

硬件描述语言与系统仿真

课程实验要求书

目录

序言	3
实验要求	7
实验一基于独立和矩阵按键和数码管显示的键入系统设计	7
实验二基于 PWM 调制技术的呼吸灯系统设计	8
实验三基于数码管独立显示和三色灯的交通指示系统设计	9
实验四基于小脚丫底板数码管扫描显示的数字时钟系统设计	9
实验五基于无源蜂鸣器和矩阵按键的电子琴系统设计	10
实验六基于 DS18B20Z 温度传感器和数码管显示的温度计系统设计	10
实验七基于 VGA 驱动液晶屏的色彩测试系统设计	11
实验八基于 FPGA 开发板的直流电压测量装置	11
实验九 基于 FPGA 开发板的简易 CPU 设计	12
实验报告要求	12
实验报告提交规范	13

序言

硬件描述语言与系统仿真是数字电路与逻辑设计的后续课程，分理论教学和上机实验两部分。其主要任务是让学生了解数字集成电路及其设计方法的发展现状，熟悉大规模可编程专用集成电路CPLD/FPGA的内部结构，掌握一种硬件描述语言，并具备使用VHDL进行数字电路系统设计的能力。实验课是本课程重要的教学环节，目的是让学生熟悉可编程专用集成电路的设计，开发流程，熟练掌握一种EDA设计工具，提高学生应用计算机技术进行数字电路与数字系统的设计和辅助分析的能力。

本实验基于STEP-MX02 V2 FPGA实验板（简称小脚丫，核心器件为Lattice公司的LCMX02-4000HC-MG132）、STEP-Baseboard V2 外设实验底板、Lattice公司的Diamond FPGA集成开发工具软件、ModelSim仿真软件完成。

一、 实验的一般方法

用VHDL文本进行输入、编译，通过之后再进行波形仿真、下载，如有缺陷，再对源文件进行修改。基于FPGA实验板完成指定和自选创意实验项目。

二、 实验的基本内容和要求：

- 1) 常用的PLD软件工具的使用
学会Diamond的基本使用方法，熟悉设计流程。
- 2) PLD设计代码的综合
掌握可综合的PLD设计代码的编写要点
用VHDL语言编写并用Diamond工具完成电路综合、下载，实现设计项目
- 3) 了解速度和性能优化
根据不同的PLD器件特点优化设计的方法
学习了解用器件时间信息仿真和优化

三、 STEP-MX02 V2FPGA实验板介绍

STEP-MX02 V2FPGA 实验板简称小脚丫。

核心器件特性：

- Lattice LCMX02-4000HC-4MG132
- 4320 个 LUT（查找表）资源
- 96Kbit User Flash, 92Kbit RAM;
- 2+2 路 PLL+DLL;
- 嵌入式功能块（硬核）：一路 SPI、一路定时器、2 路 I2C
- 支持 DDR/DDR2/LPDDR 存储器;
- 上电瞬时启动，启动时间<1ms;
- FPGA 芯片最大可用 IO 数为 104 个，除了 36 个 IO 引出到开发板 DIP40 的引脚上，FPGA 的 IO 还连接到板上的外设资源如数码管、按键、拨码开关和 LED 上。

板载资源：

- 1 路 Micro USB 接口
- 2 位 7 段数码管;

- 2 个 RGB 三色 LED;
- 4 路拨码开关;
- 4 路按键;
- 8 路用户 LED;
- 36 个用户可扩展 I/O(其中包括一路 SPI 硬核接口和一路 I2C 硬核接口)
- 板上提供系统时钟 12MHz, 也可以使用片内的内部时钟作为系统时钟
- 集成 FT232 编程器, 支持 Lattice Diamond 设计工具, 用户只需要一根 Micro USB 连接线就能够实现板卡的供电和 FPGA 下载编程工作。
- 可以通过板上的 Micro USB 口 5V 供电, 同时在 DIP40 的第 1 脚预留了 VBUS 口, 可以外接 5V 电源实现供电

管脚分配:

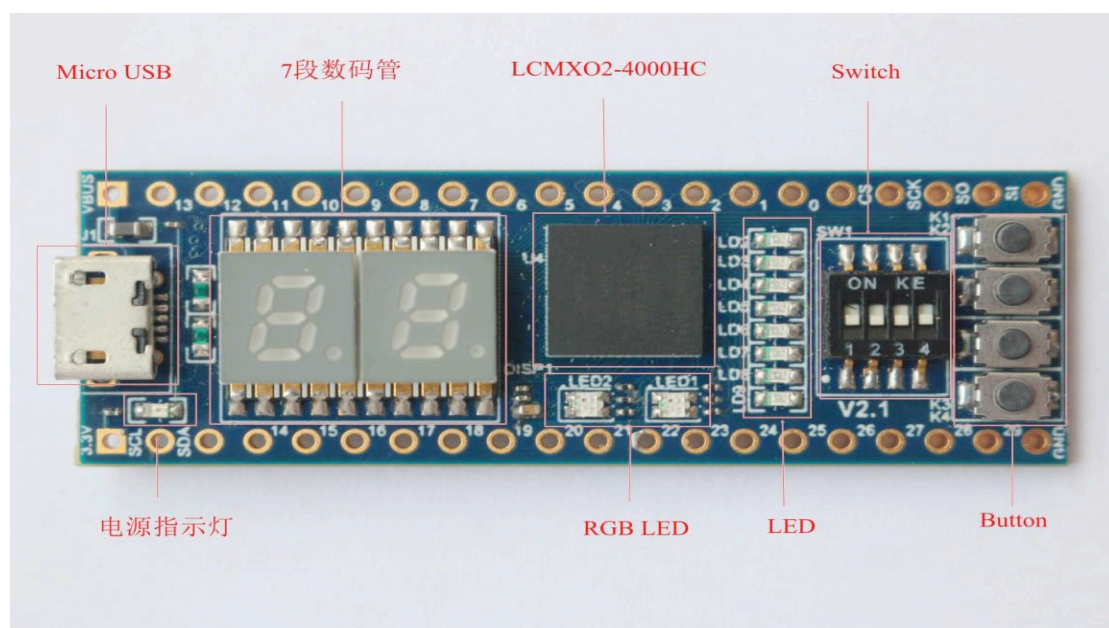
STEP 引脚	FPGA 引脚	STEP 引脚	FPGA 引脚
3.3V		GND	
SCL	C8	SPISI	P13
SDA	B8	SPISO	N4
GPI00	E3	SPISCK	M4
GPI01	F3	SPICS	P3
GPI02	G3	GPI016	J12
GPI03	H3	GPI017	K13
GPI04	J2	GPI018	K14
GPI05	J3	GPI019	K12
GPI06	K2	GPI020	J14
GPI07	K3	GPI021	J13
GPI08	L3	GPI022	H12
GPI09	N5	GPI023	G14
GPI010	P6	GPI024	G13
GPI011	N6	GPI025	F14
GPI012	P7	GPI026	F13
GPI013	N7	GPI027	G12
GPI014	P8	GPI028	F12
GPI015	N8	GPI029	E12
GND		VBUS 5V	

数码管 1	FPGA 引脚	12M 晶振	FPGA 引脚
SEG-A1	A10	PCLK	C1
SEG-B1	C11	LED	FPGA 引脚
SEG-C1	F2	LED1	N13
SEG-D1	E1	LED2	M12
SEG-E1	E2	LED3	P12
SEG-F1	A9	LED4	M11
SEG-G1	B9	LED5	P11
SEG-DP1	F1	LED6	N10

SEG-DIG1	C9	LED7	N9
LED8	P9		

数码管 2	FPGA 引脚	拨码开关	FPGA 引脚
SEG-A2	C12	SW1	M7
SEG-B2	B14	SW2	M8
SEG-C2	J1	SW3	M9
SEG-D2	H1	SW4	M10
SEG-E2	H2	按键	FPGA 引脚
SEG-F2	B12	KEY1	L14
SEG-G2	A11	KEY2	M13
SEG-DP2	K1	KEY3	M14
SEG-DIG2	A12	KEY4	N14

三色灯 1	FPGA 引脚	三色灯 2	FPGA 引脚
R_LED1	M2	B_LED2	P4
G_LED1	N2	G_LED2	N3
B_LED1	P2	R_LED2	M3

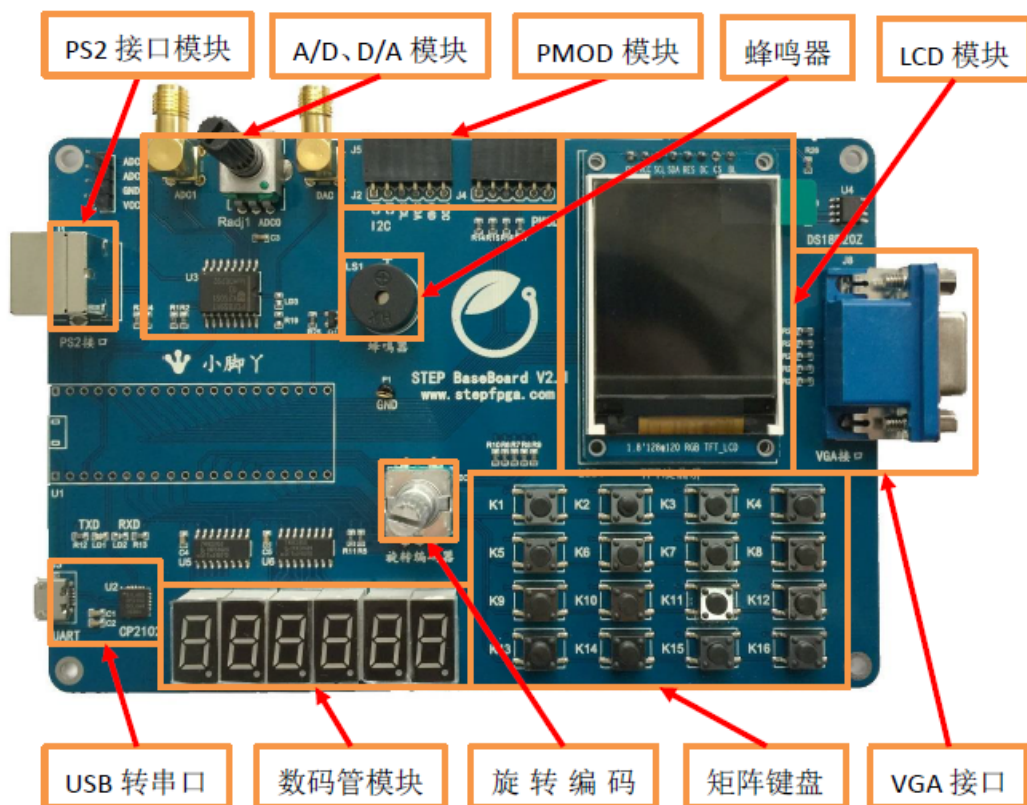


更详细资料参考文档：

[STEP-MX02 V2 硬件手册 V1.0. pdf](#)

[STEP-MX02 V2.1 原理图. pdf](#)

四、 STEP-Baseboard V2 外设实验底板



参考文档:

[STEP-Baseboard 底板硬件手册 V2.1.pdf](#)

五、 开发工具软件安装

1、到 Lattice 官网注册，到如下网址下载对应操作系统的最新 Diamond 软件安装包: [Diamond 3.12 64-bit for Windows](#) 或者 [Diamond 3.12 64-bit for Linux](#)

网址:

[http://www.latticesemi.com/zh-](http://www.latticesemi.com/zh-CN/Products/DesignSoftwareAndIP/FPGAandLDS/LatticeDiamond.aspx)

[CN/Products/DesignSoftwareAndIP/FPGAandLDS/LatticeDiamond.aspx](http://www.latticesemi.com/zh-CN/Products/DesignSoftwareAndIP/FPGAandLDS/LatticeDiamond.aspx)

2、根据安装指南进行安装。

3、访问官网页面 <http://latticesemi.com/Support/Licensing.aspx>，点击获得一个 **Node-locked Free License** 免费许可证。(邮箱获取)。根据自己的电脑 Mac 地址申请个人专用的免费许可证。

参考文档:

[STEP-MX02 V2 软件手册 V1.0.pdf](#)

[Lattice Diamond 安装配置.pdf](#)

[Lattice Diamond 使用案例.pdf](#)

实验要求

本课程实验分为基础必做实验、进阶限选实验和自由拓展实验三部分。参考所给的资料,按照以下具体要求编写 VHDL 程序,在实验板上完成以下实验项目。

1、基础必做实验 2 个

- 实验一 基于矩阵按键和数码管显示的键入系统设计
- 实验二 基于 PWM 调制技术的呼吸灯系统设计

2、进阶限选实验 3 个

实验 3-5 中**选做** 2 个。

- 实验三 基于数码管独立显示和三色灯的交通指示系统设计
- 实验四 基于小脚丫底板数码管扫描显示的数字时钟系统设计
- 实验五 基于无源蜂鸣器和矩阵按键的电子琴系统设计

实验 8-9 中**选做** 1 个。

- 实验八 基于 FPGA 开发板的直流电压测量装置
- 实验九 基于 FPGA 开发板的简易 CPU 设计

2、自由拓展实验

自由选择,不强制要求。选作内容可替代进阶实验的实验 3 到实验 5 中的一个,完成后另有额外的上限 3 分的加分。基于提供实验底板已有的外设,或自行创意,用 VHDL 语言编程实现难度不应低于以下推荐内容的实验。学生自主查询参考资料并完成设计。

- 实验六 基于 DS18B20Z 温度传感器和数码管显示的温度计系统设计
- 实验七 基于 VGA 驱动液晶屏的色彩测试系统设计

实验一基于独立和矩阵按键和数码管显示的键入系统设计

1. 实验目的

掌握独立和矩阵按键的原理及驱动,学习基于小脚丫 FPGA 开发板和外设底板实现用 VHDL 语言编程对小脚丫上独立按键以及底板上矩阵按键信息进行采集和按键消抖处理技术。

了解数码管显示工作原理,掌握数码管驱动方式,掌握用 VHDL 语言设计数码管显示驱动。

2. 实验内容

根据按下的按键,在数码管上显示输入按键标识。包含 4 个独立按键和 16 个底板上的扫描按键。具体显示信息可自行定义。并在实验检测时,能够根据检测要求现场修改代码后显示指定的数字或者符号。

3. 设计提示

按键抖动的产生:通常的按键所用的开关为机械弹性开关,当机械触点断开、

闭合时,由于机械触点的弹性作用,一个按键开关在闭合时不会马上稳定地接通,在断开时也不会一下子断开。因而在闭合及断开的瞬间均伴随有一连串的抖动,为了不产生这种现象而作的措施就是按键消抖。

消除抖动的措施:在按键按下的时刻,会出现波形的抖动,在之后的一段时间内,才会出现平稳的波形。我们舍弃了刚刚检测到按键按下的时刻,读取这一时刻之后 40ms 左右的按键信息,这样可以防止一次按键被误读多次。

独立按键和矩阵式按键采用不同的处理方法,具体请参阅参考文档: [实验一 按键处理设计.pdf](#)

数码管显示原理请参阅: [数码管显示.doc](#)。

实验二基于 PWM 调制技术的呼吸灯系统设计

1. 实验目的

了解 PWM 概念及原理,学习基于 PWM 调制技术的脉冲发生器的原理。

掌握 LED 通过 PWM 调节亮度的方法,掌握用 VHDL 语言实现呼吸灯的方法。

2. 实验内容

采用 FPGA 实现小脚丫开发板的 LED 灯的呼吸效果,即缓缓变亮,缓缓熄灭,周而复始,实现“呼吸”的效果。并可利用按键控制呼吸灯变化的速度等级和亮度等级。

并在实验检测时,能够根据检测要求通过现场简单修改代码展示修改后的效果。

3. 硬件连接

FPGA 的系统时钟来自于小脚丫 FPGA 开发板配置的 12MHz 时钟晶振,连接 FPGA 的 C1 引脚。本设计需要的 LED8 灯连接到小脚丫开发板芯片的 P9 脚。控制按键 Key1 连接到了小脚丫开发板芯片的 L14 脚。

4. 设计提示

呼吸灯的工作原理:

通过改变 PWM 的占空比从而改变输出电平的有效值,在 LED 的亮度上反应出来,如果占空比能够由小变大再变小,在 LED 上反应出的效果就是呼吸灯的效果。

PWM:

脉冲发生器就是要产生一个脉冲波形,而脉冲宽度调制器则是要产生一个周期和占空比可变的脉冲波形 (Pulse-Width Modulation, PWM)。脉冲宽度调制器的实现原理比较简单,可以简单的理解为一个计数器对输入的时钟信号进行分频的过程。通过改变计数器的上限值来达到改变周期的目的,通过改变电平翻转的阈值来达到改变占空比的目的。下面举个简单的例子来说明其工作原理。

假如有一个计数器 T 对时钟分频,其计数的范围是从 0~N,另取一个 M (0≤M≤N),若输出为 Q,那么 Q 只要满足条件

$$Q = \begin{cases} 1 & 0 \leq T < M \\ 0 & M \leq T \leq N \end{cases}$$

通过改变 N 值,即可改变输出的脉冲波的周期;改变 M 值,即可改变脉冲波的占空比。这样输出的脉冲波的周期和占空比分别为:

$$\text{周期} = (N+1)T_{\text{CLOCK}}$$

$$\text{占空比} = \frac{M}{N+1} \times 100\%$$

参阅文档: [实验二基于脉宽调制的呼吸灯原理简述.pdf](#)

实验三基于数码管独立显示和三色灯的交通指示系统设计

1. 实验目的

掌握有限状态机的原理、设计方法与步骤。
用 VHDL 语言实现十字路口交通灯控制程序。

2. 实验内容

利用小脚丫 FPGA 实验板上的两个三色 LED 灯，模拟实现十字路口的红绿灯控制系统。

3. 具体要求

可通过按键设置不同控制模式，实现多种模式下的控制方式。如可以设置普通双向对等模式、一向主干道一向次干道的非对等控制模式或者双向长黄闪灯模式等。

数码管可显示读秒数据（可选）。

4. 设计提示

FSM: finite state machine，是由寄存器组和组合逻辑构成的重要时序电路，在数字系统设计中有着非常重要的地位和作用。在同一时钟跳变沿由一个状态转移到另一个状态。包含时序、组合逻辑电路。可以模拟大部分事物。如按键命令、自动门控制、通信时序等。

参见文档: [实验三基于 FSM 的交通灯控制.pdf](#)

实验四基于小脚丫底板数码管扫描显示的数字时钟系统设计

1. 实验目的

了解数字时钟工作原理，学习模块化编程，掌握按键消抖、数码管显示、状态机等综合应用。

2. 实验内容

基于小脚丫实验板和外设底板用 VHDL 语言编程完成简易数字时钟的设计。

3. 具体要求
 - 三个按键：模式按键、数字加键、数字减键；
 - 四种模式：正常模式、调时模式、调分模式、调秒模式；
 - 四个 LED 灯：对应指示数字时钟的四种模式；
 - 六位数码管正常模式下从左至右每两位一组分别显示时分秒数值。调时模式下，对应数码管显示调整数值；
 - 小数点 DP 显示：左侧起第 2、4、6 个数码管 DP 点亮，以区分时分秒。
4. 设计提示
 - 参见文档：[实验四数字时钟设计.pdf](#)

实验五基于无源蜂鸣器和矩阵按键的电子琴系统设计

1. 实验目的
 - 了解时钟计数分频，数组，控制标志以及蜂鸣器的运用。
2. 实验内容
 - 基于小脚丫 FPGA 开发板和按键、蜂鸣器的小钢琴设计。
3. 具体要求
 - 1) 采用 FPGA+按键+无源蜂鸣器实现小钢琴功能；
 - 2) 7 个按键，分别对应 7 个音符，按下时蜂鸣器发出对应音调；
 - 3) 设计一个音乐自动播放功能，根据存入的乐谱进行循环播放；
 - 4) 其它个性化功能
4. 设计提示
 - 参见文档：[基于无源蜂鸣器和矩阵按键的电子琴系统设计.docx](#)

实验六基于 DS18B20Z 温度传感器和数码管显示的温度计系统设计

1. 实验目的
 - 了解 DS18B20Z 温度传感器工作原理与控制流程，理解数码管的显示原理与控制方式，学习和应用模块化编程。
2. 实验内容
 - 基于小脚丫 FPGA 开发板和温度传感器数码显示，设计温度计系统。
3. 具体要求
 - 基于 DS18B20Z 温度传感器和数码管显示的温度计系统设计要求：
 - 1) 显示摄氏温度和华氏温度；
 - 2) 精确到小数点后两位。

- 3) 其它个性化功能, 如显示个性化信息等
4. 设计提示
参见文档: [基于 DS18B20Z 温度传感器和数码管显示的温度计系统设计.docx](#)

实验七基于 VGA 驱动液晶屏的色彩测试系统设计

1. 实验目的
了解 VGA 的工作原理, 学习和应用模块化编程。
2. 实验内容
基于 VGA 驱动液晶屏的色彩测试系统。
3. 具体要求
 - 1) 分辨率为 800*600;
 - 2) 从左到右依次均匀地显示 RED、GREEN、BLUE、YELLOW、MAGENTA、CYAN1、WHITE、BLACK 共 8 个色带。
 - 3) 其它个性化功能
4. 设计提示
参见文档: [基于 VGA 驱动液晶屏的色彩测试系统设计.docx](#)

实验八基于 FPGA 开发板的直流电压测量装置

1. 实验目的
 - 任务: 基于 STEP-MX02 V2 FPGA 核心板 和 STEP BaseBoard V2.0 底板 完成 简易电压表设计并观察调试结果
 - 要求: 通过底板上的串行模数转换器 ADC 芯片测量可调电位计输出电压, 并将电压信息显示在核心板或底板的数码管或 LCD 屏上。
 - 解析: 通过 FPGA 编程驱动串行 ADC 芯片, 得到数字量化的电压信息, 将量化的数字信息转换成 BCD 码形式, 同时驱动独立数码管或 LCD 将电压值显示出来。
2. 实验内容
学习模数转换器 ADC 的相关知识, 串行 (I2C 接口) ADC 芯片 PCF8591 的驱动设计, 同时学习二进制数转换 BCD 码的设计方法。拓展内容含 LCD 显示驱动方法。
 - 学习模数转换器 ADC 的相关知识
 - 串行 (I2C 接口) ADC 芯片 PCF8591 的驱动设计
 - 学习二进制数转换 BCD 码的设计方法
 - LCD 显示驱动方法
 - 完成简易电压表设计实现

3. 实验要求

0-3.3V 的直流电压加在串行 ADC 的模拟输入端，串行 ADC 将直流电压转换为 8 位的数字量，0-3.3V 的直流模拟电压得到 0-255 的数字量；小脚丫 FPGA 通过内部产生的 I2C 时序将 ADC 转换的数据读取到 FPGA 内部的寄存器，并将串行的二进制数据转换成 8 位并行的数据。

转换后数据的以三种方式显示。

基本要求：通过点亮 8 个 LED 显示电压的相对强度；

扩展要求：通过底板上连接的 4 个 7 位数码管以二进制的形式（0-255）或直流电压的方式（0-3.300）显示；通过扩展板上连接的 LCD 显示屏，在 LCD 上显示电压值。

参见文档：[实验八 进阶实验直流电压测量装置 实验要求.doc](#)
[直流电压测量实验指导.rar](#)

实验九 基于 FPGA 开发板的简易 CPU 设计

实验目的

基于小脚丫 FPGA 开发板的简易 CPU 设计，要求：

1. 了解给出的简易 CPU 工作的原理，包括数据和指令的存取，指令的执行，总线控制方法等；
2. 基于给出的部分代码，实现可综合的简易 CPU；
3. 用 LED 等显示 CPU 的 8 位寄存器内容，对存储的数据进行修改时相应的寄存器会改变。

实验内容

1. 仿真理解 CPU 的行为
2. 将代码改写成可综合电路
3. 将 CPU 例程运行在实验板上

参见文档：[实验九 进阶实验 MCPU 实验要求.doc](#)
[拓展实验 MCPU 实验指导.rar](#)

实验报告要求

- 1 所有试验在一份实验报告中分别顺次撰写。参见 [VHDL 实验报告第 0XX 组 组长 XXX 模板.doc](#)。
- 2 每个实验的报告应该包含但不限于以下部分。
- 3 设计思路简要介绍，问题描述，整体方案，包含方框图，状态图，模块划分，子模块设计思路，及对其的说明，以及结果图片等
- 4 仿真及板级测试过程方法说明；FPGA 资源使用情况，如寄存器使用及解释，列出对 warning 消息的解释，不要拷贝所有 report 内容，只列出相关的；Testbench 描述，仿真波形等，应有注释说明
- 5 结论，实现中遇到的问题、解决方法、获得的经验教训、改进建议和意见
- 6 更多有创意和特色的功能及内容，需要在实验检测时有 demo，报告里有描

述

7 源码，仿真 testbench 文件另列入附件

- 注意代码风格和注释个性化，tab-indented code, well commented
- “标准”单元的可识别性，状态机，计数器，时钟分频，解码器
- 模块的敏感信号使用
- 无 latch 和其他 synthesis 问题
- Testbench code

8 参考资料

实验报告提交规范

- 1、实验报告提交应分为两个部分：实验报告&代码
- 2、实验报告提供一份文档，包括所做所有实验内容（附件内贴代码），命名按照“VHDL 实验报告第 XX 组_组 XXX”，实验报告模板见“VHDL 实验报告第 0XX 组_组长 XXX 模板.doc”
- 3、代码文件分实验放在 code 文件夹内，作为附件。
- 4、最后将实验报告（可转 pdf）与 code 文件夹一起打包，命名为“VHDL 实验报告第 0XX 组_组 XXX”提交。