             pcaddr = 00000000
                                 instr = 1000fffe
                                                               beq
                                                                     $0, $0, -1
    pc =
             pcaddr = 00000000
                                 instr = 24420001
                                                     v0 = 4
                                                               addiu $2, $2, 1
13
    pc =
          0
14
    рс =
             pcaddr = 00000000
                                 instr = 1000fffe
                                                     v0 = 5
                                                               beq
                                                                     $0, $0, -1
15
          0
             pcaddr = 00000000
                                 instr = 24420001
                                                     v0 = 5
                                                               addiu $2, $2, 1
    pc =
16
    рс =
          0
             pcaddr = 00000000
                                 instr = 1000fffe
                                                     v0 = 6
                                                               beq
                                                                     $0, $0, -1
17
    pc =
             pcaddr = 00000000
                                 instr = 24420001
                                                     v0 = 6
                                                               addiu $2, $2, 1
18
    pc =
          0
             pcaddr = 00000000
                                 instr = 1000fffe
                                                     v0 = 7
                                                               beq
                                                                     $0, $0, -1
             pcaddr = 00000000
                                 instr = 24420001
                                                     v0 = 7
19
    pc =
          0
                                                               addiu $2, $2, 1
20
    pc =
             pcaddr = 00000000
                                 instr = 1000fffe
                                                     v0 = 8
                                                               beq
                                                                     $0, $0, -1
                                                     v0 = 8
21
    pc =
          0
             pcaddr = 00000000
                                 instr = 24420001
                                                               addiu $2, $2, 1
             pcaddr = 00000000
                                 instr = 1000fffe
                                                     v0 = 9
22
    pc =
          0
                                                               beq
                                                                     $0, $0, -1
23
    pc =
             pcaddr = 00000000
                                 instr = 24420001
                                                     v0 = 9
                                                               addiu $2, $2, 1
                                                     v0 = 10
24
    pc =
          0
             pcaddr = 00000000
                                 instr = 1000fffe
                                                                beq
                                                                      $0, $0, -1
25
             pcaddr = 00000000
                                 instr = 24420001
                                                     v0 = 10
                                                                addiu $2, $2, 1
    pc =
          0
                                                                      $0, $0, -1
26
    pc =
             pcaddr = 00000000
                                 instr = 1000fffe
                                                     v0 = 11
                                                                beq
27
    pc =
          0
             pcaddr = 00000000
                                 instr = 24420001
                                                     v0 = 11
                                                                addiu $2, $2, 1
28
             pcaddr = 00000000
                                 instr = 1000fffe
                                                     v0 = 12
                                                                      $0, $0, -1
    pc =
          0
                                                                beq
29
    pc =
             pcaddr = 00000000
                                 instr = 24420001
                                                     v0 = 12
                                                                addiu $2, $2, 1
30
   pc =
          0
             pcaddr = 00000000
                                 instr = 1000fffe
                                                     v0 = 13
                                                                      $0, $0, -1
                                                                beq
```

Вейвформа при моделировании программы (рис. 1).



Рис. 1: Вейвформа для программы счетчика

2.2 Моделирование последовательности Фибоначчи

Ассемблерный код функции для подсчета значений последовательности Фибоначчи представлен на листинге ниже.

.text

```
$t0, $0
start:
             move
             li
                      $t1, 1
                      $v0, $t1
             move
fibonacci:
                      $t0, $t0, $t1
             addu
                      $v0, $t0
             move
             addu
                      $t1, $t0, $t1
                      $v0, $t1
             move
                      $0,
                           fibonacci
             beqz
```

Моделирование программы проводилось в среде Icarus Verilog. Ниже приведена часть логов из выполнения программы:

```
pcaddr = xxxxxxxX
                                 instr = 00004021
                                                      v0 = 0
                                                                      $8, $0, $0
 0
                                                               addu
    pc =
                                                      v0 = 0
                                  instr = 00004021
                                                               addu
                                                                      $8, $0,
                                                                              $0
 1
    pc =
             pcaddr = xxxxxxxX
 2
             pcaddr = 00000000
                                  instr = 00004021
                                                      v0 = 0
                                                               addu
                                                                      $8, $0,
                                                                              $0
    рс =
             pcaddr = 00000000
                                 instr = 00004021
                                                      v0 = 0
                                                               addu
                                                                      $8, $0,
 3
    pc =
                                                                              $0
                                                      v0 = 0
             pcaddr = 00000000
                                  instr = 00004021
                                                               addu
                                                                      $8, $0, $0
 4
    pc =
          0
 5
             pcaddr = 00000000
                                  instr = 24090001
                                                      v0 = 0
                                                               addiu $9, $0, 1
    рс =
             pcaddr = 00000000
                                  instr = 00091021
                                                      v0 = 0
                                                               addu
                                                                      $2, $0,
 6
    pc =
                                                                              $9
 7
             pcaddr = 00000000
                                  instr = 01094021
                                                      v0 = 1
                                                                      $8, $8,
    pc =
          0
                                                               addu
                                                                              $9
             pcaddr = 00000000
                                  instr = 00081021
                                                      v0 = 1
                                                               addu
                                                                      $2, $0,
                                                                              $8
    pc =
                                  instr = 01094821
 9
             pcaddr = 00000000
                                                      v0 = 1
                                                               addu
                                                                      $9, $8,
                                                                              $9
    pc =
10
             pcaddr = 00000000
                                  instr = 00091021
                                                      v0 = 1
                                                               addu
                                                                      $2, $0,
                                                                              $9
    pc =
          0
11
             pcaddr = 00000000
                                  instr = 1000fffb
                                                      v0 = 2
                                                               beq
                                                                      $0, $0, -4
    pc =
12
             pcaddr = 00000000
                                  instr = 01094021
                                                      v0 = 2
                                                               addu
                                                                      $8, $8,
                                                                              $9
    pc =
                                                      v0 = 2
13
             pcaddr = 00000000
                                  instr = 00081021
                                                               addu
                                                                      $2, $0, $8
    pc =
          0
                                  instr = 01094821
                                                      v0 = 3
14
    pc =
             pcaddr = 00000000
                                                               addu
                                                                      $9, $8, $9
                                  instr = 00091021
15
    рс =
             pcaddr = 00000000
                                                      v0 = 3
                                                               addu
                                                                      $2, $0,
                                                                              $9
                                                      v0 = 5
16
    рс =
          0
             pcaddr = 00000000
                                  instr = 1000fffb
                                                               beq
                                                                      $0, $0, -4
                                                      v0 = 5
17
    рс =
             pcaddr = 00000000
                                  instr = 01094021
                                                               addu
                                                                      $8, $8, $9
                                  instr = 00081021
18
    pc =
             pcaddr = 00000000
                                                      v0 = 5
                                                               addu
                                                                      $2, $0,
                                                                              $8
                                                      v0 = 8
19
    pc =
          0
             pcaddr = 00000000
                                  instr = 01094821
                                                               addu
                                                                      $9, $8, $9
20
    pc =
             pcaddr = 00000000
                                  instr = 00091021
                                                      v0 = 8
                                                               addu
                                                                      $2, $0, $9
             pcaddr = 00000000
                                  instr = 1000fffb
21
    pc =
                                                      v0 = 13
                                                                beq
                                                                       $0, $0, -4
             pcaddr = 00000000
                                  instr = 01094021
                                                      v0 = 13
                                                                       $8, $8, $9
22
    pc =
          0
                                                                addu
23
    pc =
             pcaddr = 00000000
                                  instr = 00081021
                                                      v0 = 13
                                                                addu
                                                                       $2, $0, $8
             pcaddr = 00000000
                                  instr = 01094821
                                                      v0 = 21
                                                                       $9, $8,
24
    рс =
                                                                addu
                                                                               $9
             pcaddr = 00000000
                                  instr = 00091021
                                                      v0 = 21
25
    pc =
          0
                                                                addu
                                                                       $2, $0, $9
26
    pc =
             pcaddr = 00000000
                                  instr = 1000fffb
                                                      v0 = 34
                                                                beq
                                                                       $0, $0, -4
             pcaddr = 00000000
                                  instr = 01094021
                                                      v0 = 34
                                                                       $8, $8,
27
    рс =
                                                                addu
                                                                               $9
                                                      v0 = 34
28
    pc =
          0
             pcaddr = 00000000
                                  instr = 00081021
                                                                addu
                                                                       $2, $0, $8
29
    pc =
             pcaddr = 00000000
                                  instr = 01094821
                                                      v0 = 55
                                                                addu
                                                                       $9, $8, $9
             pcaddr = 00000000
                                  instr = 00091021
                                                      v0 = 55
                                                                addu
                                                                       $2, $0, $9
30
    pc =
```

Вейвформа при моделировании программы (рис. 2).

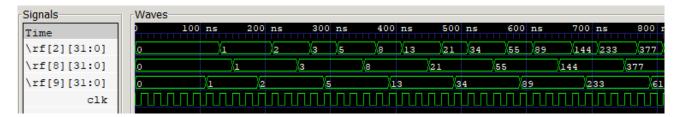


Рис. 2: Вейвформа для последовательности Фибоначчи

2.3 Моделирование извлечения квадратного корня

unsigned isqrt (unsigned x) {

Ассемблерный код функции для вычисления квадратного корня представлен на листинге ниже.

```
unsigned m, y, b;
##
       m = 0x40000000;
##
##
       v = 0;
       while (m != 0) \{ // Do 16 times
##
##
           b = y \mid m;
##
           v >>= 1;
           if (x >= b) {
##
##
                x -= b;
##
                y = m;
##
           }
##
           m >>= 2;
##
       }
##
       return y;
## }
        .text
                 $a0, 82
                                  ## x = 82
init:
        li
        li
                 $v0, 0
                                  ## calculation result reset
                $t0, 0x4000
                                  ## m = 0x40000000
sgrt:
        lui
        move
                 $t1, $0
                                  ## y = 0
L0:
                 $t2, $t1, $t0
        or
                                  ## b = y | m;
        srl
                 $t1, $t1, 1
                                  ## y >>= 1
                $t3, $a0, $t2
                                  ## if (x < b)
        sltu
        bnez
                $t3, L1
                                  ##
                                       goto L1
                                  ## else
                $a0, $a0, $t2
                                  ##
                                       x = b
        subu
        or
                $t1, $t1, $t0
                                  ##
                                       y |= m
                $t0, $t0, 2
                                 ## m >>= 2
L1:
        srl
```

```
bnez $t0, L0  ## if(m != 0) goto L0
move $v0, $t1  ## return y

end: begz $0, end ## while(1);
```

Моделирование программы проводилось в среде Icarus Verilog. Лог выполнения программы:

```
instr = 24040052
                                                      v0 = 0
                                                                addiu $4, $0, 82
    pc =
             pcaddr = xxxxxxxX
              pcaddr = xxxxxxxX
                                  instr = 24040052
                                                      v0 = 0
                                                                addiu $4, $0, 82
 1
    pc =
              pcaddr = 00000000
                                  instr = 24040052
                                                      v0 = 0
                                                                addiu $4, $0, 82
 2
    pc =
                                  instr = 24040052
                                                                addiu $4, $0, 82
 3
              pcaddr = 00000000
                                                      v0 = 0
    pc =
 4
    рс =
              pcaddr = 00000000
                                  instr = 24040052
                                                      v0 = 0
                                                                addiu $4, $0, 82
 5
              pcaddr = 00000000
                                  instr = 24020000
                                                      v0 = 0
                                                                addiu $2, $0, 0
    pc =
                                  instr = 3c084000
                                                      v0 = 0
              pcaddr = 00000000
                                                                lui
                                                                       $8, 16384
 6
    pc =
          0
 7
              pcaddr = 00000000
                                  instr = 00004821
                                                      v0 = 0
                                                                addu
                                                                       $9, $0, $0
    рс =
              pcaddr = 00000000
                                  instr = 01285025
                                                      v0 = 0
                                                                       $10, $9, $8
 8
    pc =
                                                                or
                                  instr = 00094842
                                                      v0 = 0
                                                                       $9, $0, $9
              pcaddr = 00000000
 9
    pc =
          0
                                                                srl
              pcaddr = 00000000
                                  instr = 008a582b
                                                      v0 = 0
                                                                       $11, $4, $10
10
    рс =
                                                                sltu
              pcaddr = 00000004
                                  instr = 15600002
                                                      v0 = 0
                                                                       $11, $0, 3
11
          1
                                                                bne
    pc =
              pcaddr = 00000004
                                  instr = 00084082
                                                      v0 = 0
                                                                       $8, $0, $8
12
    pc =
          1
                                                                srl
13
              pcaddr = 00000004
                                  instr = 1500fff8
                                                      v0 = 0
                                                                bne
                                                                       $8, $0, -7
    pc =
              pcaddr = 00000004
                                  instr = 01285025
                                                      v0 = 0
                                                                       $10, $9, $8
14
    pc =
          1
                                                                or
15
          1
              pcaddr = 00000004
                                  instr = 00094842
                                                      v0 = 0
                                                                       $9, $0, $9
    pc =
                                                                srl
16
              pcaddr = 00000004
                                  instr = 008a582b
                                                      v0 = 0
                                                                sltu
                                                                       $11, $4, $10
    pc =
17
              pcaddr = 00000004
                                  instr = 15600002
                                                      v0 = 0
                                                                       $11, $0, 3
    pc =
                                                                bne
                                                      v0 = 0
18
          1
              pcaddr = 00000004
                                  instr = 00084082
                                                                srl
                                                                       $8, $0, $8
    pc =
19
    pc =
              pcaddr = 00000004
                                  instr = 1500fff8
                                                      v0 = 0
                                                                bne
                                                                       $8, $0, -7
20
    pc =
          1
              pcaddr = 00000004
                                  instr = 01285025
                                                      v0 = 0
                                                                       $10, $9, $8
                                                                or
                                  instr = 00094842
                                                      v0 = 0
                                                                       $9, $0, $9
21
    рс =
          1
              pcaddr = 00000004
                                                                srl
22
    pc =
              pcaddr = 00000004
                                  instr = 008a582b
                                                      v0 = 0
                                                                sltu
                                                                       $11, $4, $10
23
    pc =
          1
              pcaddr = 00000004
                                  instr = 15600002
                                                      v0 = 0
                                                                bne
                                                                       $11, $0, 3
                                                      v0 = 0
                                                                       $8, $0, $8
24
    pc =
          1
              pcaddr = 00000004
                                  instr = 00084082
                                                                srl
25
              pcaddr = 00000004
                                  instr = 1500fff8
                                                      v0 = 0
                                                                bne
                                                                       $8, $0, -7
    pc =
26
    pc =
          1
              pcaddr = 00000004
                                  instr = 01285025
                                                      v0 = 0
                                                                or
                                                                       $10, $9, $8
              pcaddr = 00000004
                                  instr = 00094842
                                                      v0 = 0
                                                                       $9, $0, $9
27
    pc =
                                                                srl
28
    pc =
              pcaddr = 00000004
                                  instr = 008a582b
                                                      v0 = 0
                                                                sltu
                                                                       $11, $4, $10
              pcaddr = 00000004
                                  instr = 15600002
                                                      v0 = 0
                                                                       $11, $0, 3
29
    рс =
                                                                bne
30
              pcaddr = 00000004
                                  instr = 00084082
                                                      v0 = 0
                                                                       $8, $0, $8
    pc =
                                                                srl
                                                      v0 = 0
31
    pc =
              pcaddr = 00000004
                                  instr = 1500fff8
                                                                bne
                                                                       $8, $0, -7
              pcaddr = 00000004
                                  instr = 01285025
                                                      v0 = 0
                                                                       $10, $9, $8
32
    рс =
                                                                or
33
                                  instr = 00094842
                                                      v0 = 0
                                                                       $9, $0, $9
              pcaddr = 00000004
                                                                srl
    pc =
                                                      v0 = 0
34
    рс =
          1
              pcaddr = 00000004
                                  instr = 008a582b
                                                                sltu
                                                                       $11, $4, $10
                                                      v0 = 0
              pcaddr = 00000004
                                  instr = 15600002
                                                                       $11, $0, 3
35
    pc =
                                                                bne
              pcaddr = 00000004
                                  instr = 00084082
                                                      v0 = 0
                                                                       $8, $0, $8
36
    pc =
          1
                                                                srl
              pcaddr = 00000004
                                  instr = 1500fff8
                                                      v0 = 0
                                                                       $8, $0, -7
37
    рс =
          1
                                                                bne
              pcaddr = 00000004
                                  instr = 01285025
                                                      v0 = 0
                                                                       $10, $9, $8
38
    pc =
          1
                                                                or
                                                      v0 = 0
                                  instr = 00094842
39
    pc =
          1
             pcaddr = 00000004
                                                                srl
                                                                       $9, $0, $9
```

```
pcaddr = 00000004
                                  instr = 008a582b
                                                      v0 = 0
                                                                       $11, $4, $10
40
    pc =
          1
                                                                sltu
41
          1
              pcaddr = 00000004
                                  instr = 15600002
                                                      v0 = 0
                                                                       $11, $0, 3
    pc =
                                                                bne
              pcaddr = 00000004
                                  instr = 00084082
                                                      v0 = 0
                                                                       $8, $0, $8
42
    pc =
                                                                srl
              pcaddr = 00000004
                                  instr = 1500fff8
                                                      v0 = 0
                                                                       $8, $0, -7
43
    pc =
                                                                bne
          1
              pcaddr = 00000004
                                  instr = 01285025
                                                      v0 = 0
                                                                       $10, $9, $8
44
    pc =
                                                                or
              pcaddr = 00000004
                                  instr = 00094842
                                                      v0 = 0
                                                                       $9, $0, $9
45
    pc =
          1
                                                                srl
46
    рс =
              pcaddr = 00000004
                                  instr = 008a582b
                                                      v0 = 0
                                                                sltu
                                                                       $11, $4, $10
47
          1
              pcaddr = 00000004
                                  instr = 15600002
                                                      v0 = 0
                                                                       $11, $0, 3
    pc =
                                                                bne
              pcaddr = 00000004
                                  instr = 00084082
                                                      v0 = 0
                                                                       $8, $0, $8
48
    pc =
          1
                                                                srl
49
    рс =
              pcaddr = 00000004
                                  instr = 1500fff8
                                                      v0 = 0
                                                                bne
                                                                       $8, $0, -7
50
    pc =
          1
              pcaddr = 00000004
                                  instr = 01285025
                                                      v0 = 0
                                                                       $10, $9, $8
                                                                or
              pcaddr = 00000004
                                  instr = 00094842
                                                      v0 = 0
                                                                       $9, $0, $9
51
    pc =
          1
                                                                srl
52
    рс =
              pcaddr = 00000004
                                  instr = 008a582b
                                                      v0 = 0
                                                                sltu
                                                                       $11, $4, $10
53
    pc =
          1
              pcaddr = 00000004
                                  instr = 15600002
                                                      v0 = 0
                                                                       $11, $0, 3
                                                                bne
54
    рс =
          1
              pcaddr = 00000004
                                  instr = 00084082
                                                      v0 = 0
                                                                srl
                                                                       $8, $0, $8
                                                                       $8, $0, -7
55
    pc =
              pcaddr = 00000004
                                  instr = 1500fff8
                                                      v0 = 0
                                                                bne
56
    pc =
          1
              pcaddr = 00000004
                                  instr = 01285025
                                                      v0 = 0
                                                                       $10, $9, $8
                                                                or
                                  instr = 00094842
              pcaddr = 00000004
                                                      v0 = 0
57
    pc =
          1
                                                                srl
                                                                       $9, $0, $9
                                                                       $11, $4, $10
58
    pc =
              pcaddr = 00000004
                                  instr = 008a582b
                                                      v0 = 0
                                                                sltu
59
    pc =
          1
             pcaddr = 00000004
                                  instr = 15600002
                                                      v0 = 0
                                                                       $11, $0, 3
                                                                bne
                                  instr = 00084082
              pcaddr = 00000004
60
    pc =
          1
                                                      v0 = 0
                                                                srl
                                                                       $8, $0, $8
61
    pc =
              pcaddr = 00000004
                                  instr = 1500fff8
                                                      v0 = 0
                                                                bne
                                                                       $8, $0, -7
62
    pc =
          1
             pcaddr = 00000004
                                  instr = 01285025
                                                      v0 = 0
                                                                       $10, $9, $8
                                                                or
              pcaddr = 00000004
                                  instr = 00094842
                                                      v0 = 0
                                                                       $9, $0, $9
63
    pc =
          1
                                                                srl
                                                                       $11, $4, $10
64
    pc =
              pcaddr = 00000004
                                  instr = 008a582b
                                                      v0 = 0
                                                                sltu
65
    рс =
          1
             pcaddr = 00000004
                                  instr = 15600002
                                                      v0 = 0
                                                                bne
                                                                       $11, $0, 3
              pcaddr = 00000004
                                  instr = 00084082
                                                      v0 = 0
                                                                       $8, $0, $8
66
    pc =
          1
                                                                srl
                                                                       $8, $0, -7
67
    pc =
              pcaddr = 00000004
                                  instr = 1500fff8
                                                      v0 = 0
                                                                bne
              pcaddr = 00000004
                                  instr = 01285025
                                                      v0 = 0
                                                                       $10, $9, $8
68
    рс =
          1
                                                                or
              pcaddr = 00000004
                                  instr = 00094842
                                                      v0 = 0
                                                                       $9, $0, $9
69
    pc =
          1
                                                                srl
              pcaddr = 00000004
                                                      v0 = 0
                                                                       $11, $4, $10
70
    pc =
                                  instr = 008a582b
                                                                sltu
              pcaddr = 00000004
                                  instr = 15600002
71
    рс =
          1
                                                      v0 = 0
                                                                       $11, $0, 3
                                                                bne
72
              pcaddr = 00000004
                                  instr = 00084082
                                                      v0 = 0
                                                                       $8, $0, $8
    pc =
          1
                                                                srl
                                                      v0 = 0
              pcaddr = 00000004
                                  instr = 1500fff8
                                                                       $8, $0, -7
73
    pc =
                                                                bne
              pcaddr = 00000004
                                  instr = 01285025
74
    pc =
          1
                                                      v0 = 0
                                                                       $10, $9, $8
                                                                or
75
              pcaddr = 00000004
                                  instr = 00094842
                                                      v0 = 0
                                                                       $9, $0, $9
    pc =
          1
                                                                srl
                                                                       $11, $4, $10
76
    рс =
             pcaddr = 00000004
                                  instr = 008a582b
                                                      v0 = 0
                                                                sltu
              pcaddr = 00000004
                                  instr = 15600002
77
    pc =
          1
                                                      v0 = 0
                                                                       $11, $0, 3
                                                                bne
                                  instr = 00084082
              pcaddr = 00000004
                                                      v0 = 0
                                                                       $8, $0, $8
78
          1
    pc =
                                                                srl
79
             pcaddr = 00000004
                                  instr = 1500fff8
                                                      v0 = 0
                                                                       $8, $0, -7
    рс =
                                                                bne
              pcaddr = 00000004
                                  instr = 01285025
                                                      v0 = 0
                                                                       $10, $9, $8
80
    pc =
          1
                                                                or
                                                      v0 = 0
81
          1
              pcaddr = 00000004
                                  instr = 00094842
                                                                       $9, $0, $9
    pc =
                                                                srl
                                                                       $11, $4, $10
              pcaddr = 00000004
                                  instr = 008a582b
                                                      v0 = 0
82
    рс =
          1
                                                                sltu
                                                                       $11, $0, 3
             pcaddr = 00000000
                                  instr = 15600002
                                                      v0 = 0
83
    pc =
          0
                                                                bne
                                                      v0 = 0
                                                                       $4, $4, $10
84
    рс =
          0
              pcaddr = 00000000
                                  instr = 008a2023
                                                                subu
             pcaddr = 00000000
                                                                       $9, $9, $8
                                  instr = 01284825
                                                      v0 = 0
85
    pc =
          0
                                                                or
              pcaddr = 00000000
                                  instr = 00084082
                                                      v0 = 0
                                                                       $8, $0, $8
86
    pc =
                                                                srl
              pcaddr = 00000000
                                  instr = 1500fff8
                                                      v0 = 0
                                                                       $8, $0, -7
87
          0
    pc =
                                                                bne
```

```
0 pcaddr = 00000000 instr = 01285025
                                                                   $10, $9, $8
 88
                                                             or
 89
    pc =
           0 pcaddr = 00000000 instr = 00094842
                                                    0 = 0 \text{ or }
                                                             srl
                                                                   $9, $0, $9
             pcaddr = 00000000 instr = 008a582b
                                                    v0 = 0
                                                             sltu $11, $4, $10
 90
     pc =
             pcaddr = 00000004
                                 instr = 15600002
                                                    v0 = 0
                                                                   $11, $0, 3
 91
    pc =
                                                             bne
 92
    pc =
           1 pcaddr = 00000004 instr = 00084082
                                                    v0 = 0
                                                                   $8, $0, $8
                                                             srl
             pcaddr = 00000004 instr = 1500fff8
                                                    v0 = 0
                                                                   $8, $0, -7
 93
    pc =
                                                             bne
 94
    pc =
             pcaddr = 00000004
                                 instr = 01285025
                                                    v0 = 0
                                                             or
                                                                   $10, $9, $8
 95
    pc =
           1 pcaddr = 00000004 instr = 00094842
                                                    \nabla 0 = 0
                                                                   $9, $0, $9
                                                             srl
 96
             pcaddr = 00000004 instr = 008a582b
                                                    v0 = 0
                                                             sltu $11, $4, $10
    pc =
           1
 97
    pc =
             pcaddr = 00000004
                                 instr = 15600002
                                                    v0 = 0
                                                             bne
                                                                   $11, $0, 3
 98
    pc =
           1 pcaddr = 00000004 instr = 00084082
                                                    v0 = 0
                                                             srl
                                                                   $8, $0, $8
             pcaddr = 00000004 instr = 1500fff8
                                                    v0 = 0
                                                                   $8, $0, -7
 99
     pc =
           1
                                                             bne
100
    pc =
             pcaddr = 00000004
                                 instr = 01285025
                                                    v0 = 0
                                                             or
                                                                   $10, $9, $8
101
             pcaddr = 00000004 instr = 00094842
                                                    v0 = 0
                                                             srl
                                                                   $9, $0, $9
    pc =
102
    pc =
           1
              pcaddr = 00000004 instr = 008a582b
                                                    v0 = 0
                                                             sltu $11, $4, $10
                                                                   $11, $0, 3
103
             pcaddr = 00000000 instr = 15600002
                                                    v0 = 0
                                                             bne
104 pc =
           0
             pcaddr = 00000000 instr = 008a2023
                                                    v0 = 0
                                                             subu $4, $4, $10
              pcaddr = 00000000 instr = 01284825
                                                    v0 = 0
                                                                   $9, $9, $8
105
    pc =
                                                             or
106
             pcaddr = 00000000 instr = 00084082
                                                    v0 = 0
                                                             srl
                                                                   $8, $0, $8
                                                                   $8, $0, -7
107
    pc =
           0
             pcaddr = 00000000 instr = 1500fff8
                                                    v0 = 0
                                                             bne
              pcaddr = 00000000 instr = 00091021
                                                    v0 = 0
                                                             addu $2, $0, $9
108
    pc =
                                                    v0 = 9
                                                                   $0, $0, 0
109
             pcaddr = 00000000
                                 instr = 1000ffff
                                                             beq
```

Вейвформа при моделировании программы (рис. 3).

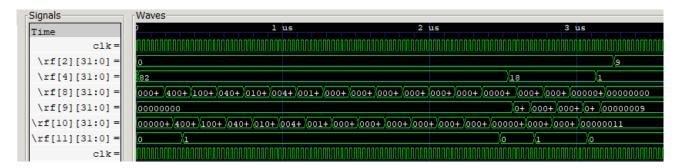


Рис. 3: Вейвформа для программы извлечения квадратного корня

3 Самостоятельная работа

4 Выводы по работе

В ходе работы получен опыт проектирования схем в программе Quartus с помощью языка Verilog. Полученное устройство было протестировано с помощью бенчестов в программе Quartus Simulation Waveform editor. В процессе работы были смоделированы устройства для конвейерной обработки данных и изучены различ-

ные способы моделирования. В процессе был получен опыт работы с платой DE10-Lite, на которой проверялась работоспособность полученного устройства.

Список использованных источников

- 1. Thomas D., Moorby P. The Verilog Hardware Description Language. Springer Science & Business Media, 2008.
- 2. Khor W. Y. et al. Evaluation of FPGA Based QSPI Flash Access Using Partial Reconfiguration //2019 7th International Conference on Smart Computing & Communications (ICSCC). IEEE, 2019. C. 1-5