Vivado 下 LED 流水灯实验

黑金动力社区 2019-07-25

1 实验简介

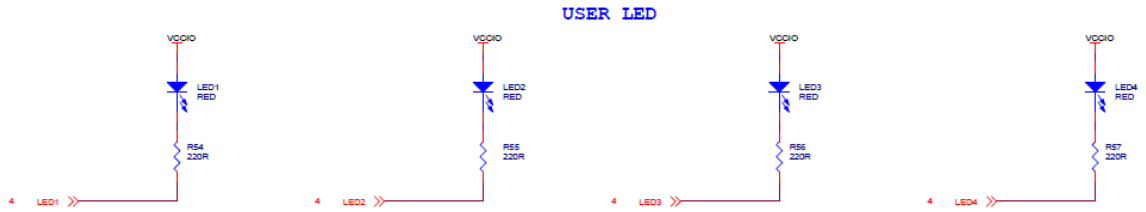
通过 LED 流水灯实验，介绍使用 vivado 软件开发 FPGA 的基本流程，器件选择、设置、代码编写、编译、分配管脚、下载、程序 FLASH 固化、擦除等；同时也检验板上 LED 灯是否正常。

2 实验环境

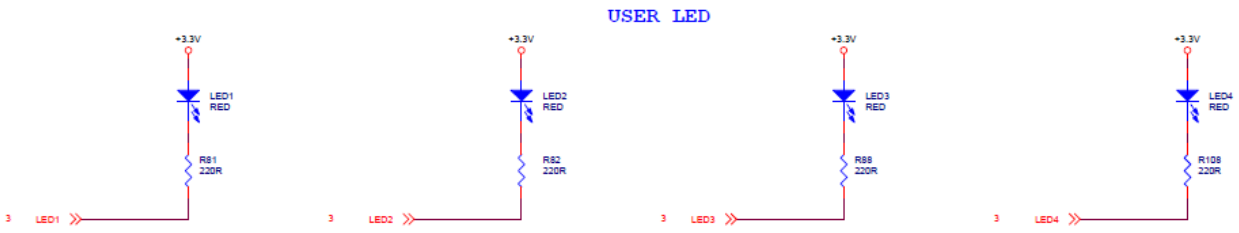
- Windows 10 64 位
- vivado 2019.1
- 黑金 FPGA 开发板（AX7050 开发板、AX7035 开发板）

3 实验原理

3.1 LED 硬件电路



AX7035 开发板 LED 部分原理图



AX7050 开发板 LED 部分原理图

从上面的 LED 部分原理图可以看出， AX7035 开发板和 AX7050 开发板都是将 IO 经过一个电阻和 LED 串联接电源端，FPGA 的 IO 输出低电平点亮 LED。IO 输出高电平 LED 灯熄灭，其中的串联电阻都是为了限制电流。

3.2 程序设计

FPGA 的设计中通常使用计数器来计时，对于 50Mhz 的系统时钟，一个时钟周期是 20ns，那么表示一秒需要 50000000 个时钟周期，如果一个时钟周期计数器累加一次，那么计数器从 0 到 49999999 正好是 50000000 个周期，就是 1 秒的时钟。

程序中定义了一个 32 位的计数器：

```
//Define the time counter
reg [31:0]      timer;
```

最大可以表示 4294967295，十六进制就是 FFFFFFFF，如果计数器到最大值，可以表示 85.89934592 秒。程序设计中是每隔 1 秒 LED 变化一次，一共消耗 4 秒做一个循环。

```
always@(posedge sys_clk or negedge rst_n)
begin
    if (~rst_n)
           timer <= 32'd0;
    else if (timer == 32'd199_999_999)
           timer <= 32'd0;
    else
           timer <= timer + 1'b1;
end
```

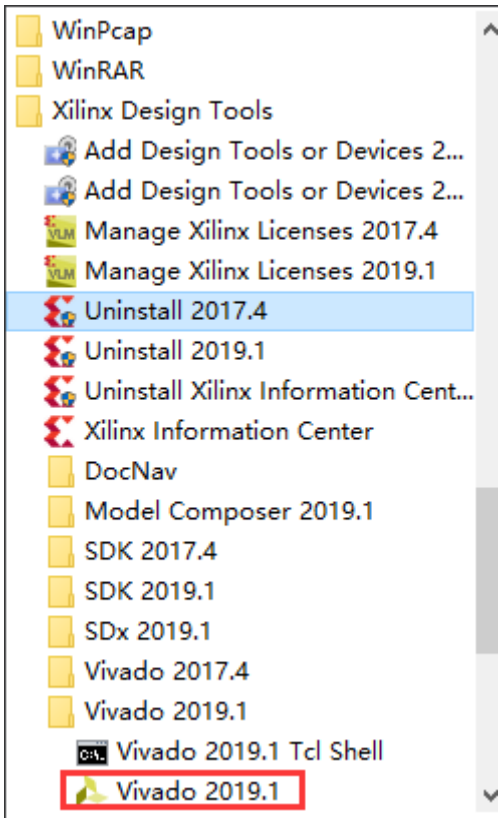
在第一秒、第二秒、第三秒、第四秒到来的时候分别改变 LED 的状态，其他时候都保持原来的值不变。

```
// LED control
always@(posedge sys_clk or negedge rst_n)
begin
    if (~rst_n)
           led <= 4'b0000;
    else if (timer == 32'd49_999_999)
           led <= 4'b0001;
    else if (timer == 32'd99_999_999)
           led <= 4'b0010;
    else if (timer == 32'd149_999_999)
           led <= 4'b0100;
    else if (timer == 32'd199_999_999)
           led <= 4'b1000;
end
```

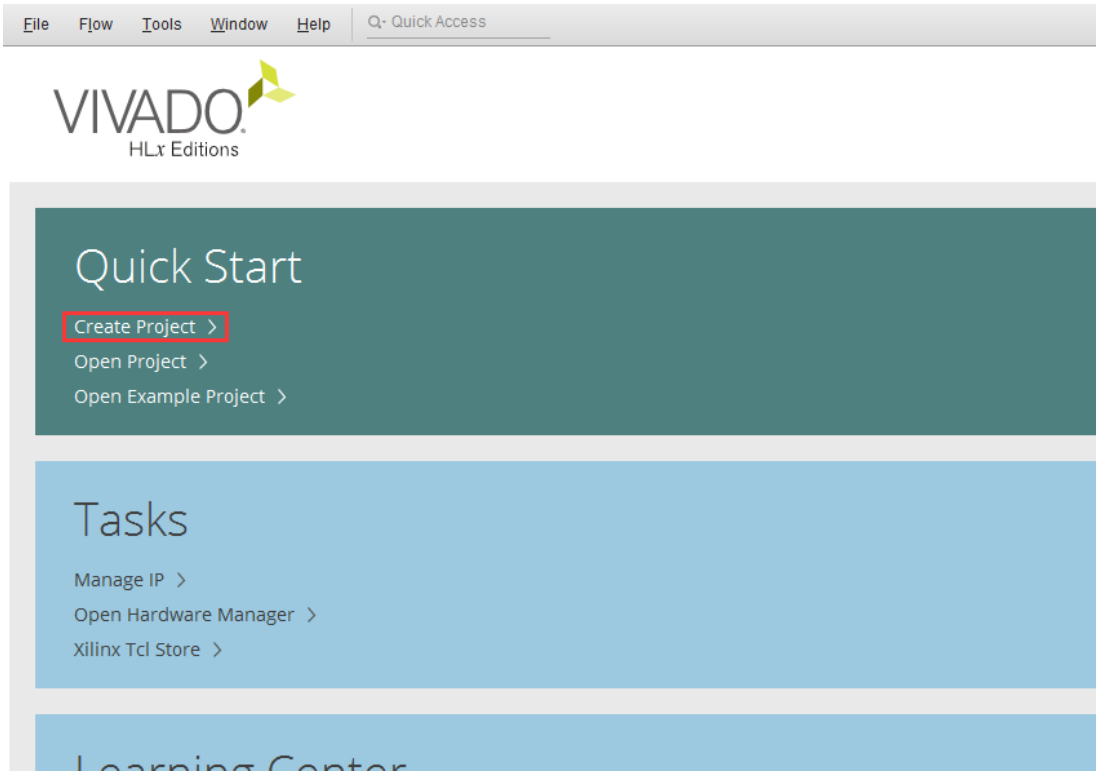
4 Vivado 工程

4.1 创建工程

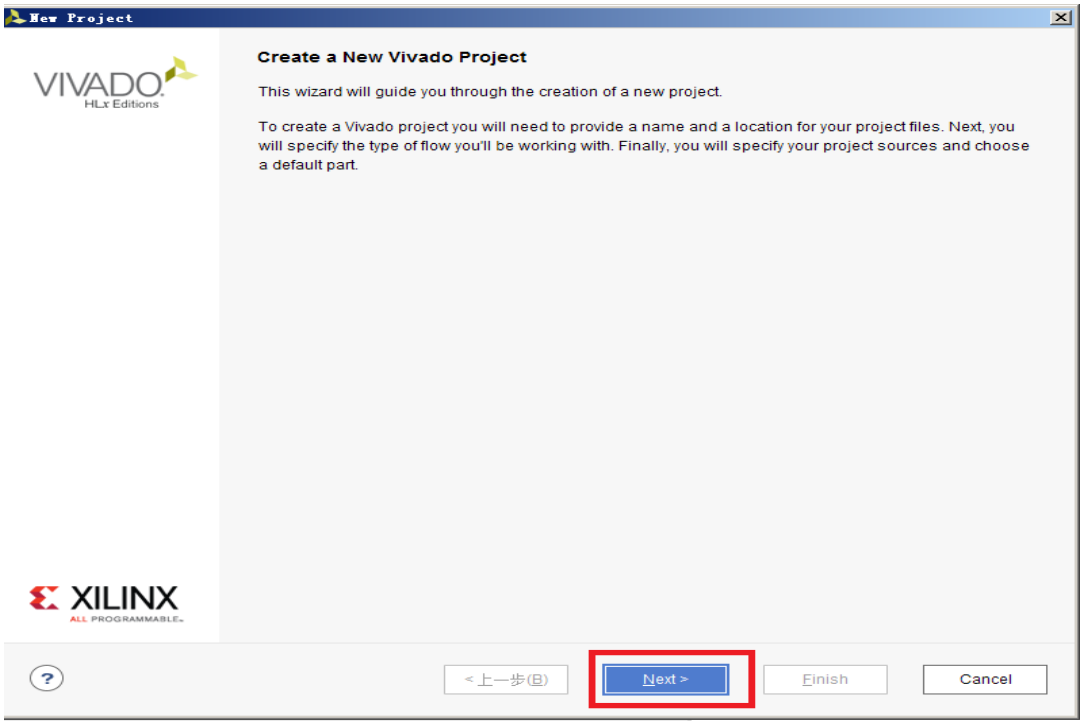
1. 启动 Vivado 2019.1 开发环境(在开始菜单中选择 Xilinx Design Tools->Vivado 2019.1->Vivado 2019.1。或者双击桌面的 Vivado 2019.1 的图标直接打开软件。



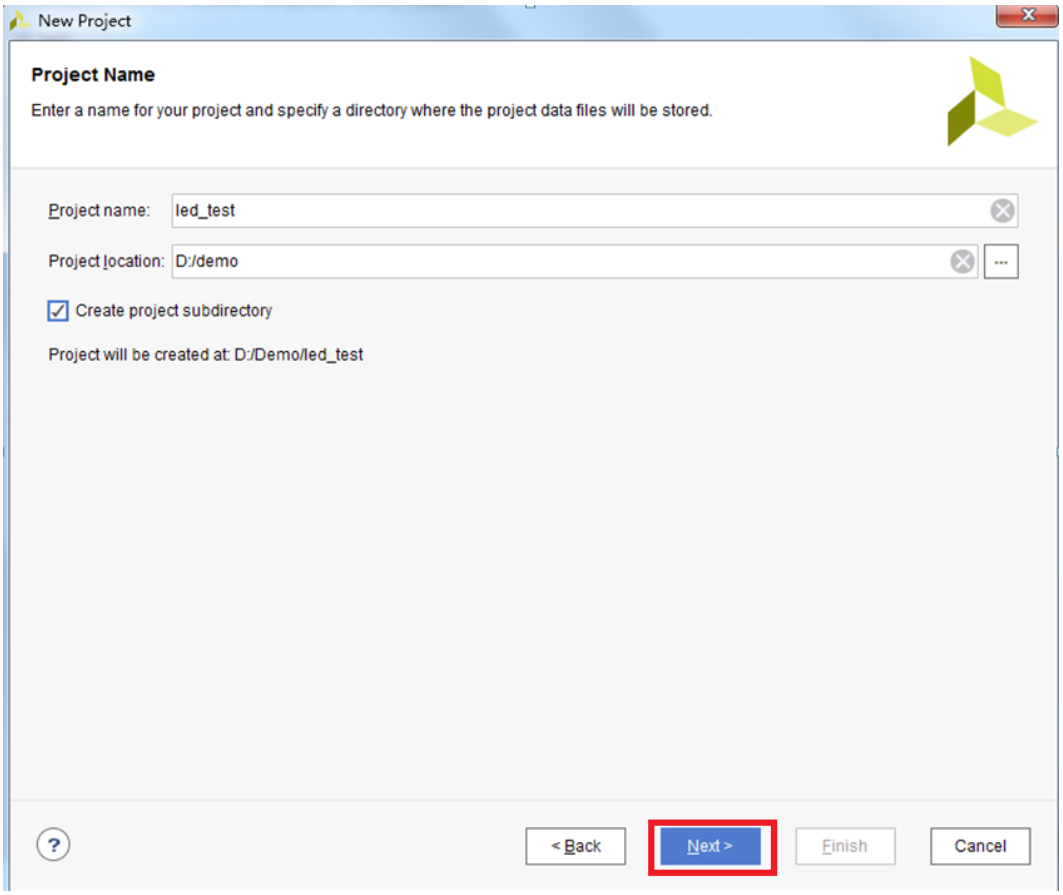
2. 在 Vivado 2019.1 开发环境里双击 Create Project，如下图：



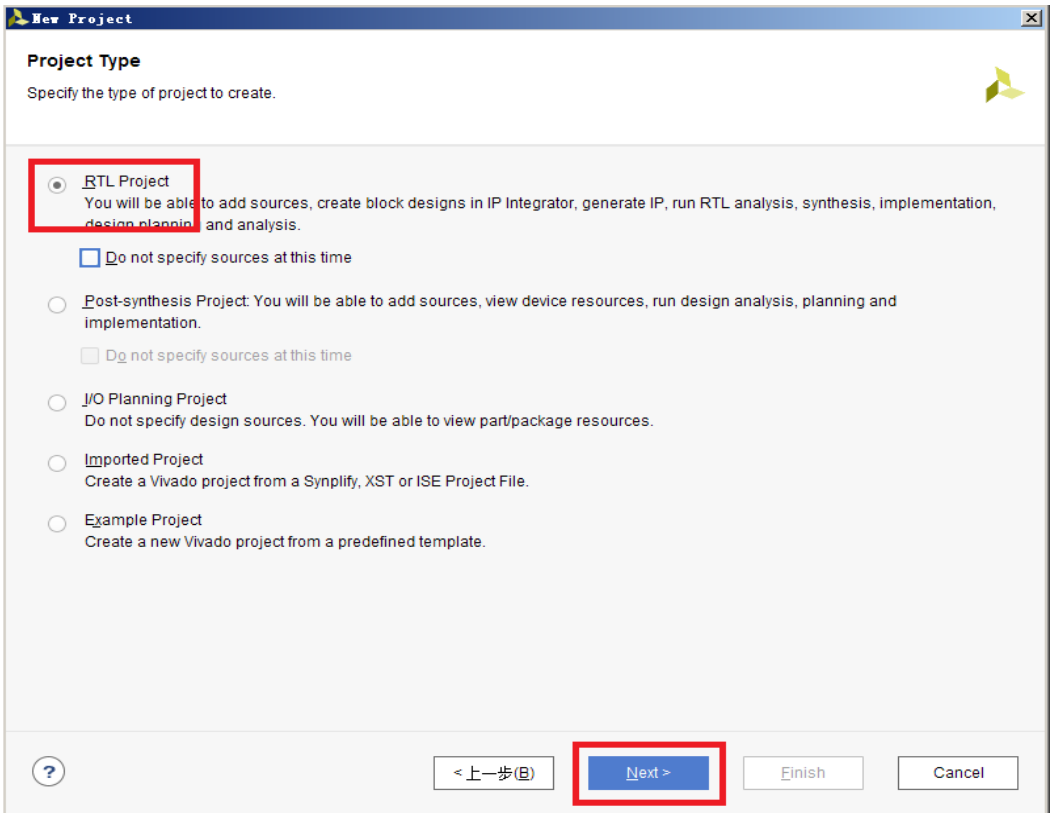
3. 弹出一个 Vivado 的工程向导，点击 Next 按钮。



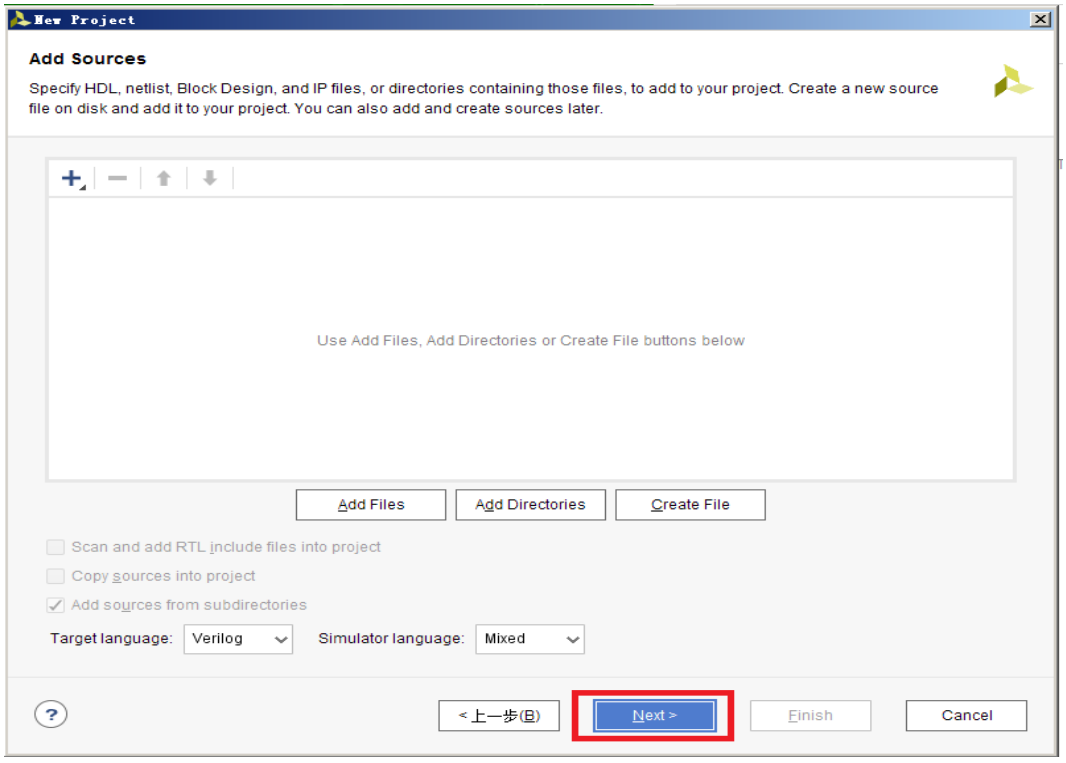
4. 在弹出的对话框中输入工程名和工程存放的目录，这里取一个 led_test 的工程名，点击 Next。



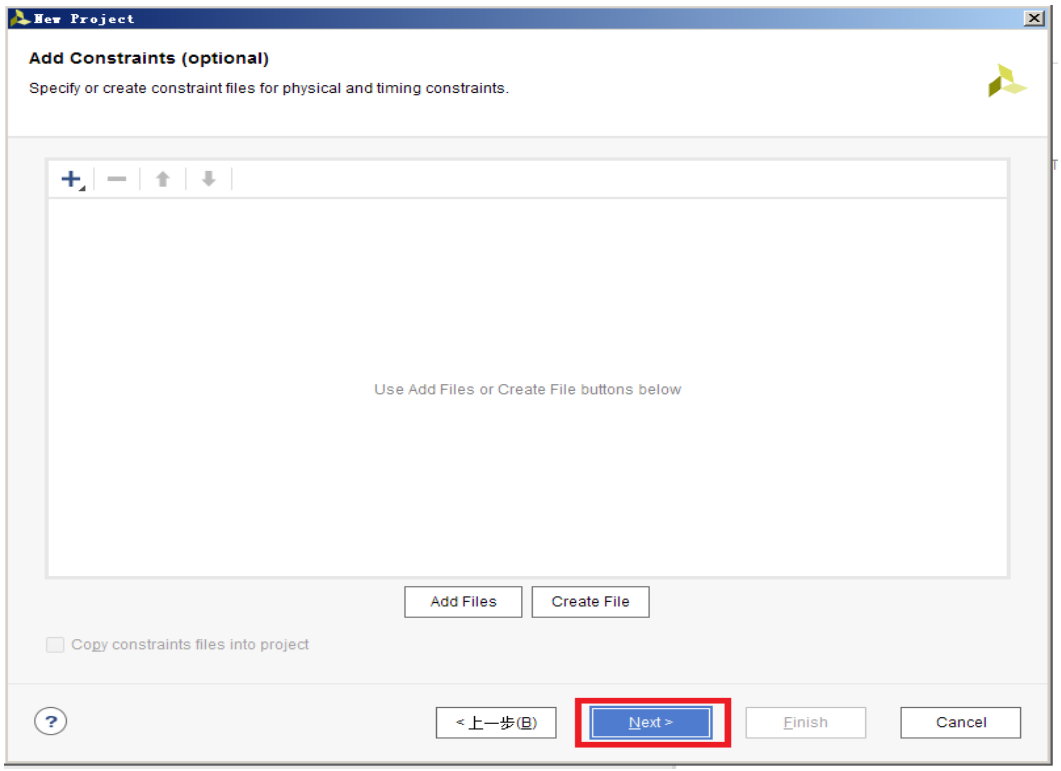
5. 在下面的对话框中默认选择 RTL Project, 因为我们这里使用 verilog 行为描述语言来编程。下面的 Do not specify source at this time 的勾也可以打上。如果不打上，下一步会进入添加 source file 界面，



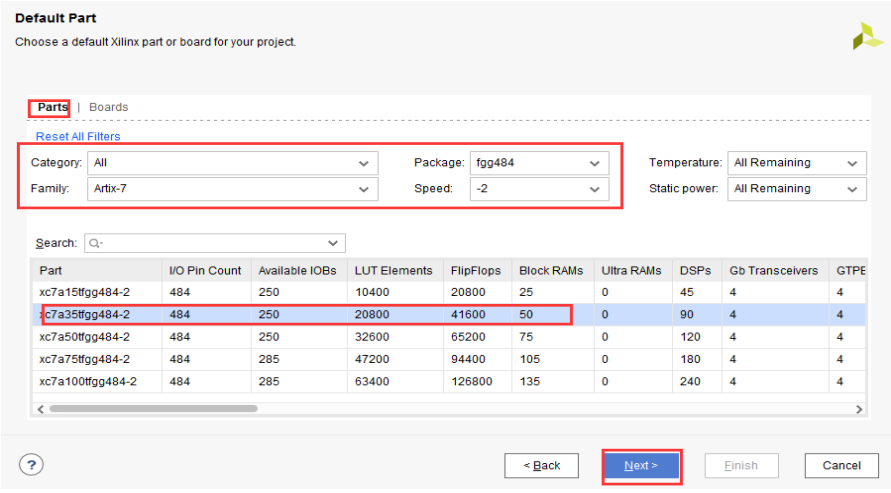
6. 进入添加 source file 界面，这里先不添加任何设计文件。点击 Next



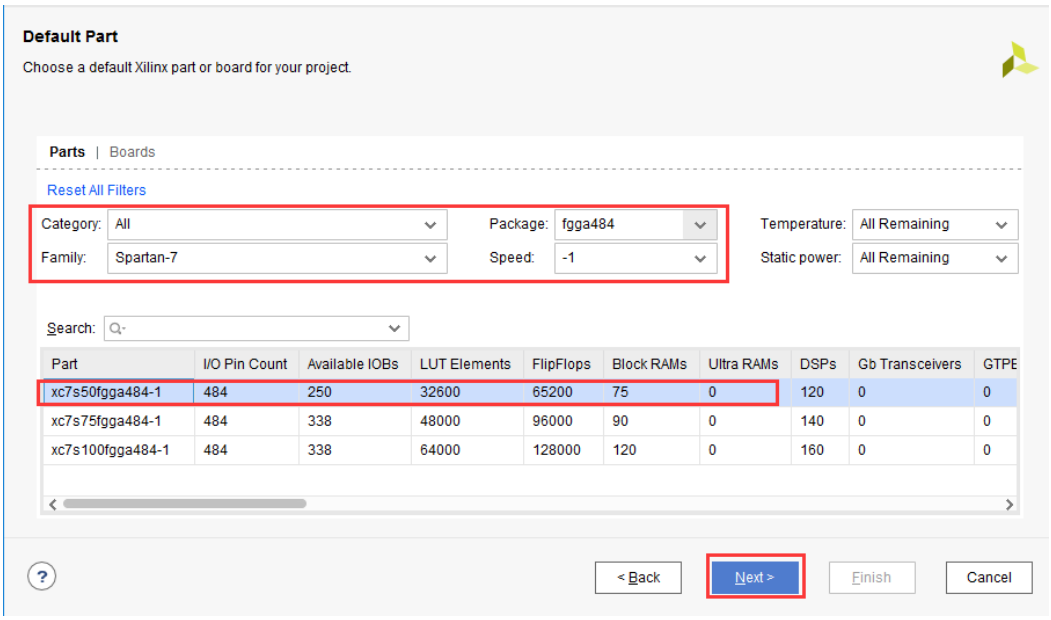
7. 提示是否添加已有的约束文件，这里约束文件我们也没有设计好，也不添加。



8. 在接下来的对话框选择所用的 FPGA 器件，以及进行一些配置。FPGA 芯片型号一定要跟开发板上的型号一致，AX7035 开发板首先在 Family 栏里选择 Artix-7, Speed grade 栏选择-2, 在 Package 栏选择 fgg484，然后在下面的列表中选择 xc7a35tfgg484-2；AX7050 开发板首先在 Family 栏里选择 Spartan-7, Speed grade 栏选择-1, 在 Package 栏选择 fgga484，然后在下面的列表中选择 xc7s50fgga484-1；单击 NEXT 进入下一界面：

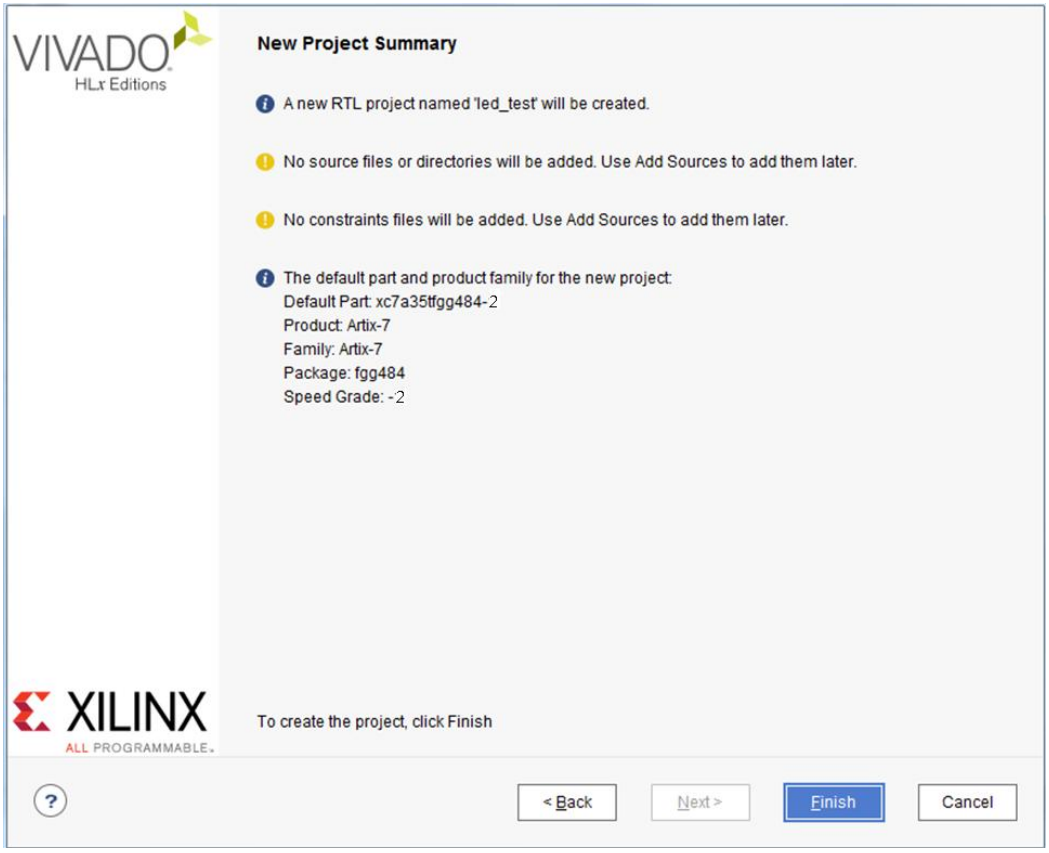


AX7035 开发板 FPGA

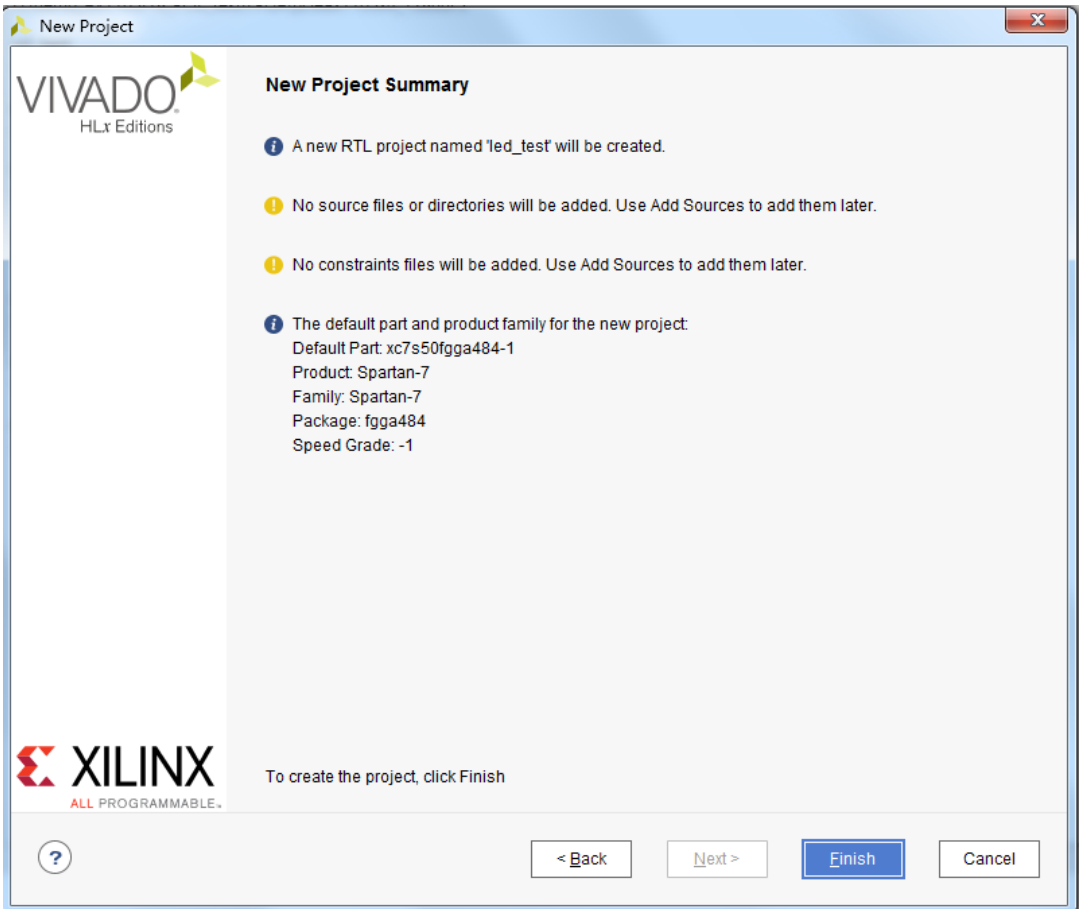


AX7050 开发板 FPGA

9. 再次确认一下板子型号有没有选对, 没有问题再点击“Finish”完成工程创建。

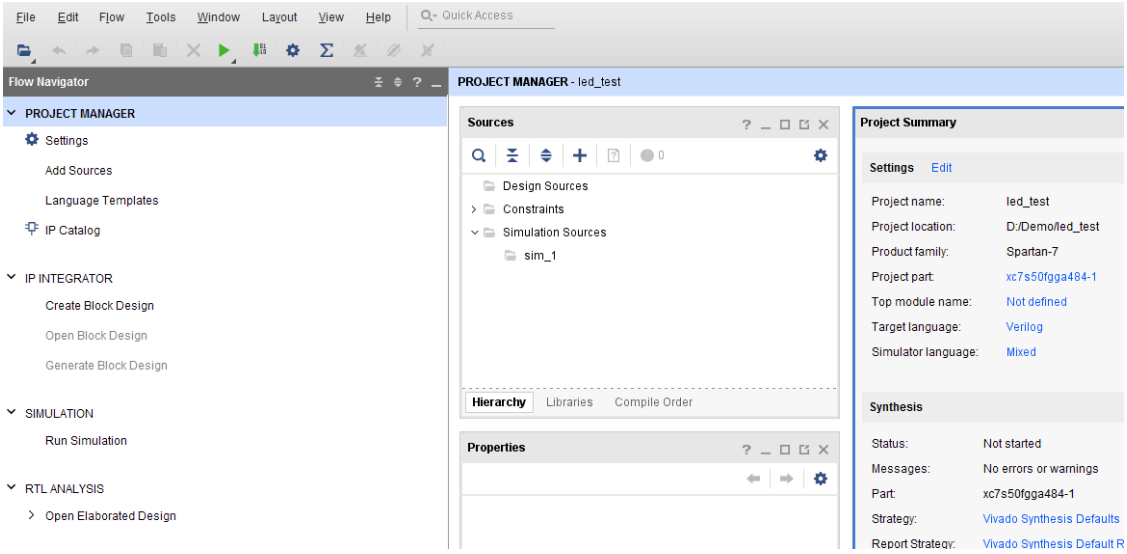


AX7035 开发板 FPGA



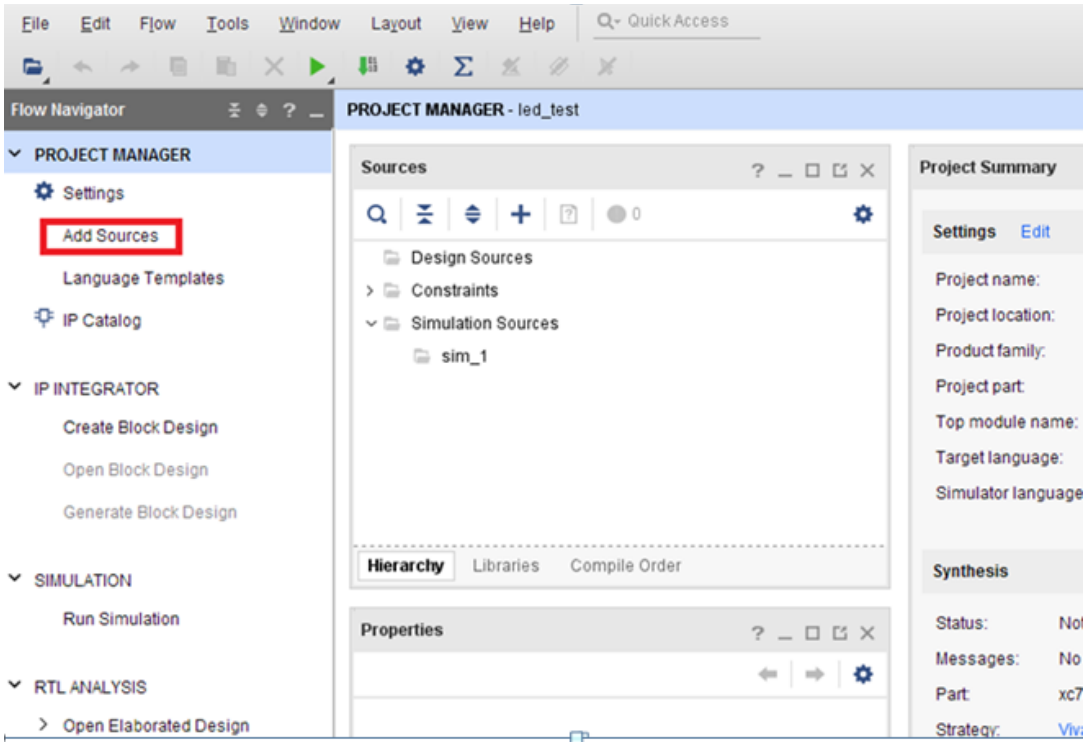
AX7050 开发板 FPGA

10. 工程创建后如下图所示(AX7050 开发板）：

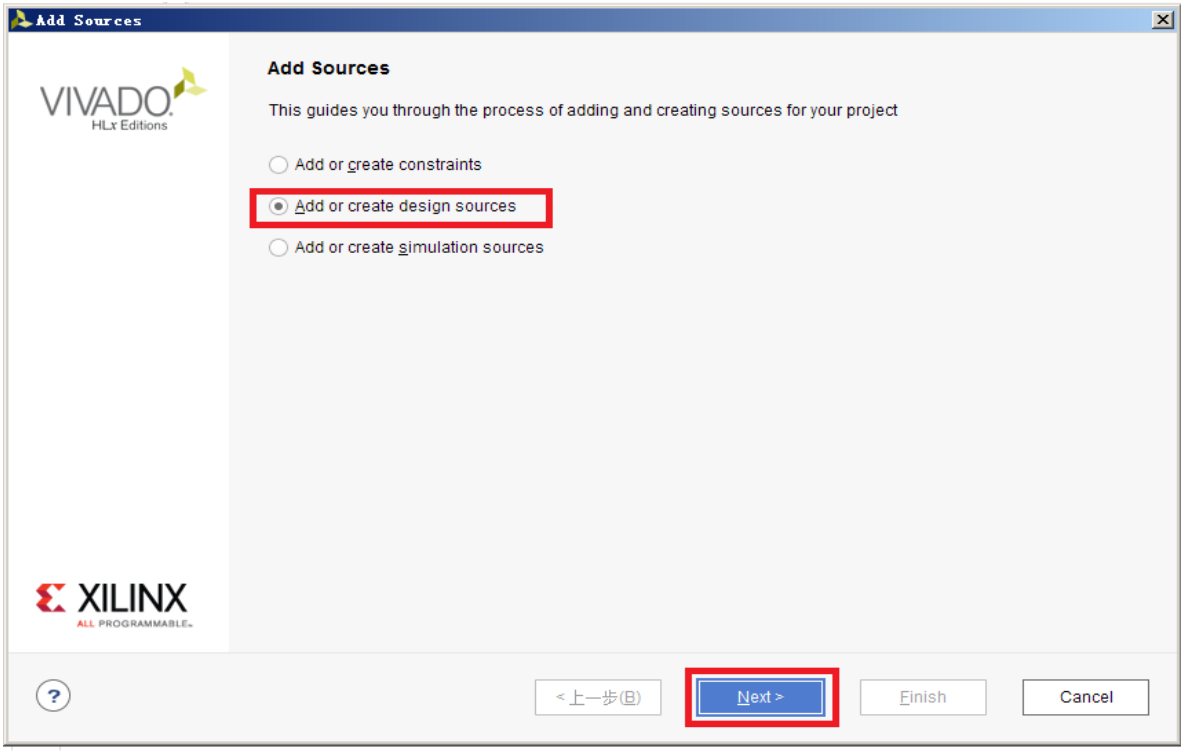


4.2 编写流水灯的 verilog 代码

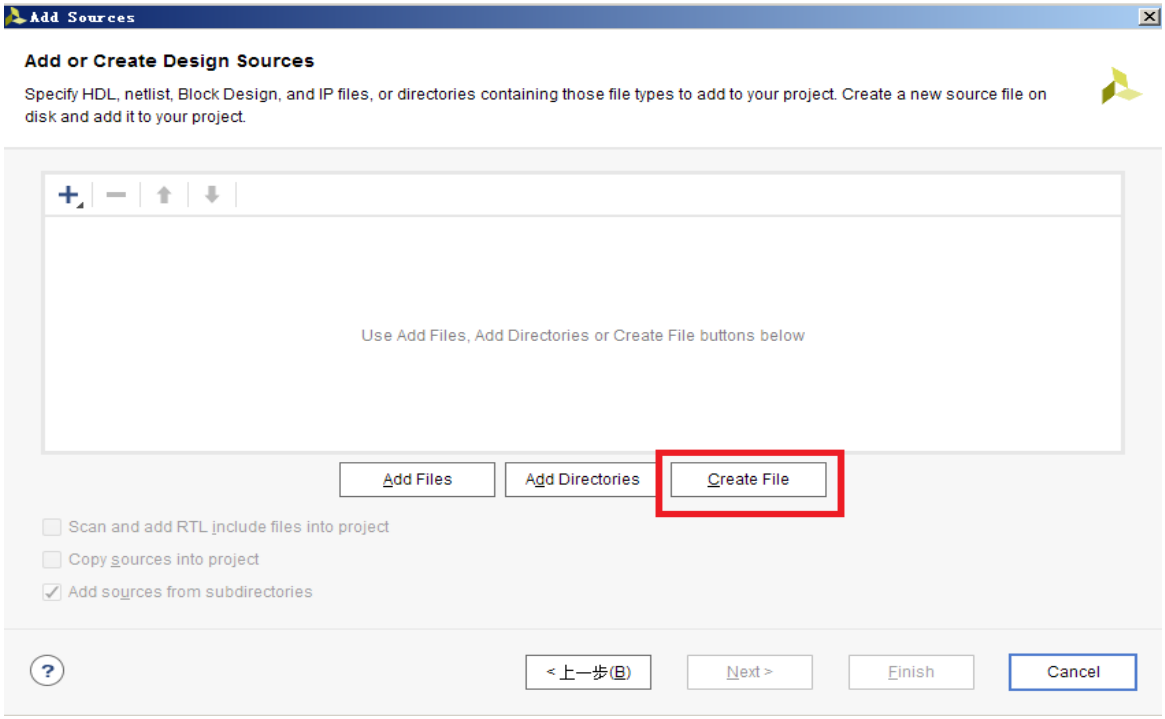
1. 点击 Project Manager 下的 Add Sources 图标（或者使用快捷键 Alt+A）。



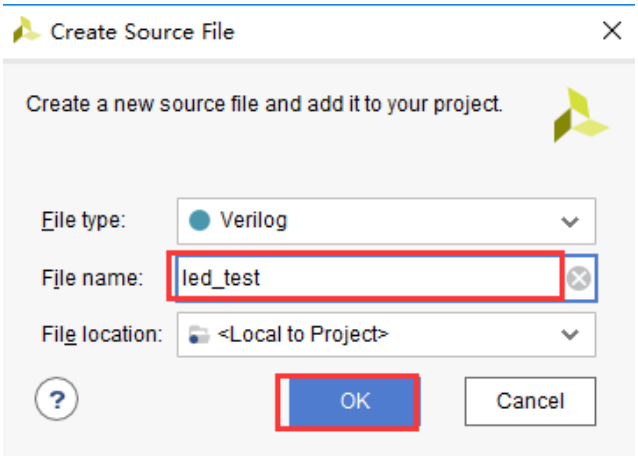
2. 选择 Add or create design sources 选项，点击 Next。



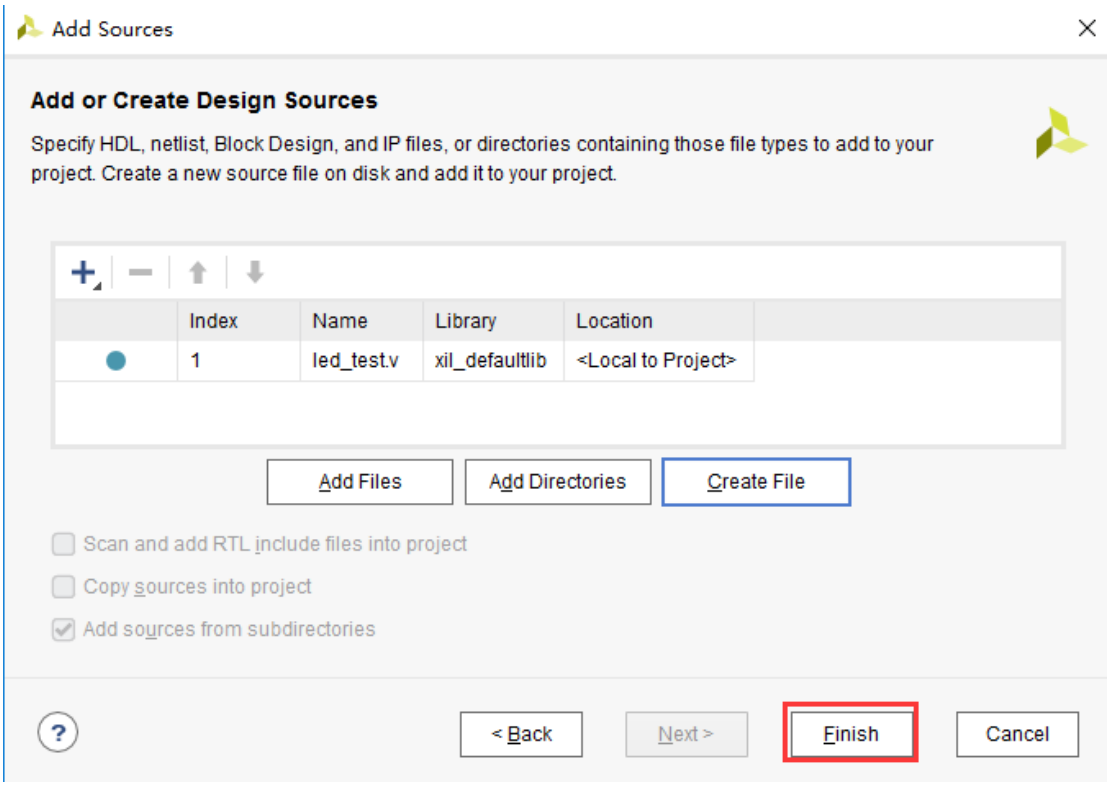
3. 点击 Add Files 可以添加源文件，点击 AddDirectories 可以按目录添加源文件。因为现在我们还没有设计程序，这里要点击 Create File 按钮。



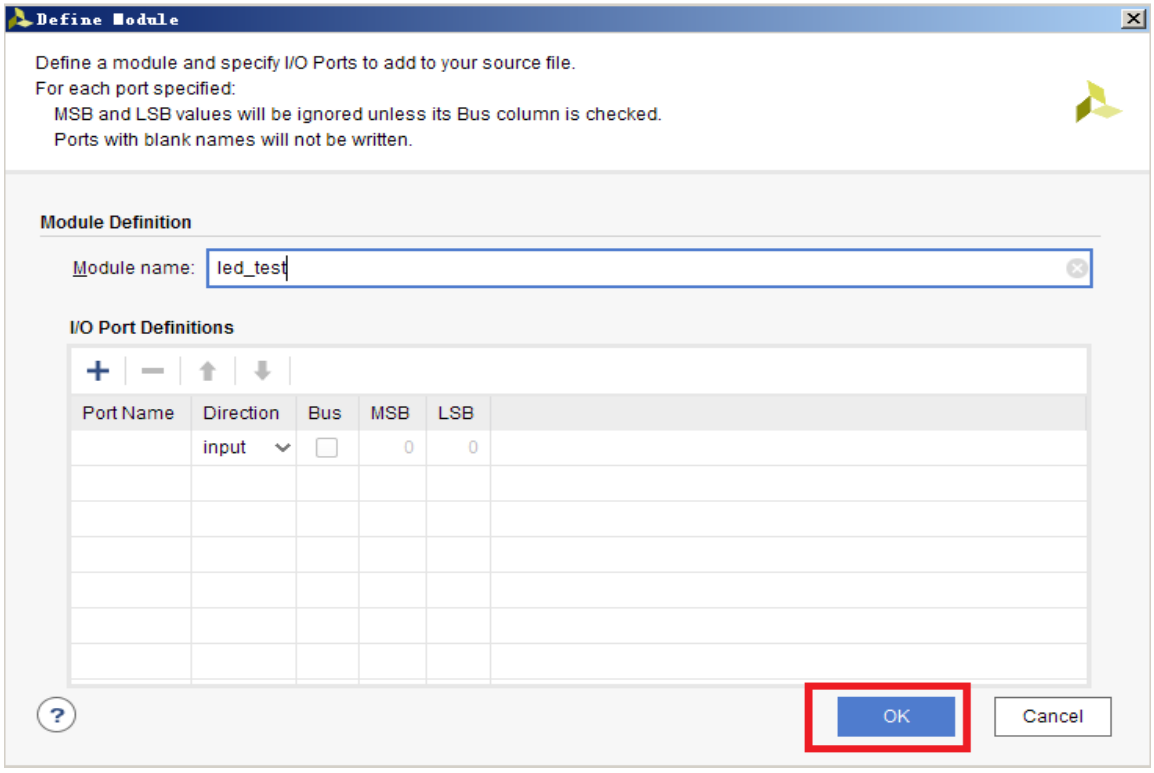
在弹出的对话框里选择 File type 是 verilog, File name 为 led_test, 点击 OK 按钮。

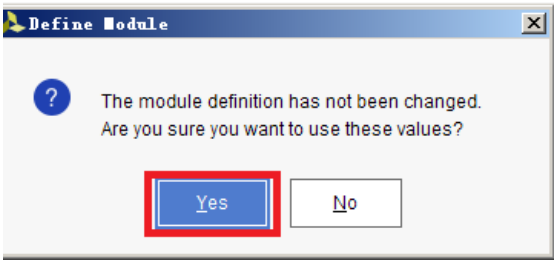


4.点击“Finish”完成。

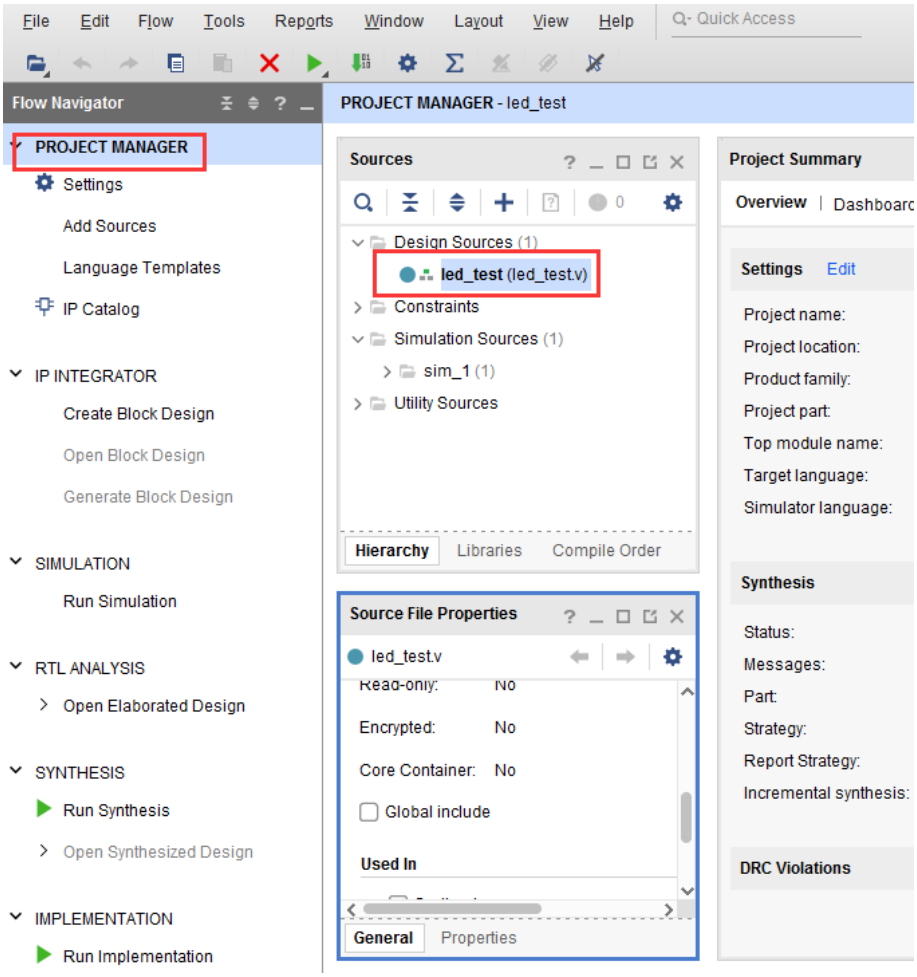


向导会提示您定义 I/O 的端口，这里我们可以不定义，后面自己在程序中编写就可以,单击 OK 完成。





这时在 Project Manager 界面下的 Design Sources 里已经有了一个 led_test.v 文件, 并且自动成为项目的顶层（Top）模块了。



5. 接下去我们来编写 led_test.v 的程序,这里我们定义了一个 32 位的寄存器 timer，用于循环计数 0~199_999_999(4 秒钟)，当计数到 49_999_999(1 秒）的时候，熄灭第一个 LED 灯；当计数到 99_999_999(2 秒）的时候，熄灭第二个 LED 灯；当计数到 149_999_999(3 秒）的时候，熄灭第三个 LED 灯；当计数到 199_999_999(4 秒）的时候，熄灭第四个 LED 灯，计数器再重新计数。具体的操作直接看代码吧。

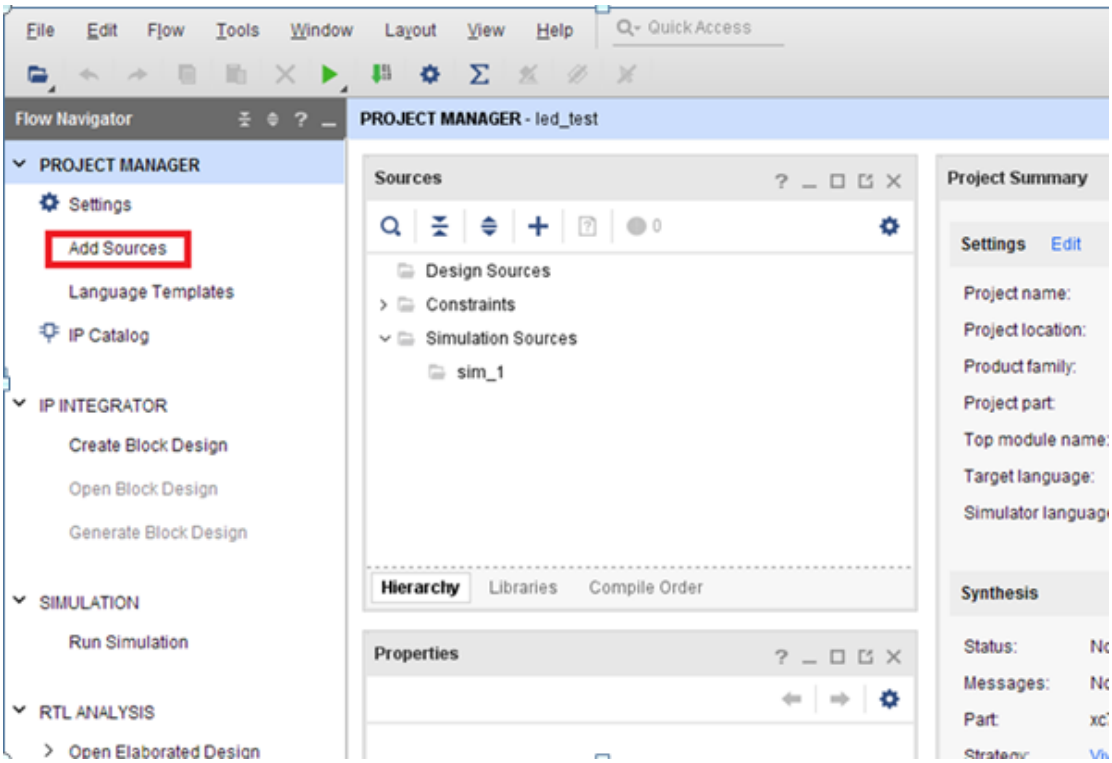
```
    //=============================================================================
// Module name: led_test.v
//=============================================================================
`timescale 1ns / 1ps

module led_test
(
  sys_clk,          // system clock 50Mhz on board
  rst_n,            // reset ,low active
  led               // LED,use for control the LED signal on board
 );

//=============================================================================
// PORT declarations
//=============================================================================

input          sys_clk;
input          rst_n;
output [3:0]   led;

//define the time counter
reg [31:0]    timer;
reg [3:0]     led;


//=============================================================================
// cycle counter:from 0 to 4 sec
//=============================================================================
  always @(posedge sys_clk or negedge rst_n)
    begin
      if (~rst_n)
          timer <= 32'd0;                          // when the reset signal valid,time counter clearing
      else if (timer == 32'd199_999_999)      //4 seconds count(50M*4-1=199999999)
          timer <= 32'd0;                             //count done,clearing the time counter
      else
            timer <= timer + 1'b1;                //timer counter = timer counter + 1
    end

//=============================================================================
// LED control
//=============================================================================
  always @(posedge sys_clk or negedge rst_n)
    begin
      if (~rst_n)
          led <= 4'b0000;                     //when the reset signal active
      else if (timer == 32'd49_999_999)      //time counter count to 1st sec,LED1 lighten

          led <= 4'b0001;
      else if (timer == 32'd99_999_999)      //time counter count to 2nd sec,LED2 lighten
      begin
          led <= 4'b0010;
        end
      else if (timer == 32'd149_999_999)     //time counter count to 3nd sec,LED3 lighten
          led <= 4'b0100;
      else if (timer == 32'd199_999_999)     //time counter count to 4nd sec,LED4 lighten
          led <= 4'b1000;
    end
endmodule
```

6. 编写好代码后保存,点击菜单 File -Save All Files。

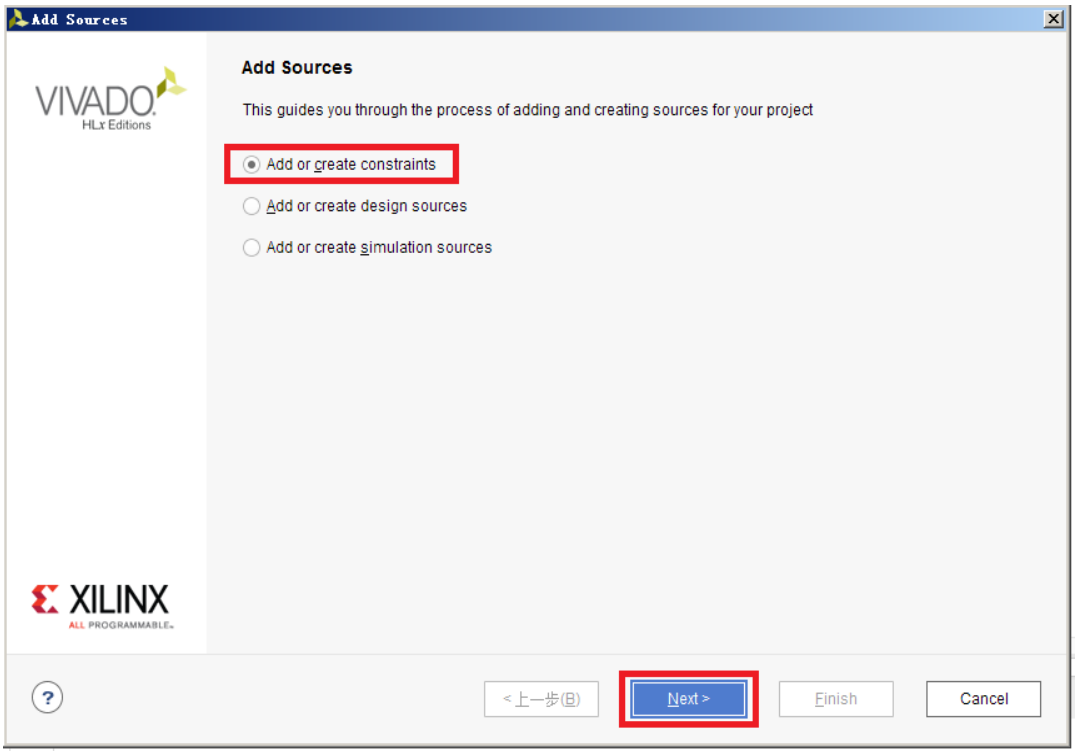
4.3 添加 XDC 管脚约束文件

和 ISE 软件不同， Vivado 使用的约束文件格式为 xdc 文件。xdc 文件里主要是完成管脚的约束,时钟的约束，以及组的约束。这里我们需要对 led_test.v 程序中的输入输出端口分配到 FPGA 的真实管脚上, 这需要准备一个 FPGA 的引脚绑定文件.xdc 并添加到工程中。

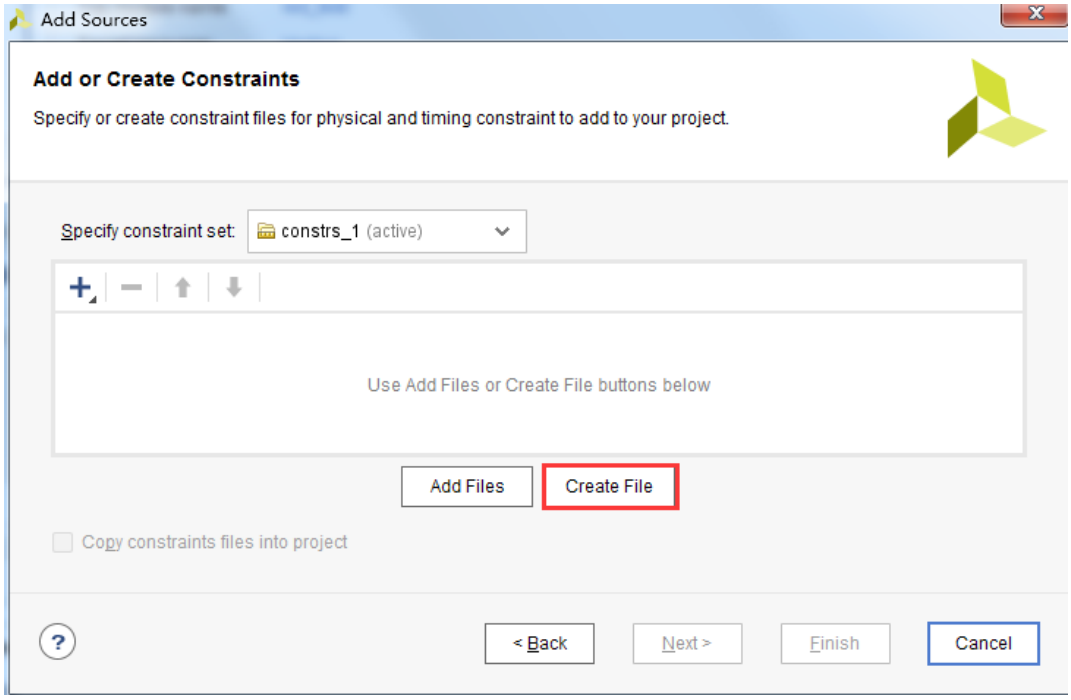
1. 点击 Project Manager 下的 Add Sources 图标。



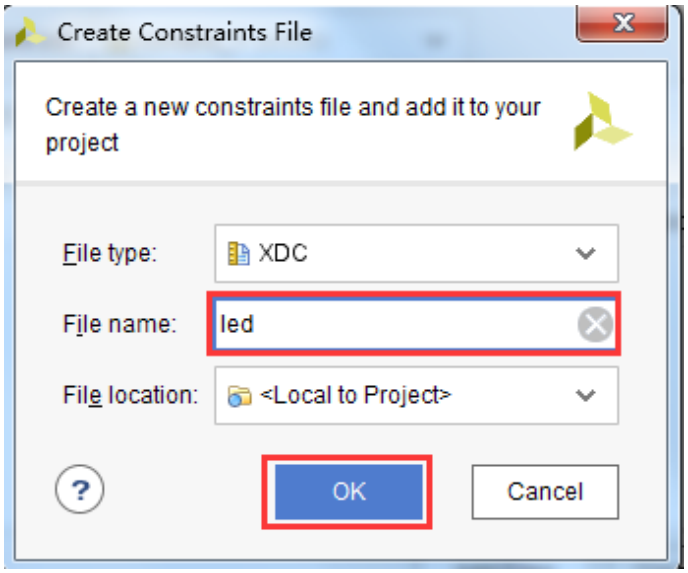
2. 选择 Add or create constraints 选项，点击 Next。



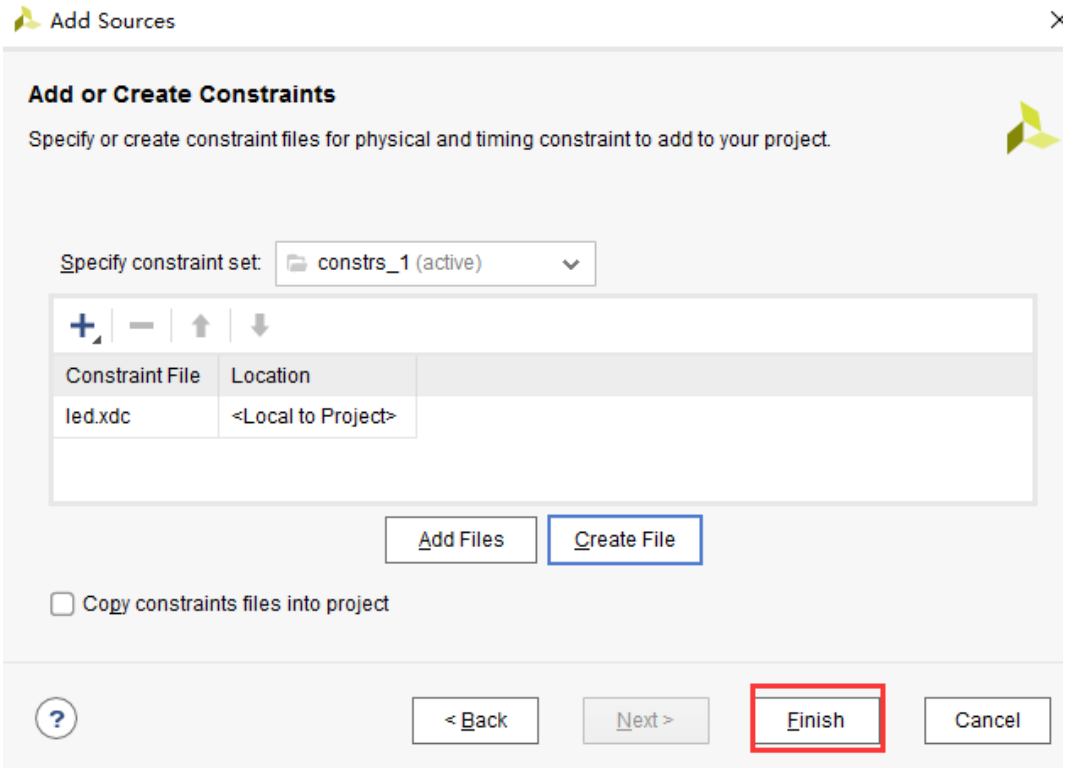
3. 点击 Create File 按钮。



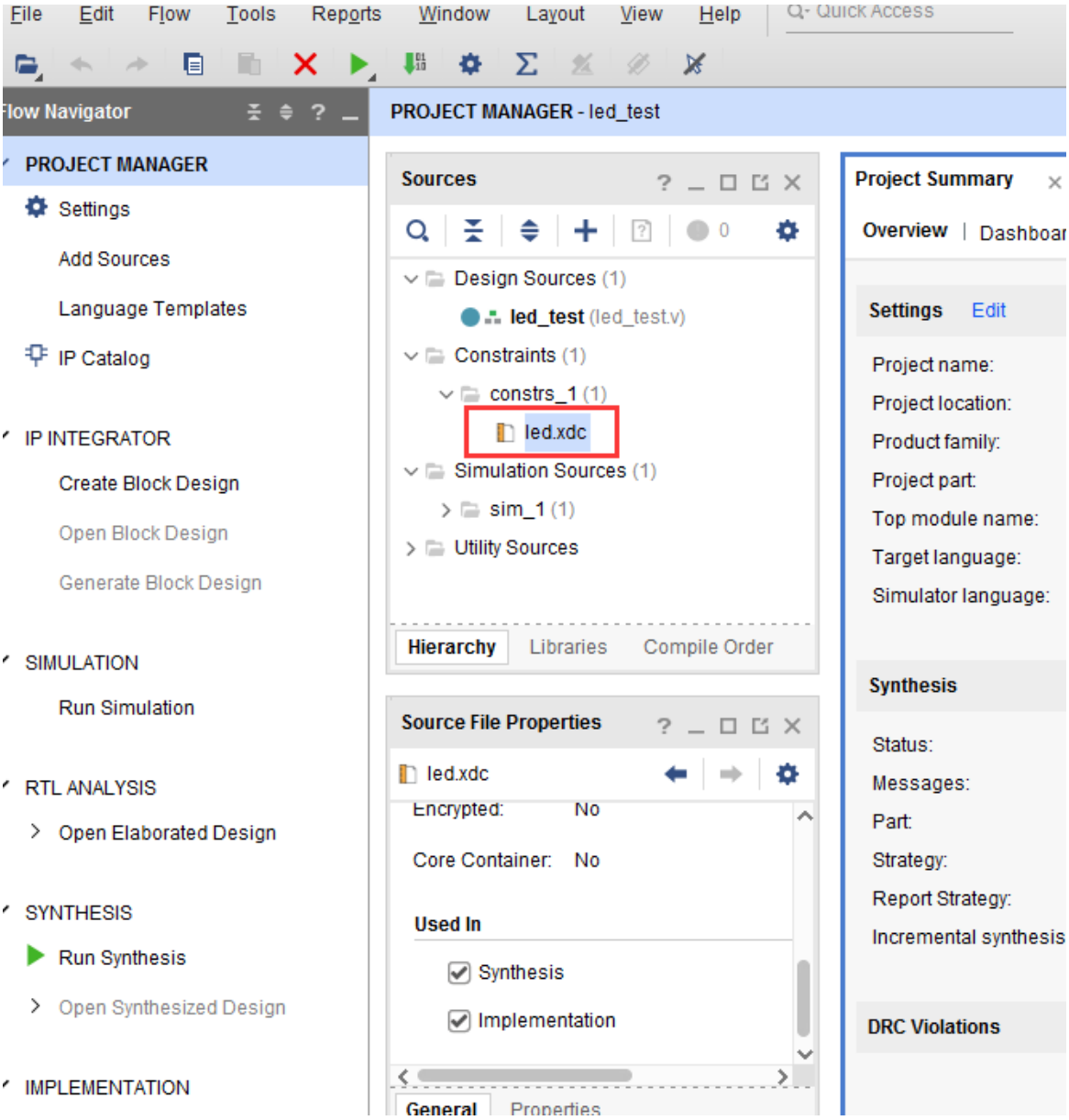
在弹出的对话框里选择 File type 是 XDC, File name 为 led, 点击 OK 按钮。



4.点击“Finish”完成。



这时在 Project Manager 界面下的 Constraints 目录的 constrs_1 目录下已经有了一个 led.xdc 文件。



5. 双击打开这个 led.xdc 文件，在这个文件里添加以下的引脚定义（以 AX7050 开发板为例）。

```
############## NET - IOSTANDARD ##################
set_property CFGBVS VCCO [current_design]
set_property CONFIG_VOLTAGE 3.3 [current_design]
#############SPI Configurate Setting##################
set_property BITSTREAM.CONFIG.SPI_BUSWIDTH 4 [current_design]
set_property CONFIG_MODE SPIx4 [current_design]
set_property BITSTREAM.CONFIG.CONFIGRATE 50 [current_design]
#############clock Setting#########################
create_clock -period 20 [get_ports sys_clk]
set_property IOSTANDARD LVCMOS33 [get_ports {sys_clk}]
set_property PACKAGE_PIN P15 [get_ports {sys_clk}]
#############reset Setting#########################
set_property IOSTANDARD LVCMOS33 [get_ports {rst_n}]
set_property PACKAGE_PIN AB2 [get_ports {rst_n}]
#############LED Setting###########################
set_property PACKAGE_PIN H16 [get_ports {led[0]}]
set_property IOSTANDARD LVCMOS33 [get_ports {led[0]}]

set_property PACKAGE_PIN G16 [get_ports {led[1]}]
set_property IOSTANDARD LVCMOS33 [get_ports {led[1]}]

set_property PACKAGE_PIN K15 [get_ports {led[2]}]
set_property IOSTANDARD LVCMOS33 [get_ports {led[2]}]

set_property PACKAGE_PIN J15 [get_ports {led[3]}]
set_property IOSTANDARD LVCMOS33 [get_ports {led[3]}]
```

XDC 文件前面两句是配置 CFGBVS 管脚的电压和配置电路的电压，因为在开发板上 CFGBVS 管脚是上拉到 3.3V 的，也就是 BANK0 的 VCCIO。另外配置电路的电压是 3.3V。所以这里分别配置成 VCCIO 和 3.3V。

下面来介绍一下最基本的 XDC 编写的语法，普通 IO 口只需约束引脚号和电压，管脚约束如下：

set_property PACKAGE_PIN "引脚编号" [get_ports “端口名称”]

电平信号的约束如下：

set_property IOSTANDARD "电压" [get_ports “端口名称”]

这里需要注意文字的大小写，端口名称是数组的话用{ }刮起来，端口名称必须和源代码中的名字一致，且端口名字不能和关键字一样。

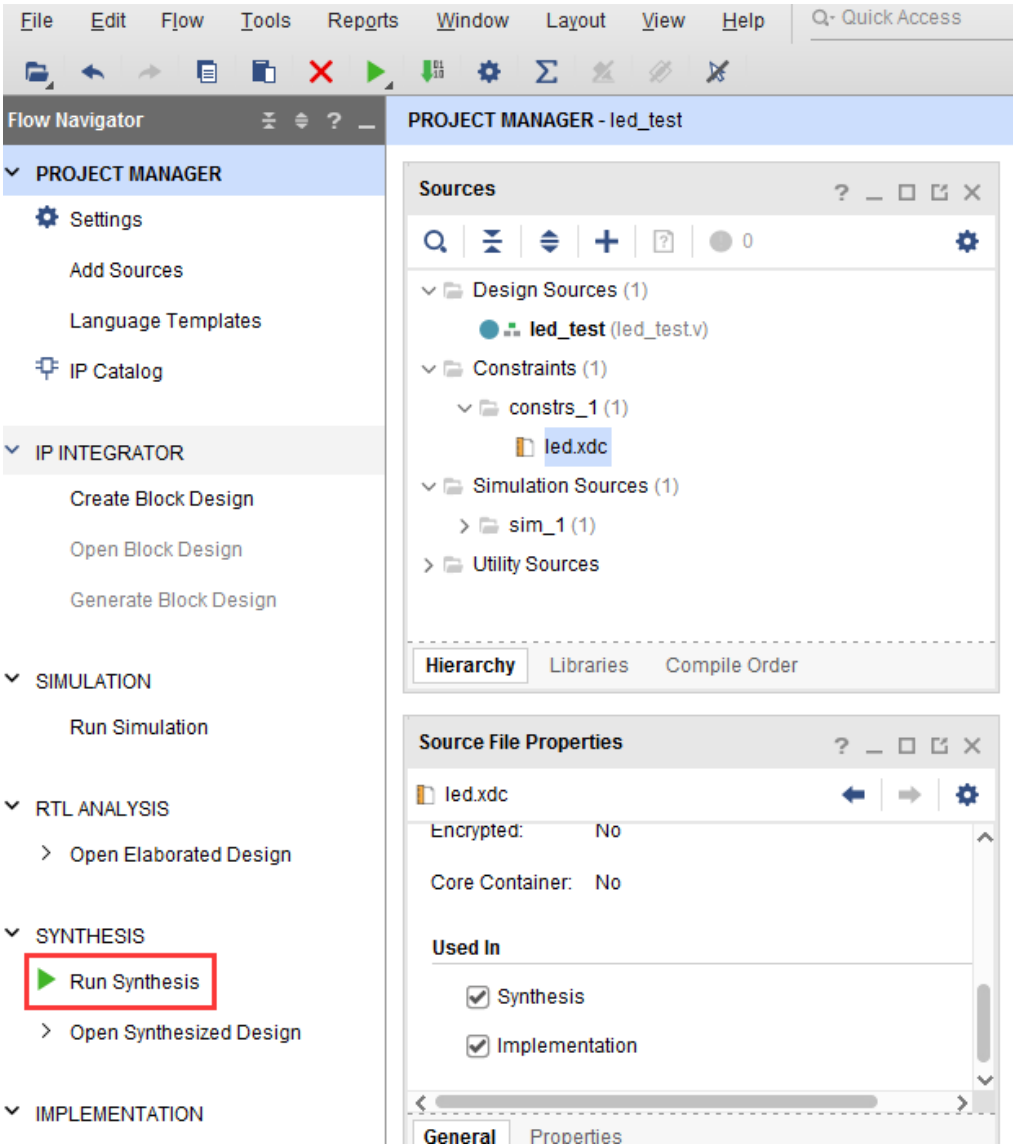
时钟端口还可以定义时钟周期约束，比如我们在 XDC 里面定义了输入的差分时钟的时钟周期为 20ns。 时钟周期的约束方法如下：

create_clock -period "周期" [get_ports “端口名称”]

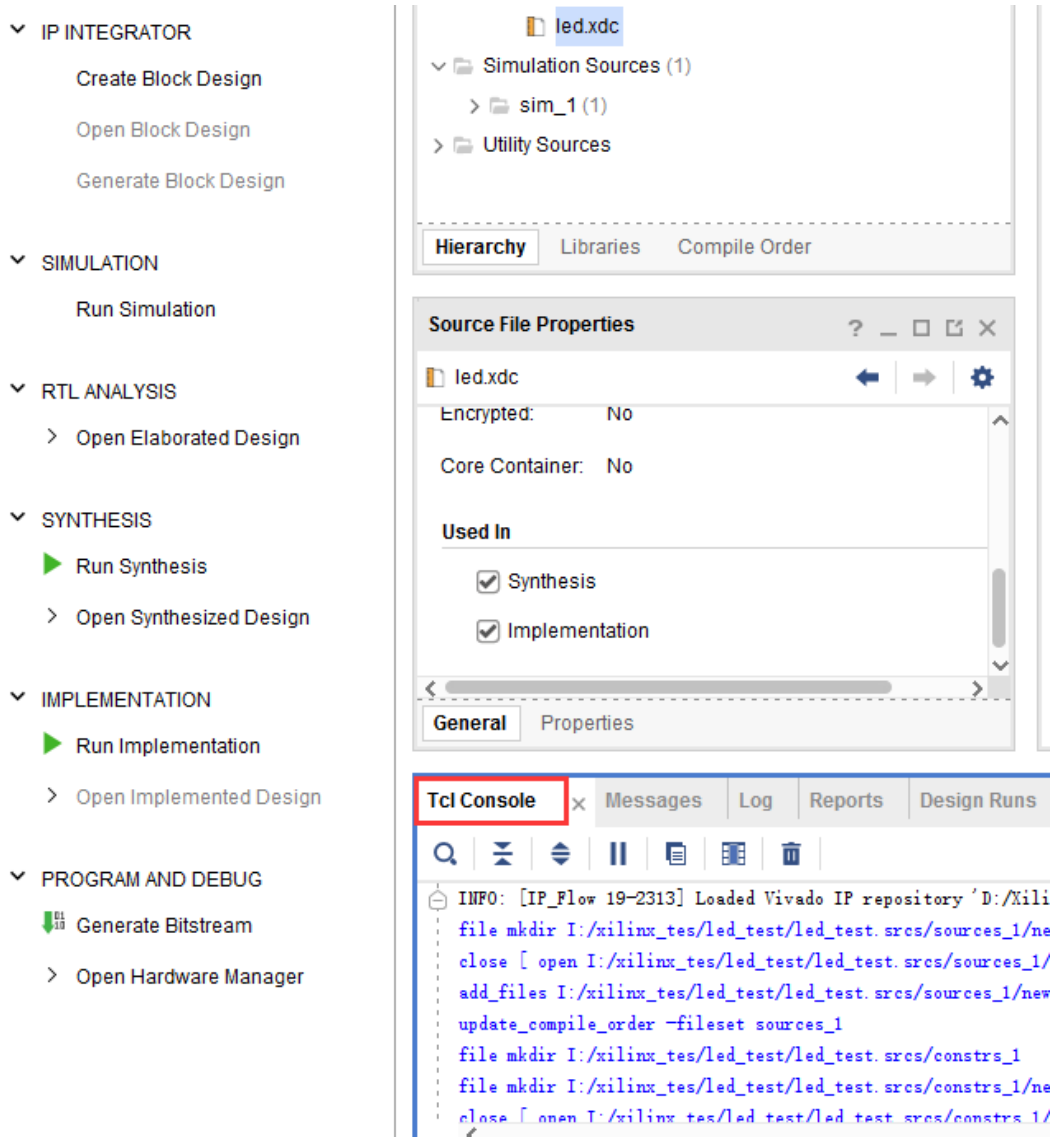
完成后选择菜单 File->Save all files 保存所有文件。

4.4 编译

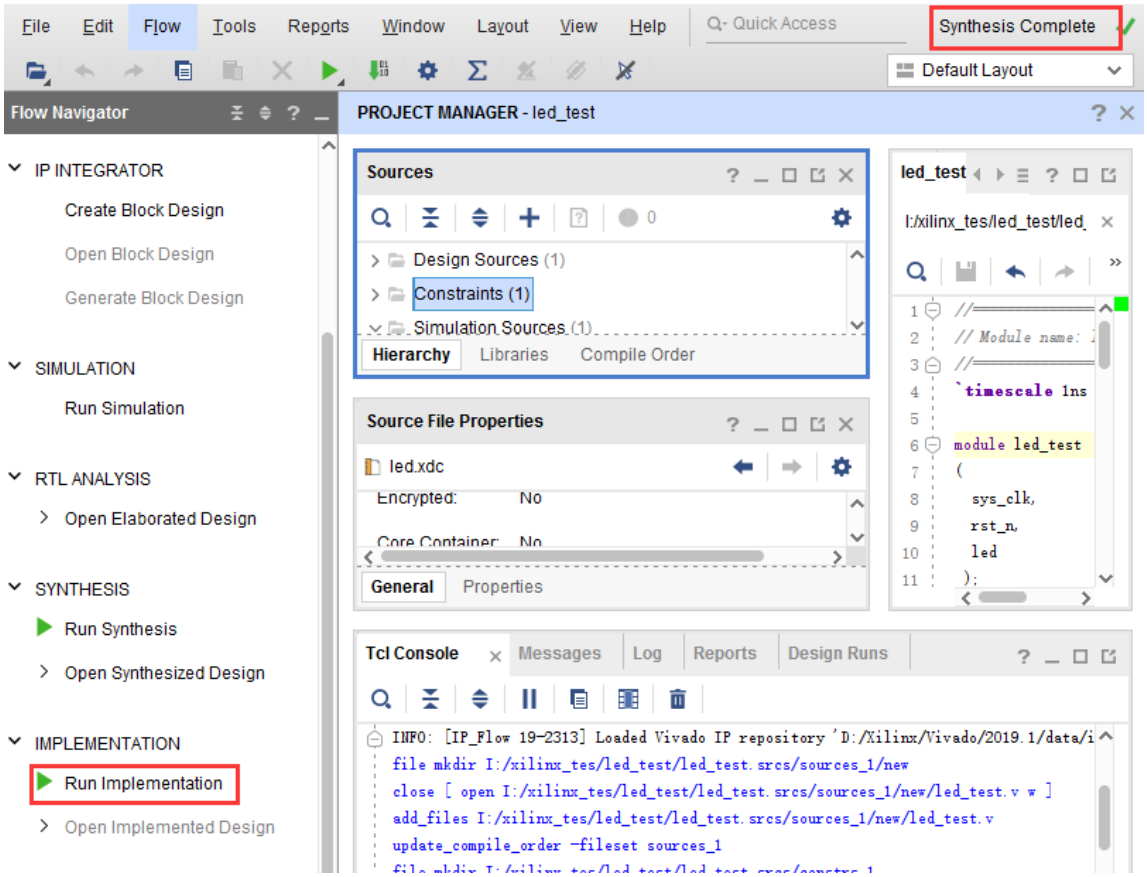
点击 Run Synthesis，即可开始综合并生成网表文件：



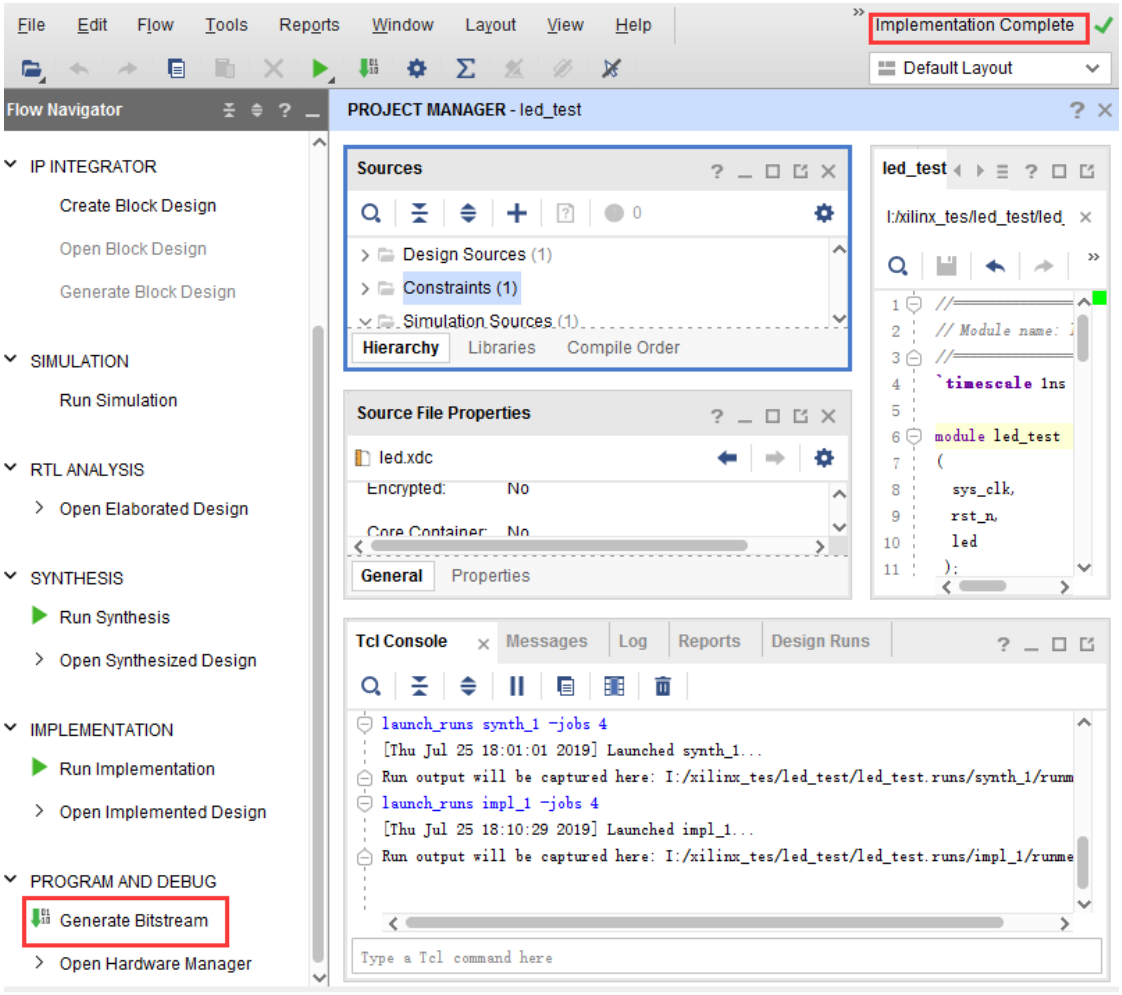
在 Tcl Console 窗口或者 Messages 窗口可以看到一些状态信息。



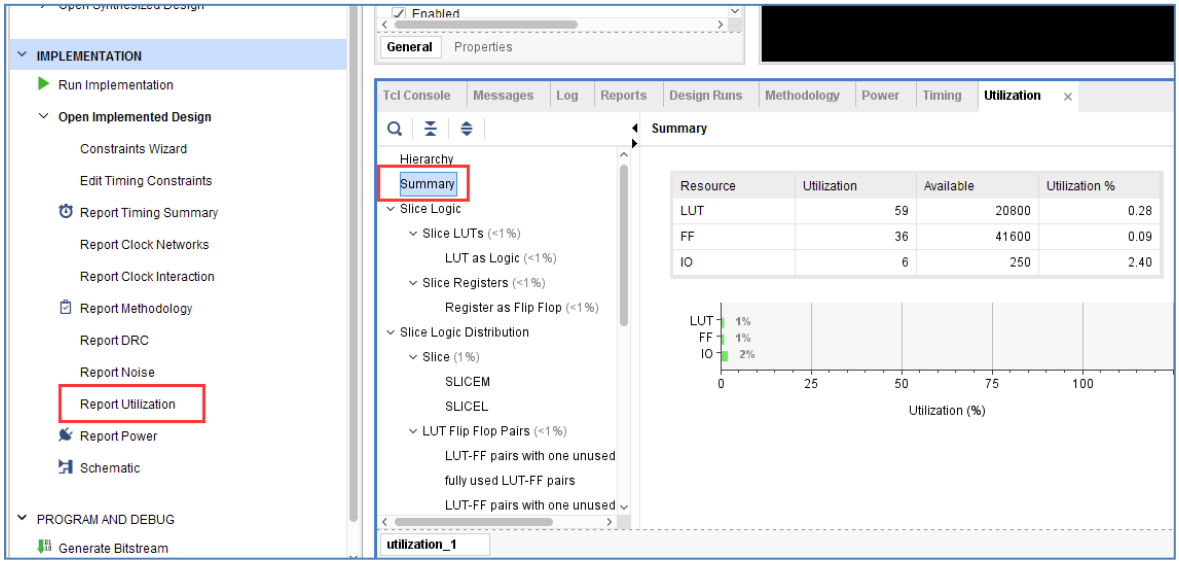
综合完成后，在下图界面的右上角会显示 Synthesis Complete。可以点这里的 Run Implementation 来开始布局布线：



布线完成后会在下图界面的右上角显示 Implementation Complete。然后点击 Generate Bitstream 即可生成 bit 文件。



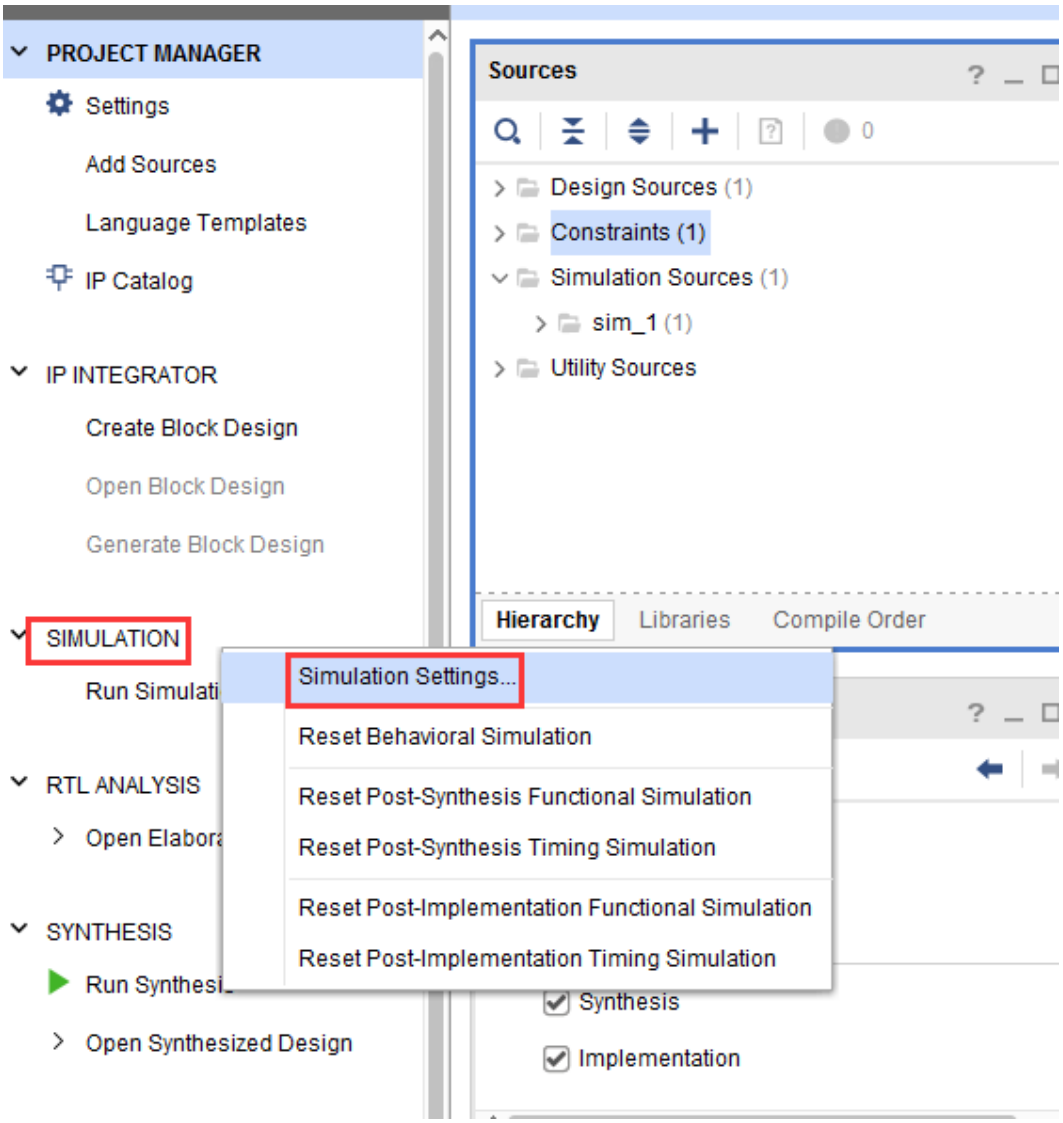
bit 文件生成完成后，我们可以打开 Project Summary 页面的 Table 来查看板子上实际资源的使用情况,因为我们这里的 led_test 程序比较简单，只用到了四个资源: LUT(查找表），FF(Flip Flop 寄存器），IO（管脚）和 BUFG(时钟 Buffer)。



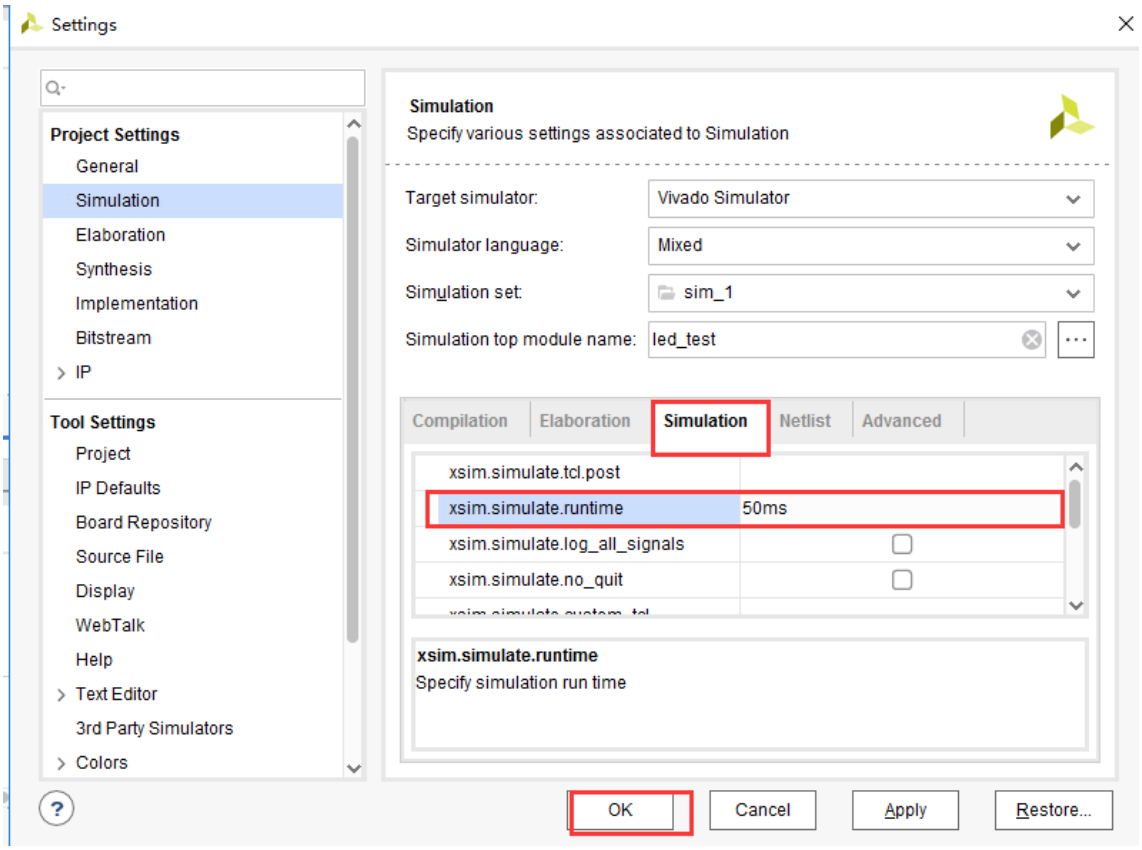
4.5 vivado 仿真验证

接下来我们不妨小试牛刀，让仿真工具 Vivado 来输出波形验证流水灯程序设计结果和我们的预想是否一致。具体步骤如下：

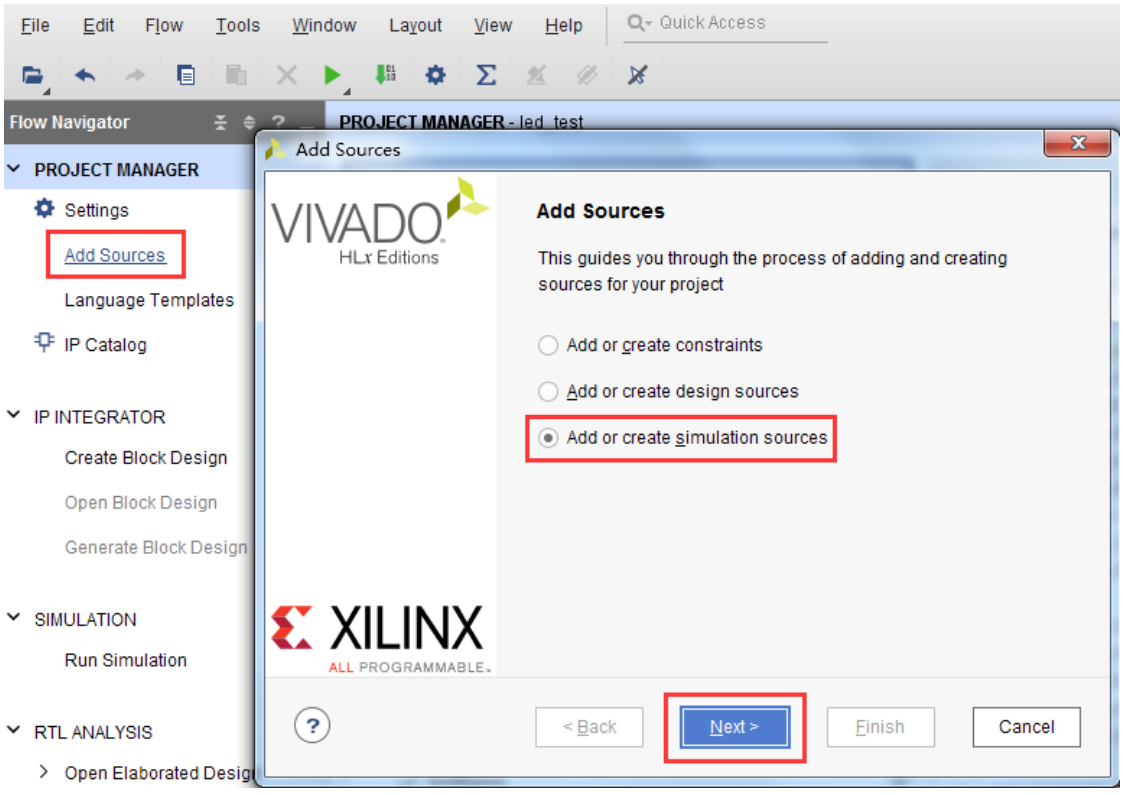
1. 设置 Vivado 的仿真配置，右击 SIMULATION 中 Simulation Settings。



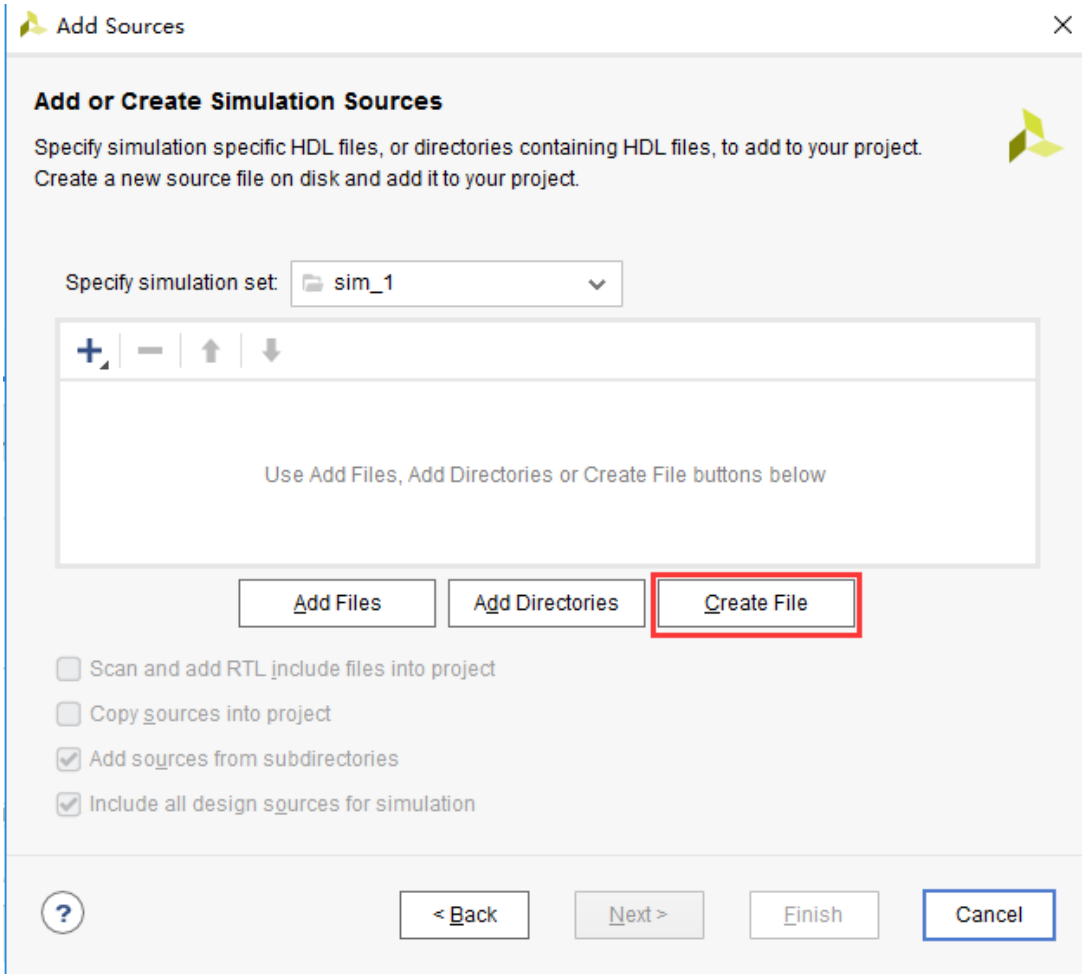
2. 在 Simulation Settings 窗口中进行如下图来配置，这里设置成 50ms（根据需要自行设定）,其它按默认设置，单击 OK 完成。



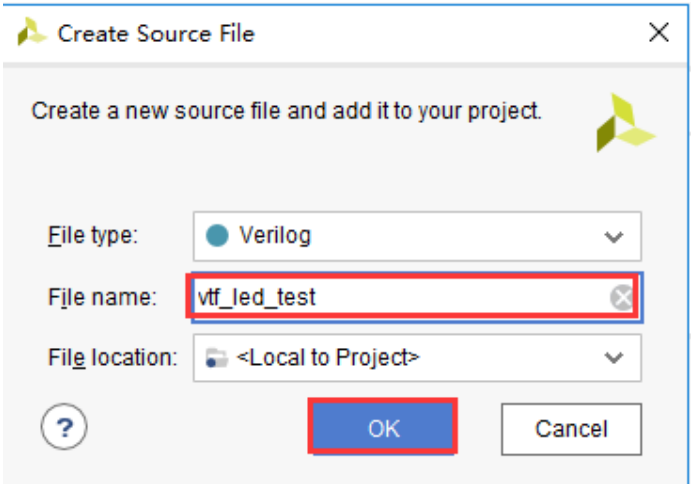
3. 添加激励测试文件，点击 Project Manager 下的 Add Sources 图标,按下图设置后单击 Next。



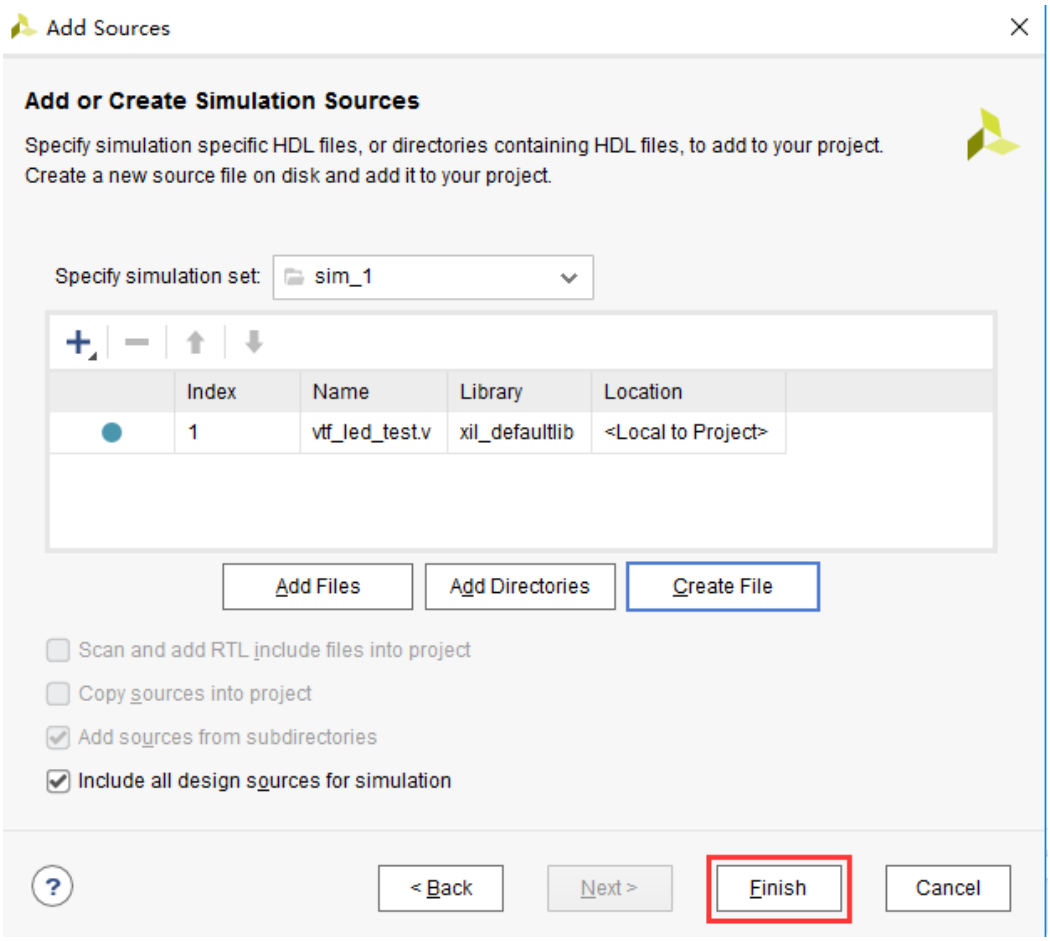
4. 点击 Create File 生成仿真激励文件。



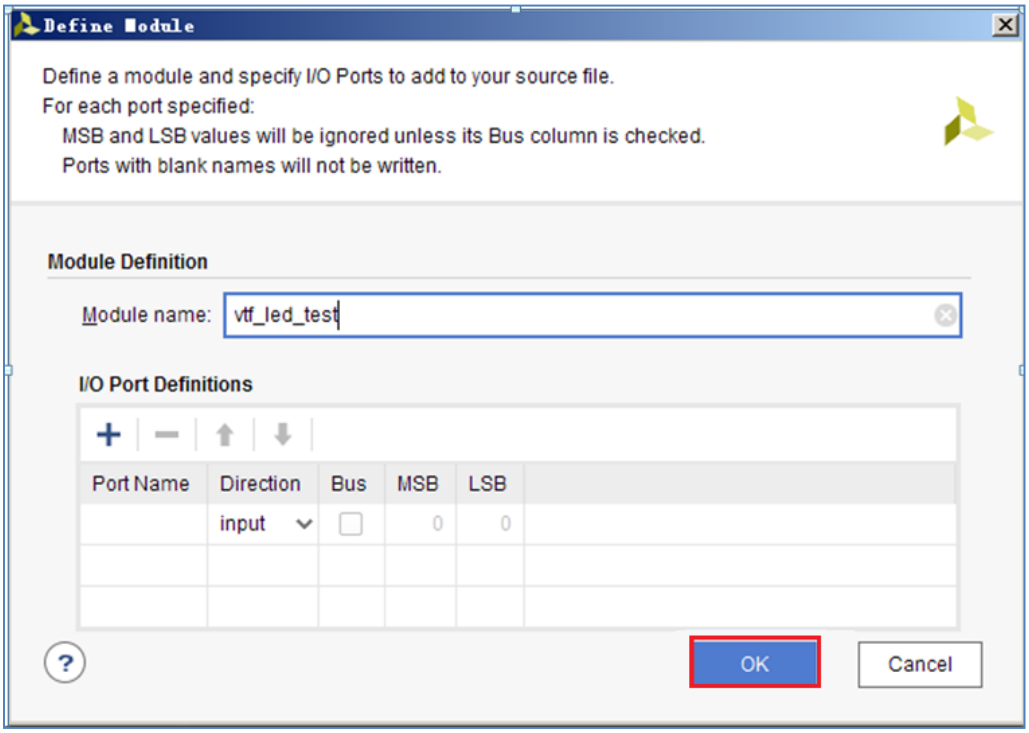
在弹出的对话框中输入激励文件的名字，这里我们输入名为 vtf_led_test。

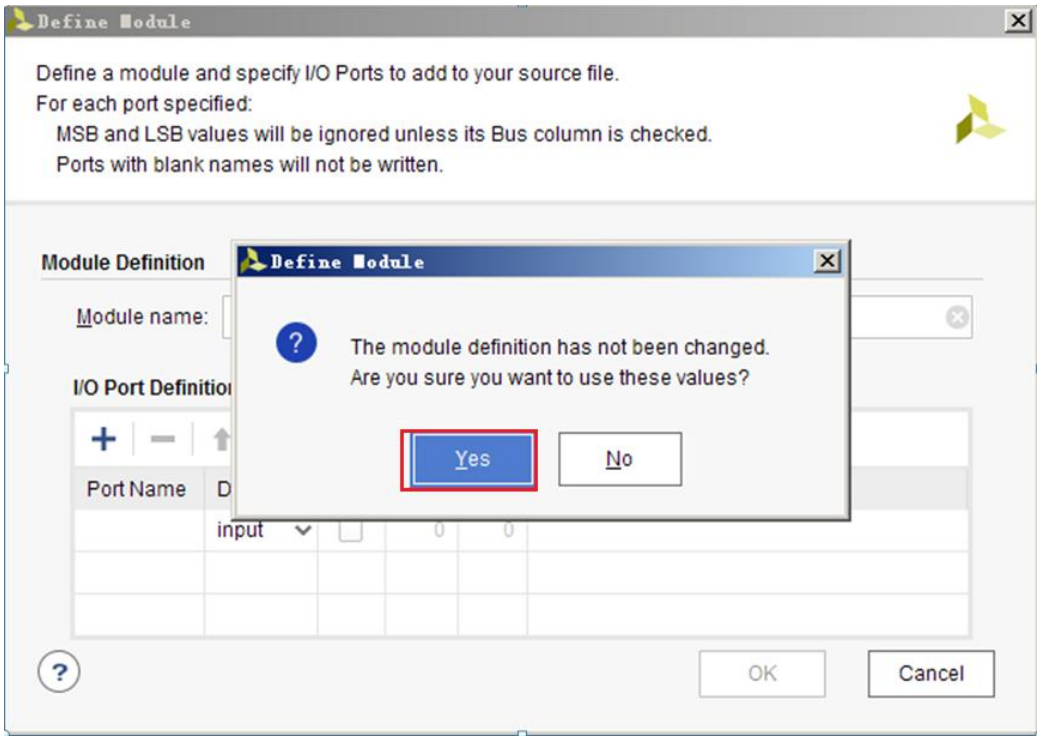


6. 点击 Finish 按钮返回。

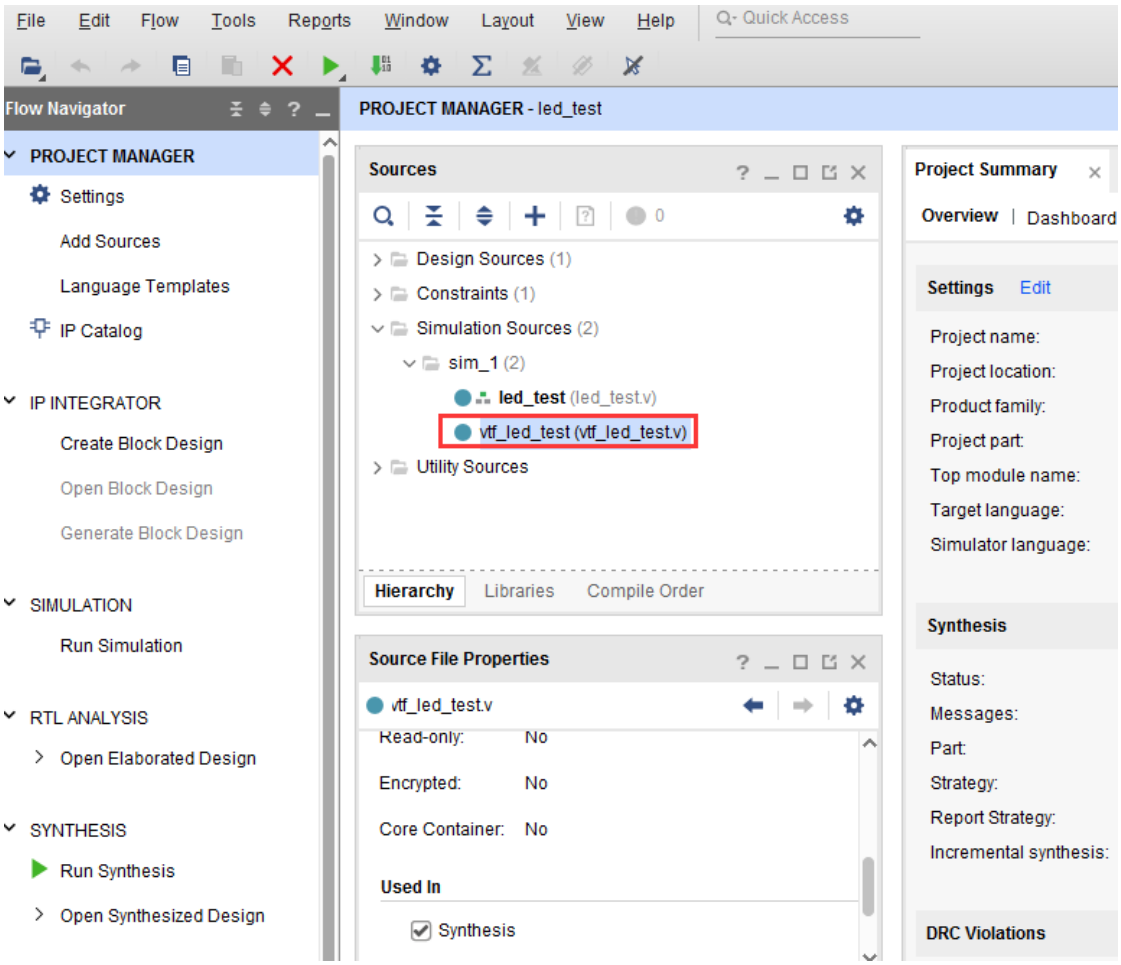


这里我们先不添加 IO Ports，点击 OK。





在 Simulation Sources 目录下多了一个刚才添加的 vtf_led_test 文件。双击打开这个文件，可以看到里面只有 module 名的定义，其它都没有。

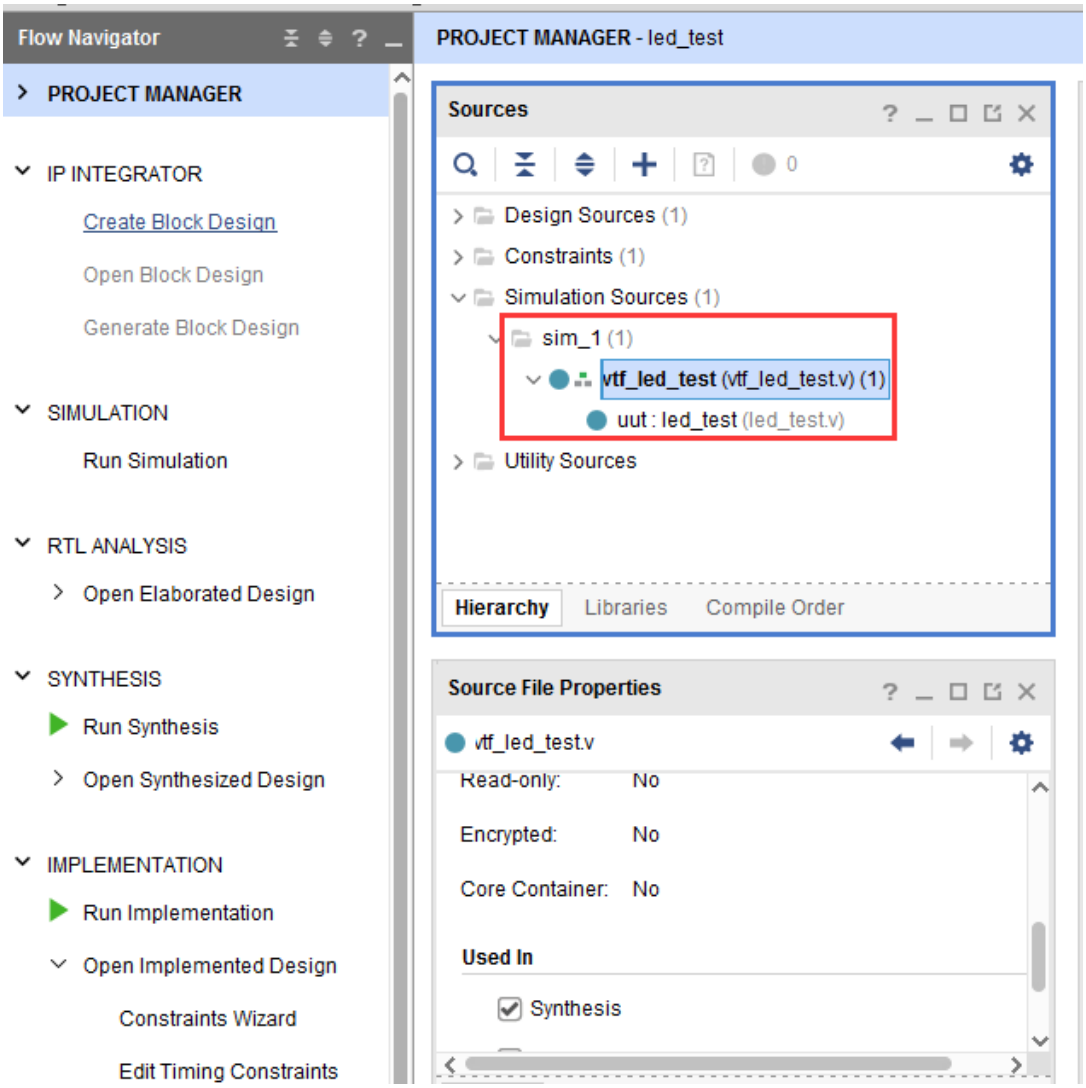


7. 接下去我们需要编写这个 vtf_led_test.v 文件的内容。首先定义输入和输出信号，然后需要实例化 led_test 模块，让 led_test 程序作为本测试程序的一部分。再添加复位和时钟的激励。完成后的 vtf_led_test.v 文件如下：

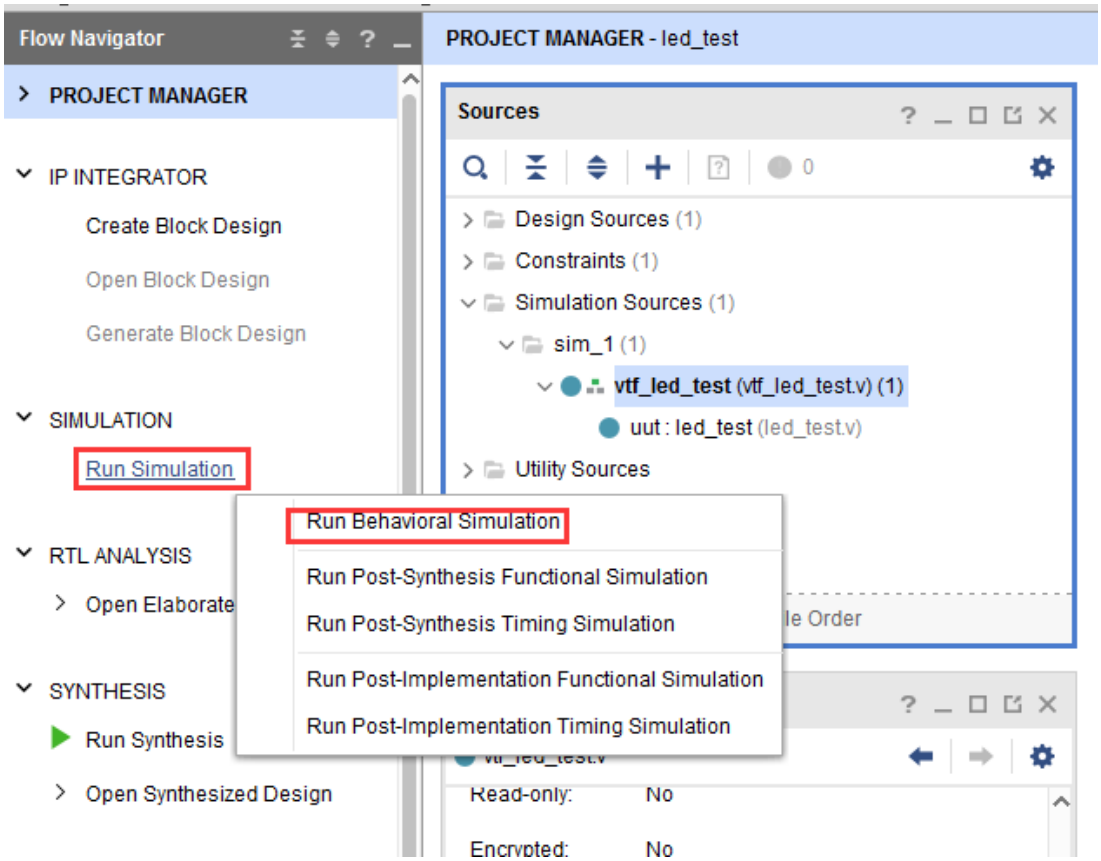
```
    `timescale 1ns / 1ps
//////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
// Module Name: vtf_led_test
//////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////

module vtf_led_test;
    // Inputs
    reg sys_clk;
    reg rst_n;

    // Outputs
    wire [3:0] led;

    // Instantiate the Unit Under Test (UUT)
    led_test uut (
        .sys_clk(sys_clk),
        .rst_n(rst_n),
        .led(led)
    );
```

```
    initial begin
        // Initialize Inputs
        sys_clk = 0;
        rst_n = 0;

        // Wait 100 ns for global reset to finish
        #1000;
          rst_n = 1;
        // Add stimulus here
        #20000;
      // $stop;
     end

    always #10 sys_clk = ~ sys_clk;
    endmodule
```

8. 编写好后保存，vtf_led_test.v 自动成了这个仿真 Hierarchy 的顶层了，它下面是设计文件 led_test.v。

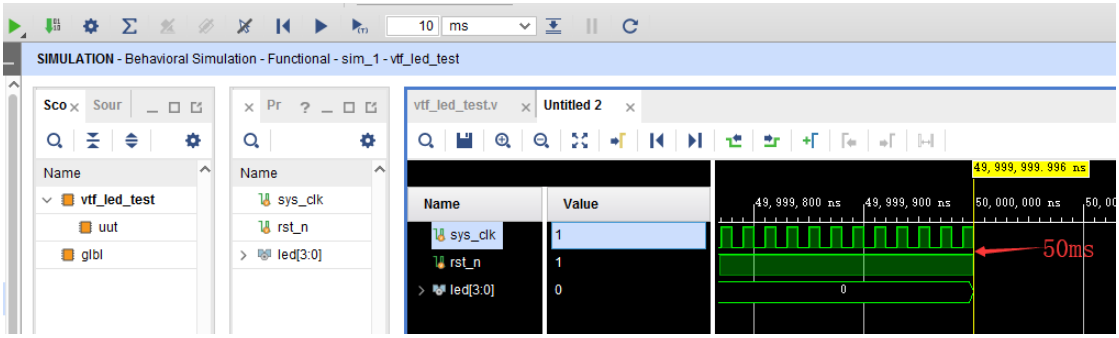


9. 点击 Run Simulation 按钮，再选择 Run Behavioral Simulation。这里我们做一下行为级的仿真就可以了。

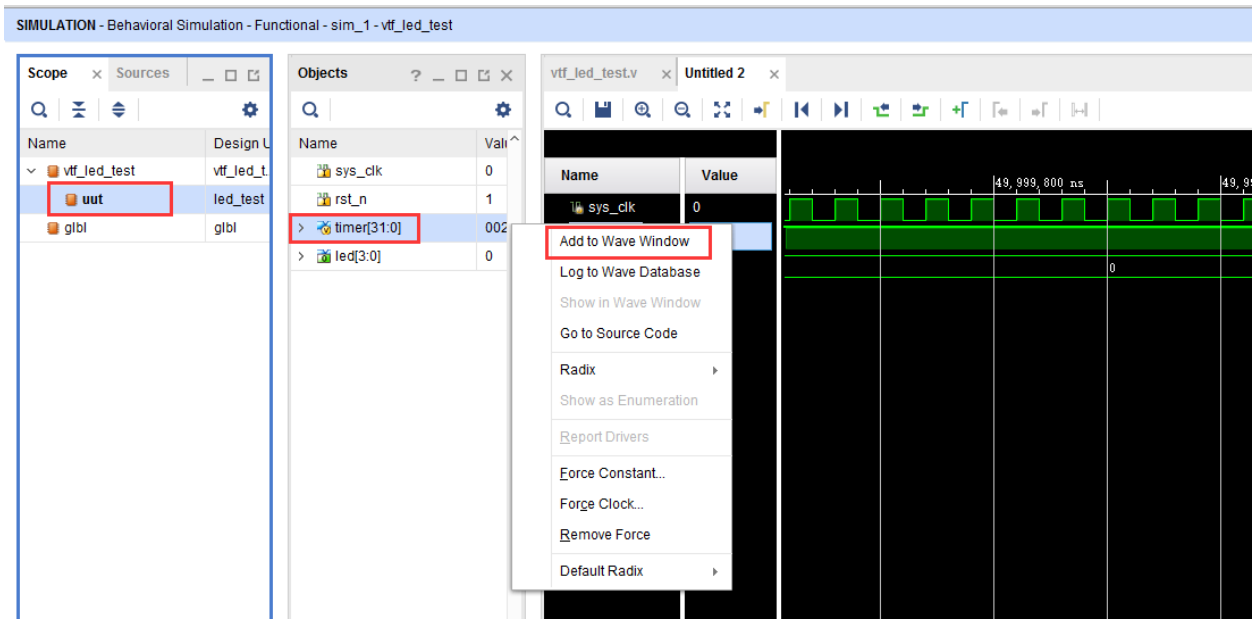


如果没有错误，Vivado 中的仿真软件开始工作了。

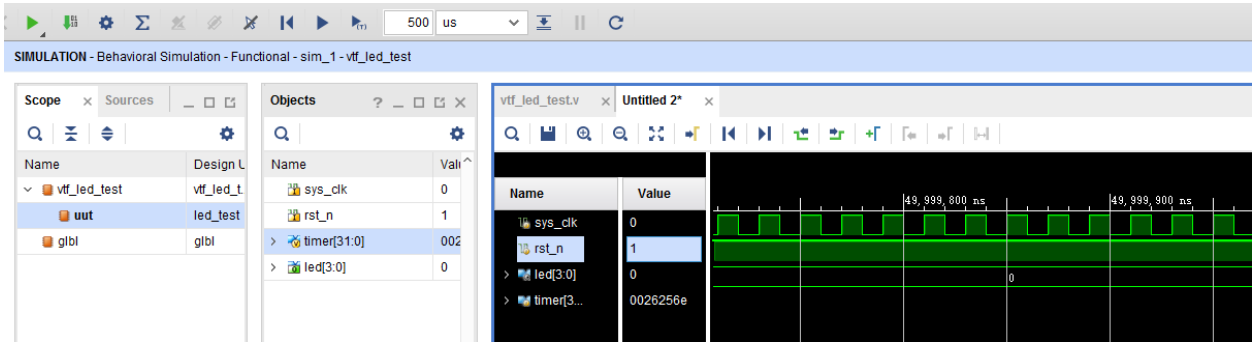
10. 在弹出仿真界面后如下图，界面是仿真软件自动运行到仿真设置的 50ms 的波形。



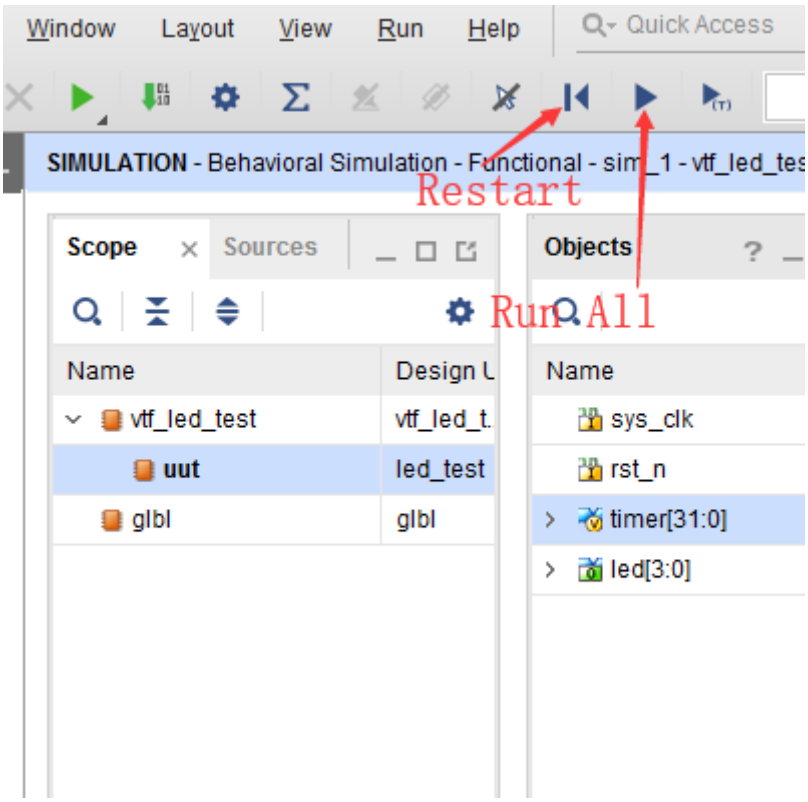
由于 LED[3：0]在程序中设计的状态变化时间长，而仿真又比较耗时，在这里观测 timer[31:0]计数器变化。把它放到 Wave 中观察(点击 Scope 界面下的 uut， 再右键选择 Objects 界面下的 timer，在弹出的下拉菜单里选择 Add Wave Window)。

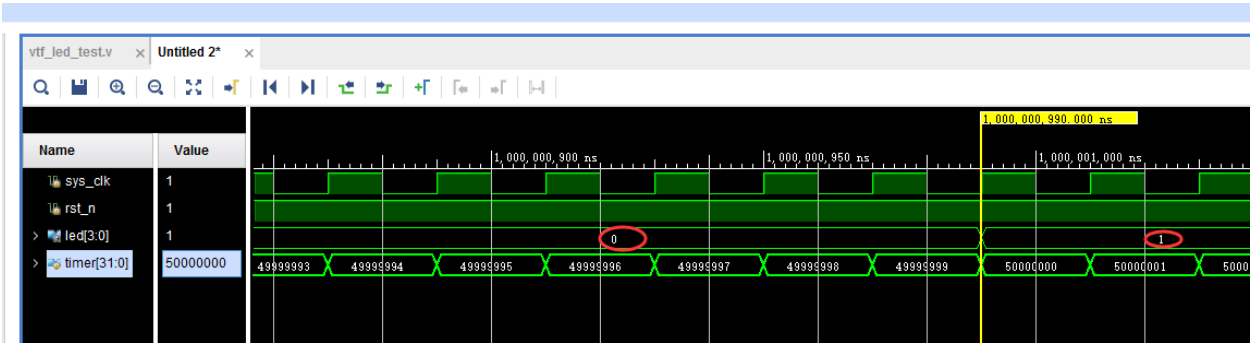


添加后 timer 显示在 Wave 的波形界面上，如下图所示。



11. 点击如下标注的 Restart 按钮复位一下，再点击 Run All 按钮。（需要耐心！！！），可以看到仿真波形与设计相符。

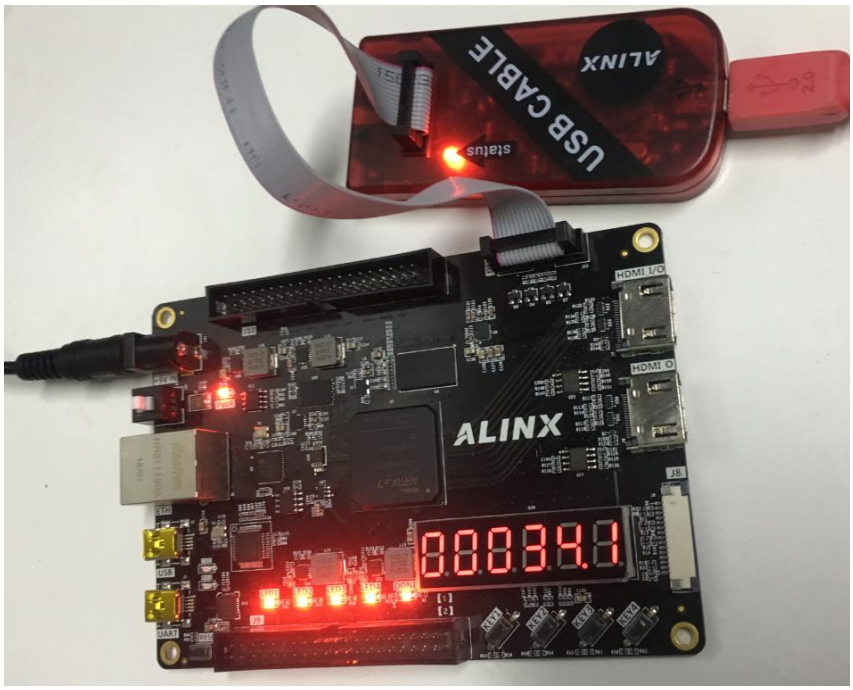




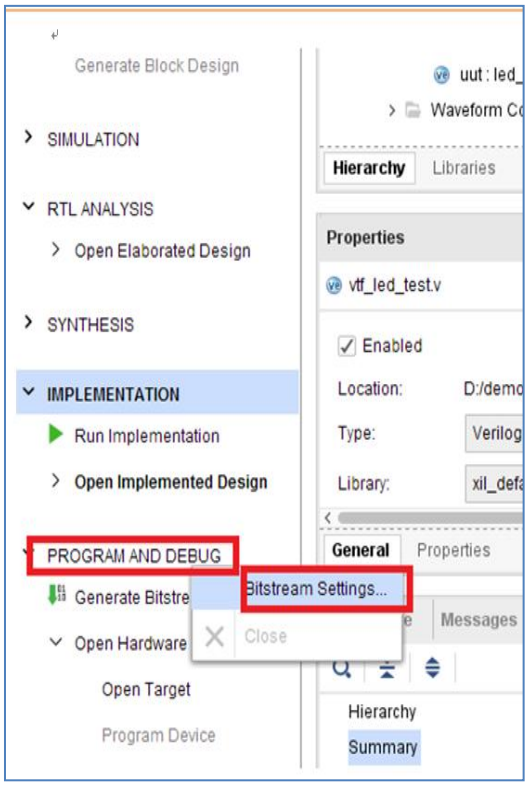
我们可以看到 led 的信号会逐一变 1，说明 LED1~LED4 灯逐个熄灭。

4.6 下载和调试

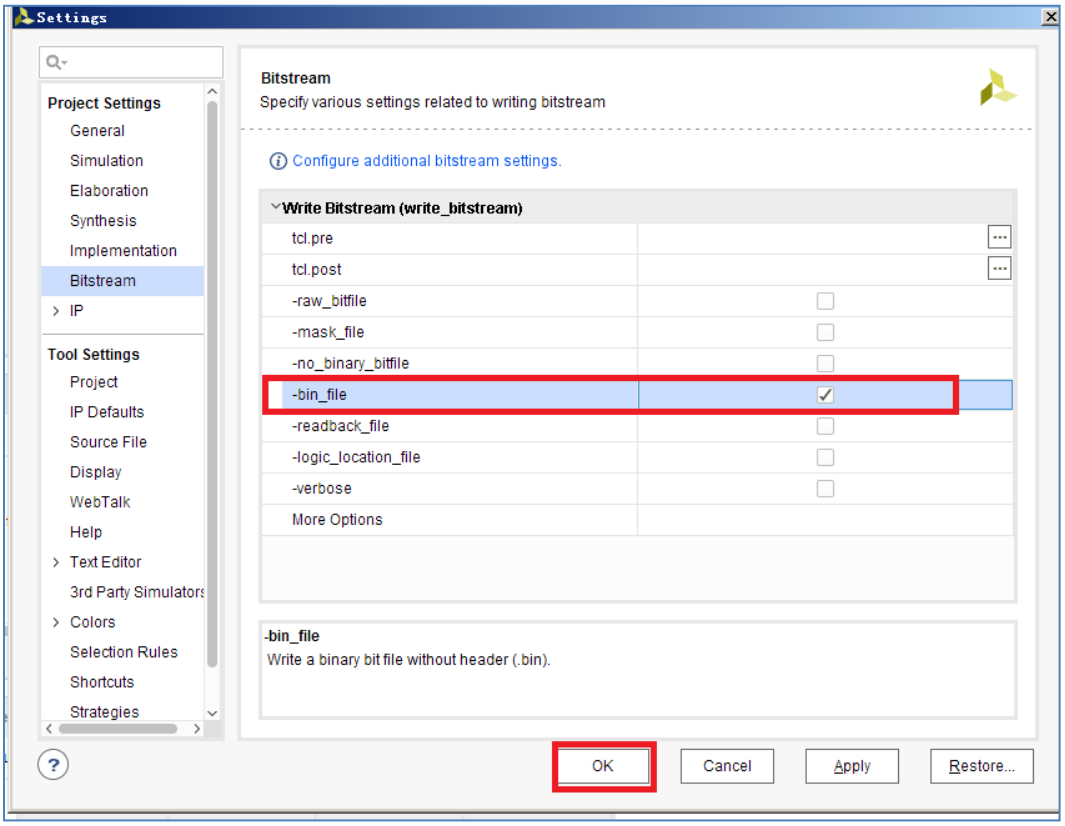
经过前面的编译和仿真，我们可以把 bit 文件下载到 FPGA 芯片中，看一下 LED 实际运行的效果。下载和调试之前先连接硬件，把 JTAG 下载器和开发板连接，然后开发板上电（下图为 AX7035 开发板的硬件连接图）。



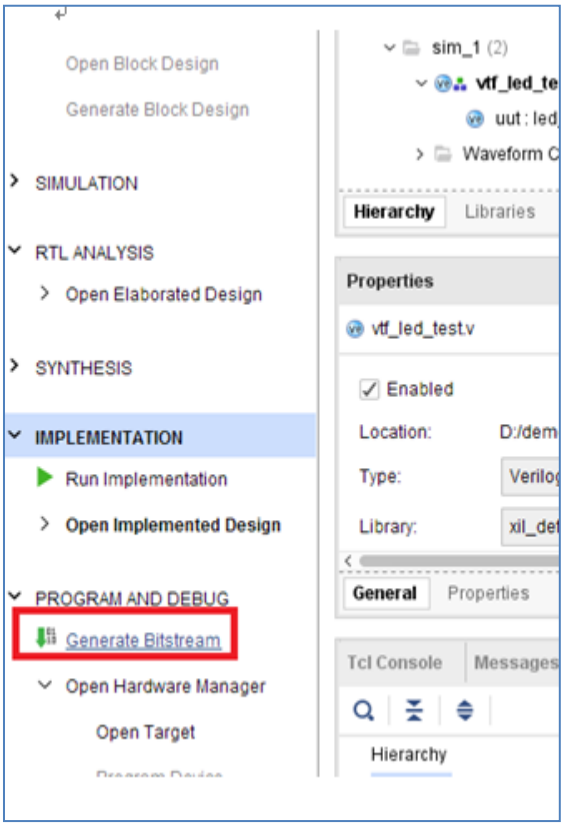
1. 下载之前还需进行设置：右击 PROGRAM AND DEBUG 按下图进行设置。



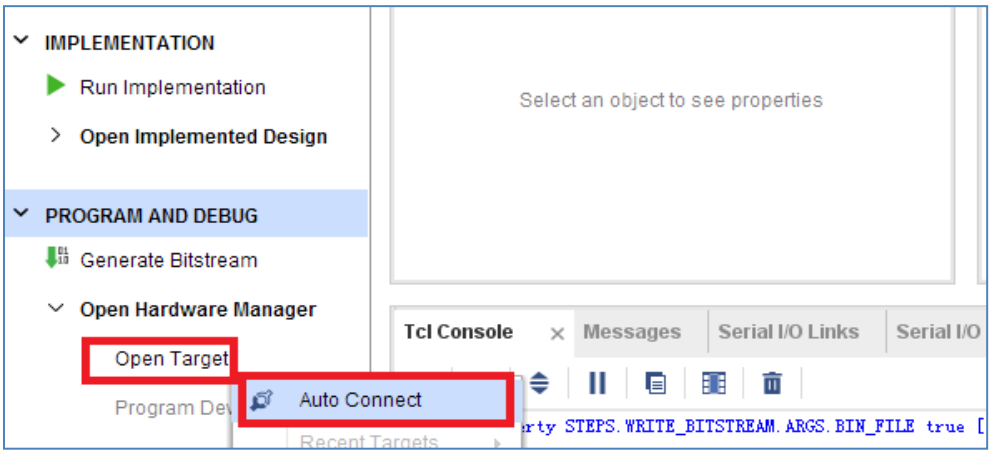
选择生成 bin 文件，生成的 bin 文件在后面固化程序到 FLASH 里会用到，这里一起生成一下。

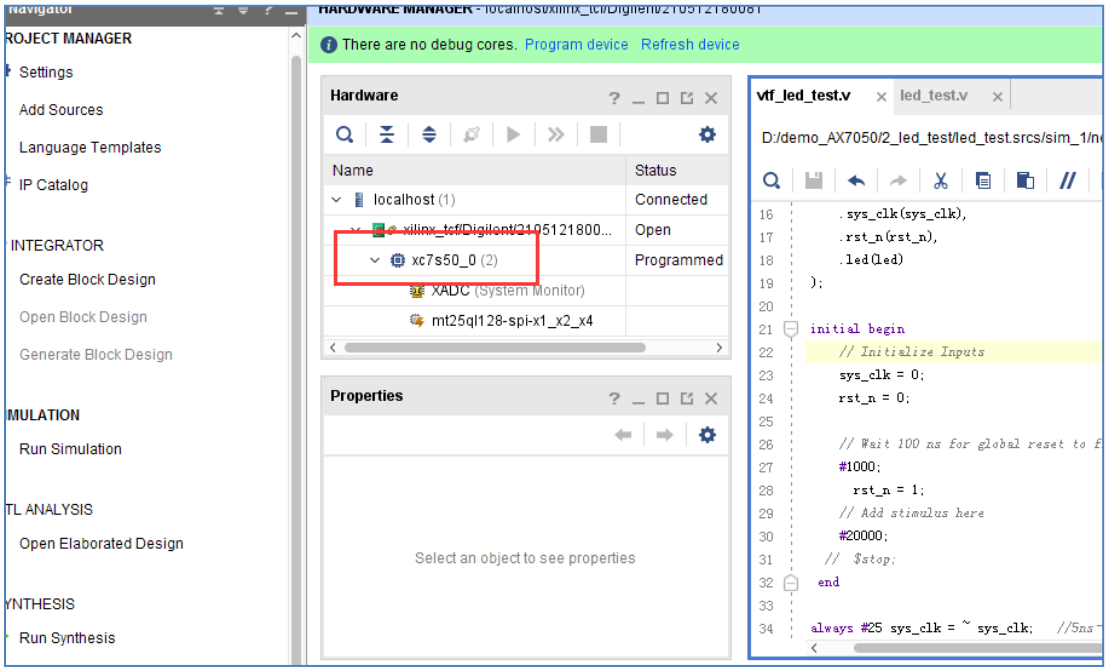


设置完成后单击 Generate Bitstream 生成 bit 和 bin 文件。

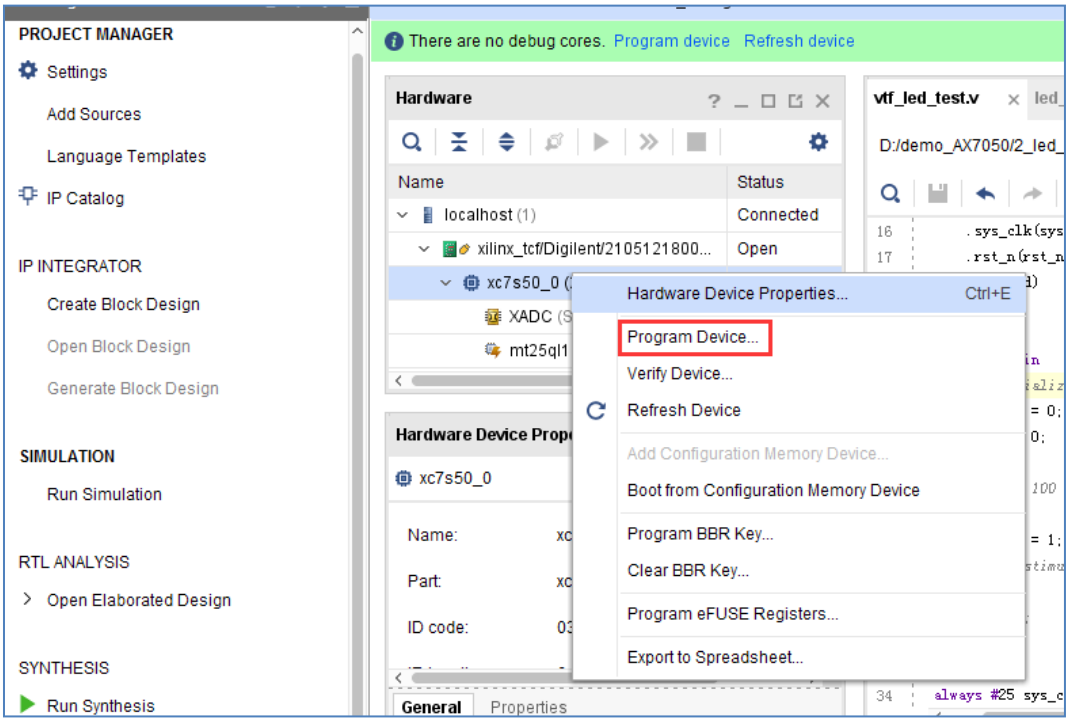


2. 点击 Open target 按钮->Auto Connect，在 hardware 界面下会显示 xc7a35t_0（AX7035 开发板）或 xc7s50_0（AX7050 开发板）的图标，说明 JTAG 连接已经建立。

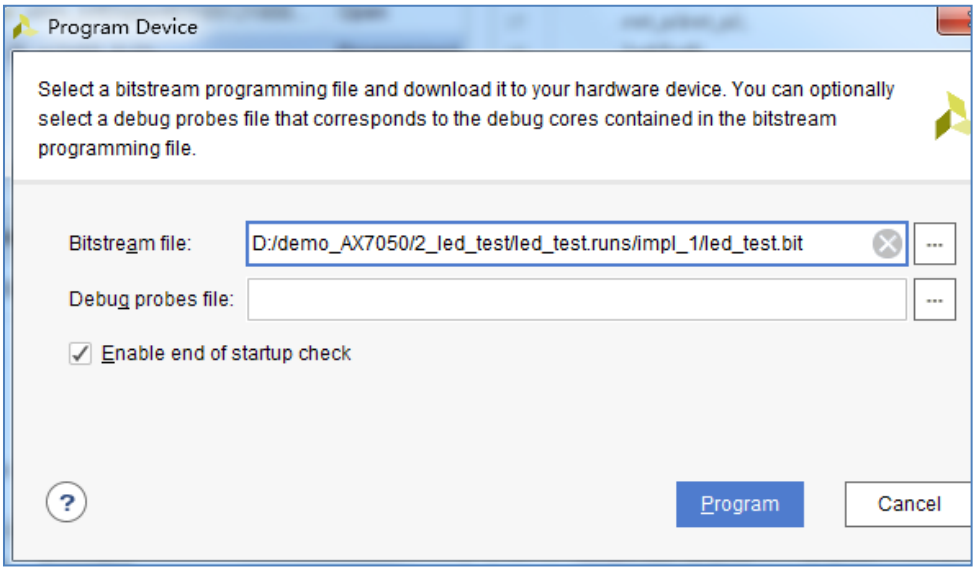




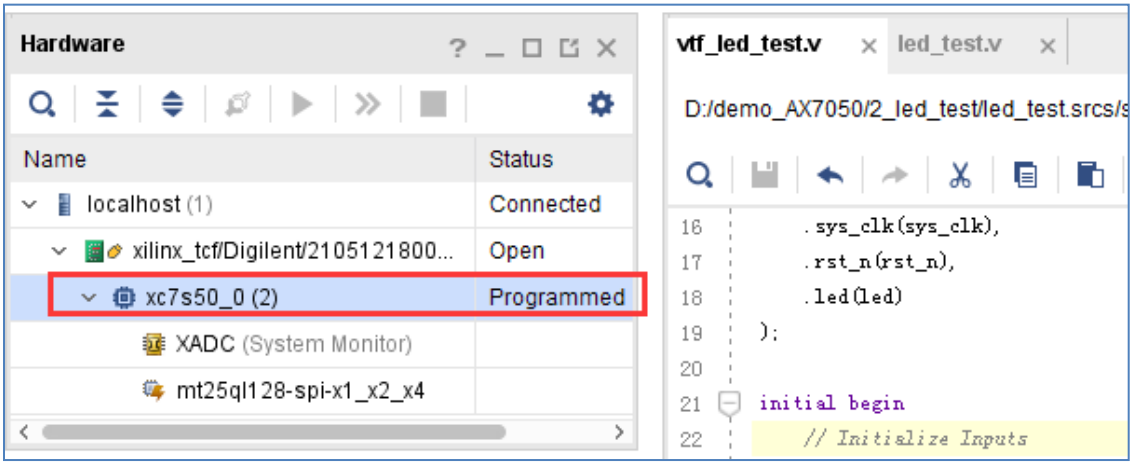
右键选择 xc7a35t_0（AX7035 开发板）或 xc7s50_0（AX7050 开发板）,在弹出的选项里选择 Program Device 项。



在弹出的 Program Device 对话框中，选择 led_test 项目生成的 bit 文件，点击 Program 按钮烧写 FPGA。



烧写完成后 xc7a35t_0（AX7035 开发板）或 xc7s50_0（AX7050 开发板）的状态会变成 Programmed, 这时我们可以看到开发板上的四个 LED 灯已经在做流水灯动作了。



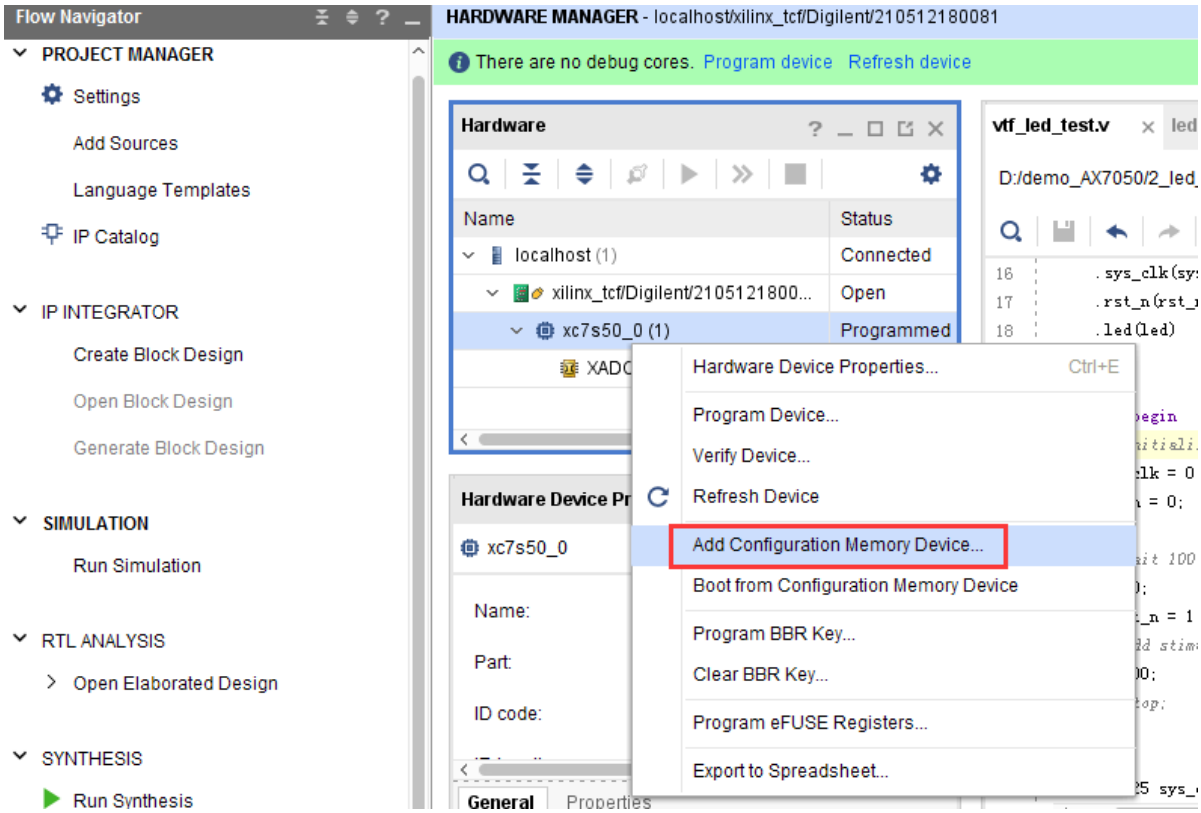
你也可以试着别的花样来点亮 LED，比如，让灯跑得更快一些，或几个灯同时亮同时灭等等，就看你的想象力了，通过自己写程序更能有成就感，而且还能把书本的知识用到实际中，何乐而不为呢！是吧？

4.7 FLASH 程序固化

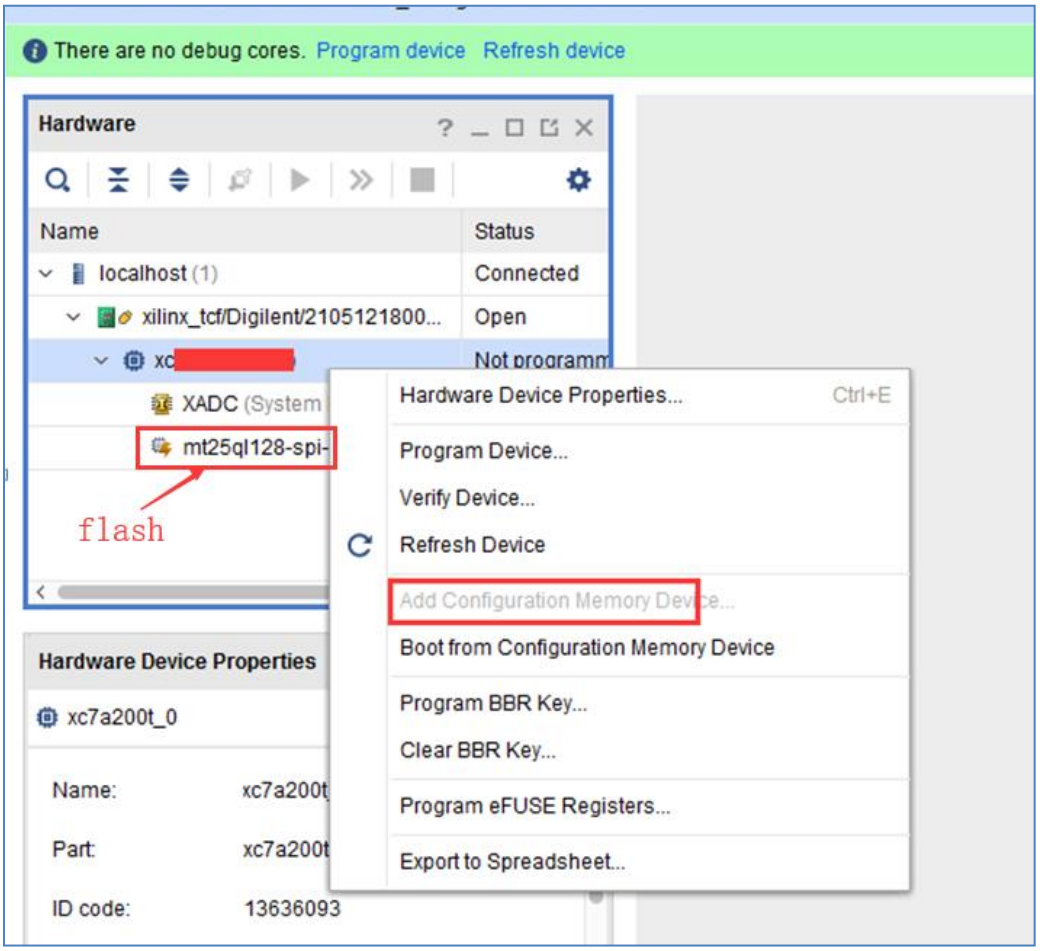
可能已经有朋友发现下载 Bit 文件到 FPGA 后，开发板重新上电后配置程序已经丢失，还需要 JTAG 下载。这岂不麻烦！好吧，这一节我们来介绍如何把配置程序固化到开发板上的 FLASH 中，这样不用担心掉电后程序丢失了。

在我们的开发板上有一个 8Pin 的 128Mbit 的 FLASH, 用于存储配置程序。我们不能直接把 Bit 文件下载到这个 FLASH 中，只能下载 Bin 文件或者 MCS 文件，在前面我们生成 bit 文件的同时也生成了 Bin 文件。下面以下载 Bin 文件为例为大家介绍 FLASH 程序的固化。

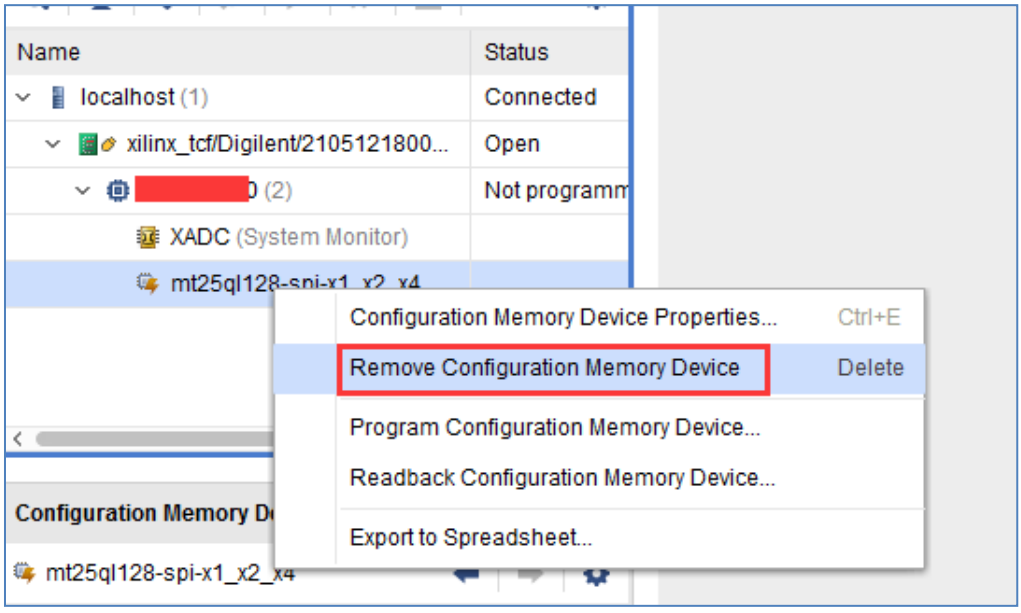
1. 在如下图中右键选择 xc7a35t_0（AX7035 开发板）或 xc7s50_0（AX7050 开发板）芯片，在弹出的列表中选择 Add Configuration Memory Device...



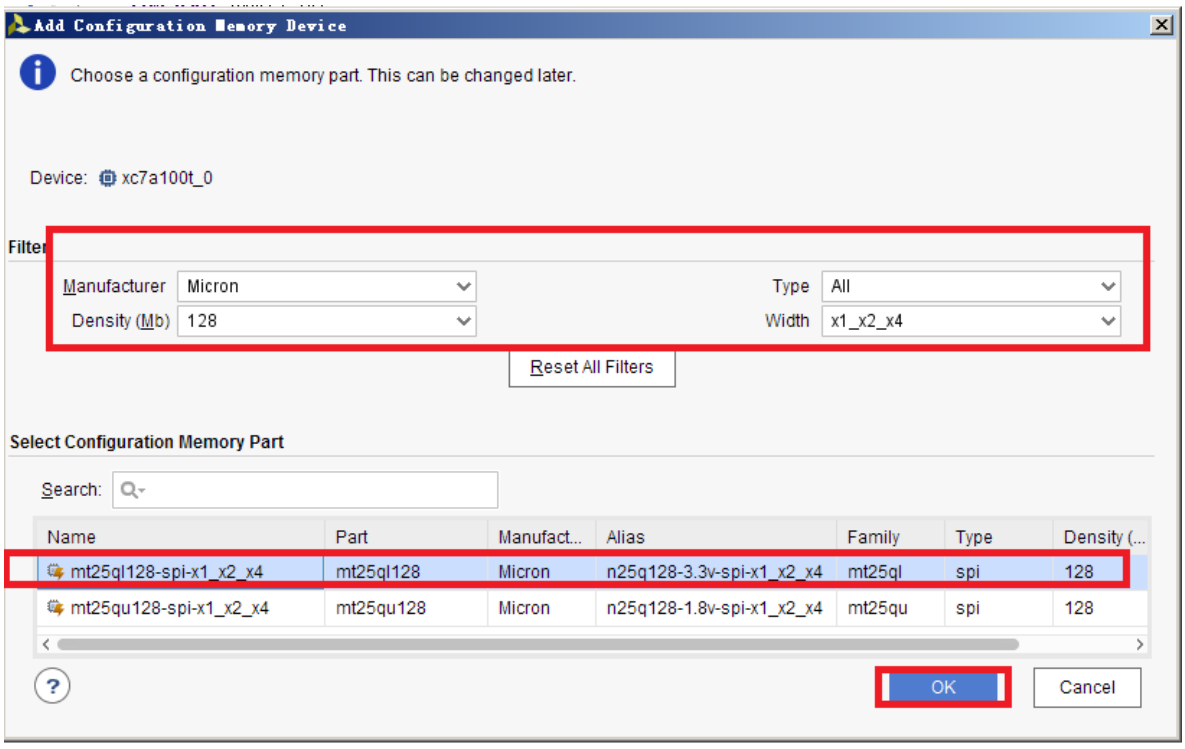
注意：如果发现此项变为灰色不能选，是因为我们提供的工程中已经添加了 FLASH 配置，不能再添加 FLASH，如下：



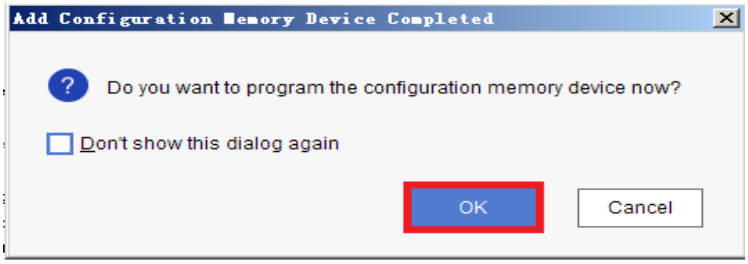
当然自己如果想在已有 flash 的工程中再次添加一下进行实验话，可按如下图移除 flash，然后按上面添加 flash 的步骤进行即可：



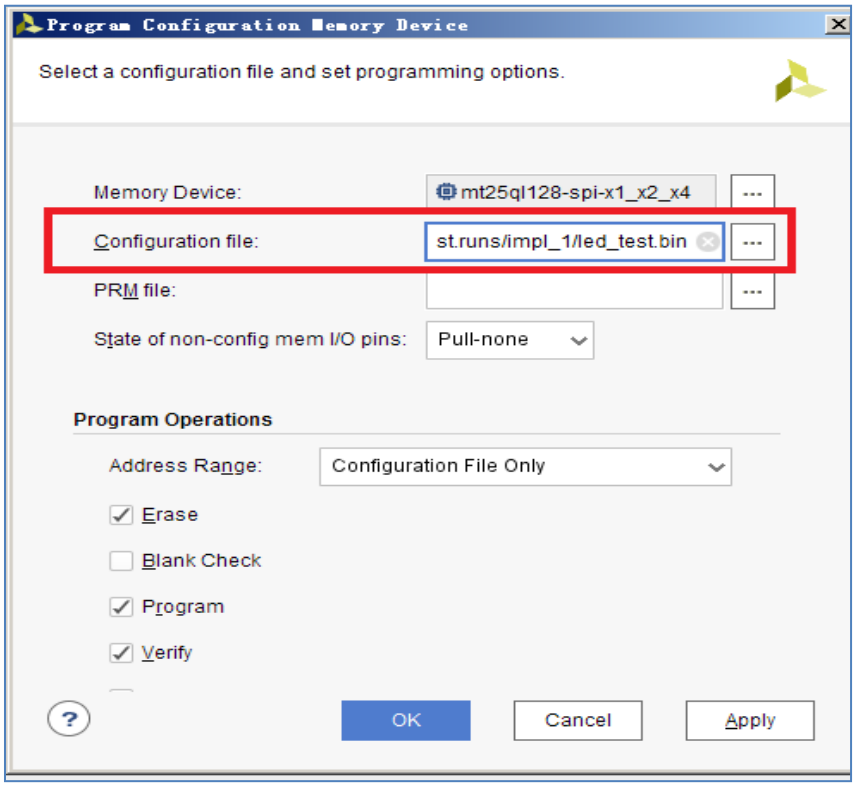
2. 在 Add configruation Memory Device 的配置界面里选择正确的 FLASH 型号，如下图所示：



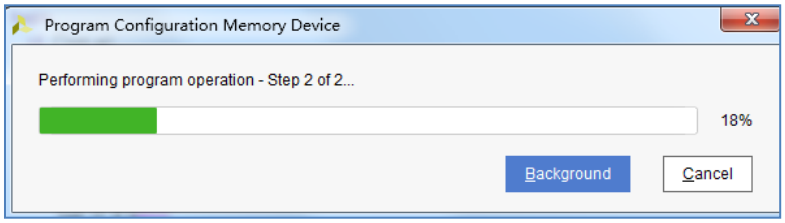
3 . 提示是否对 SPI FLASH 进行编程， 点击 OK。



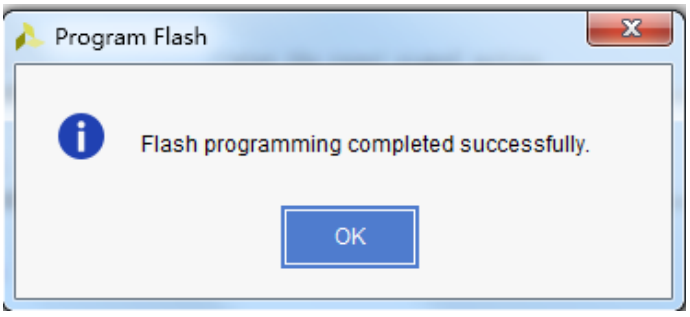
在弹出的 Program Configuration Memory Device 窗口中，Configration file 项选择 Vivado 生成的 led_test.bin 文件（此文件默认在 imp1_1 目录下）。PRM File 项不用选。另外在这个窗口用户还可以配置 I/O 为上拉，下拉或者无上下拉。配置操作选项保留默认就可以。



点击 OK 开始编程 FLASH。



FLASH 编程完毕后，会弹出如下成功的界面。



至此，SPI FLASH 烧写完毕，led_test 程序已经固化到 SPI FLASH 中了。我们来验证一下，关电重新启动开发板，等待一会儿你就可以看到开发板上的 LED 灯已经在做跑马运动了。

可能您也发现了，关电后重新上电需要等好一会儿，开发板上的 LED 灯才会开始启动跑马动作。这对有些上电马上就要工作的项目肯定是不满足了，那有没有办法解决的呢！当然有的，我们可以提高 SPI FLASH 的读写时钟，另外使用 x4 的方式读写，QSPI 是支持 4 根数据线读写的哦！方法很简单，我们只要在 xdc 文件里加入以下 3 条语句：

```
#############SPI Configurate Setting#################
set_property BITSTREAM.CONFIG.SPI_BUSWIDTH 4 [current_design]
set_property CONFIG_MODE SPIx4 [current_design]
set_property BITSTREAM.CONFIG.CONFIGRATE 50 [current_design]
```

其中前面两条设置 QSPI FLASH 的数据宽度和配置模式，后面一条是配置速度，这个值越大，速度越快。修改 xdc 文件后需要重新编译，再重新生成 bit 和 bin 文件，然后按前面的方法再烧写一遍 SPI FLASH 芯片哈。完成后开发板上电，这下是不是一上电，LED 灯就开始做运动了吧？

这里为止，我们的第一个项目就圆满完成了，相信您也掌握了 Vivado 的 FPGA 开发的整个流程，再也不是那个 FPGA 的门外汉了吧！ 师傅领进门，修行还需要靠本身！vivado 软件的一些技巧的使用和掌握就需要靠大家在长期实践和探索中慢慢熟悉了。

5 附录

led_test.v(verilog 代码)

```
`timescale 1ns / 1ps
module led_test
(
      input           sys_clk,           // system clock 50Mhz on board
      input           rst_n,         // reset ,low active
      output reg[3:0] led            // LED,use for control the LED signal on board
);

//define the time counter
reg [31:0]      timer;

// cycle counter:from 0 to 4 sec
always@(posedge sys_clk or negedge rst_n)
begin
      if (~rst_n)
               timer <= 32'd0;                //when the reset signal valid,time counter clearing
      else if (timer == 32'd199_999_999)      //4 seconds count(50M*4-1=199999999)
               timer <= 32'd0;                //count done,clearing the time counter
      else
               timer <= timer + 1'b1;        //timer counter = timer counter + 1
end

// LED control
always@(posedge sys_clk or negedge rst_n)
begin
      if (~rst_n)
               led <= 4'b0000;                //when the reset signal active
      else if (timer == 32'd49_999_999)       //time counter count to 1st sec,LED1 lighten
               led <= 4'b0001;
      else if (timer == 32'd99_999_999)       //time counter count to 2nd sec,LED2 lighten
               led <= 4'b0010;
      else if (timer == 32'd149_999_999)      //time counter count to 3rd sec,LED3 lighten
               led <= 4'b0100;
      else if (timer == 32'd199_999_999)      //time counter count to 4th sec,LED4 lighten
               led <= 4'b1000;
end
endmodule
```

注意：在定义寄存器时，如果寄存器在 always 块里使用必须定义为 reg 类型，如果仅是用于连线或是直接赋值需定义为 wire 类型，输入信号的类型不能定义为 reg 型，不管是 reg 类型信号还是 wire 类型的信号，定义的寄存器宽度必须满足使用时的需要，但必须稍大于或等于需要使用的位宽。若定义寄存器位宽远远大于使用需求则会浪费资源，如果定义的位宽小于使用需求，则会造成数据位截断，导致程序错误。还有其他信号的类型及用法请大家参考 Verilog 语法教程。