

**Trường Đại Học Bách Khoa  
Đại học Quốc Gia Thành Phố Hồ Chí Minh  
Khoa Khoa học và Kỹ thuật Máy tính**



**BÁO CÁO THÍ NGHIỆM  
THIẾT KẾ LUẬN LÝ**

**CHỦ ĐỀ BTL:  
Pulse Width Modulation**

***Giáo Viên Hướng Dẫn: Huỳnh Thúc Nghị  
Nhóm TN: 07***

<b>Tên thành viên</b>	<b>MSSV</b>
<b>Võ Minh Quân</b>	<b>2212826</b>
<b>Mai Hải Sơn</b>	<b>2212940</b>
<b>Nguyễn Trần Khoa Mỹ</b>	<b>2212113</b>
<b>Nguyễn Công Vũ Hoàng</b>	<b>2211087</b>

*Thành phố HCM ngày 10 tháng 5 năm 2023*

# MỤC LỤC

<b>I. Giới thiệu.....</b>	<b>3</b>
<b>II. Nguyên lí và Ứng dụng .....</b>	<b>3</b>
❖ Cách hoạt động của PWM: .....	3
❖ Lý do chính tại sao PWM được sử dụng phổ biến:.....	4
❖ Các ứng dụng khác của PWM trong điện tử:.....	4
<b>III. Thiết kế.....</b>	<b>5</b>
❖ Ý tưởng thiết kế: .....	5
❖ Các khối chức năng:.....	5
➤ Mạch tạo tín hiệu PWM: .....	5
➤ Quá trình hoạt động.....	5
<b>III. Thực hiện.....</b>	<b>7</b>
<b>IV. Kết quả .....</b>	<b>10</b>
❖ Thí nghiệm:.....	10
❖ Waveform: .....	11
❖ Giải thích:.....	12
❖ Report timing: .....	12
❖ Schematic:.....	13
<b>IV. Kết luận .....</b>	<b>14</b>

# **I. Giới thiệu**

PWM (**Pulse Width Modulation**) là một phương pháp điều khiển tín hiệu trong đó tần số của một xung được giữ nguyên nhưng độ rộng xung được thay đổi để tạo ra các giá trị tín hiệu khác nhau. PWM được sử dụng rộng rãi trong các ứng dụng điện tử như điều khiển động cơ, điều khiển đèn LED, điều khiển động cơ servo...

Báo cáo này tập trung trình bày về PWM - bộ tạo điều biến độ rộng xung. Đầu tiên, báo cáo sẽ giới thiệu về cách hoạt động của PWM và lý do vì sao nó được sử dụng rộng rãi trong các ứng dụng điện tử. Sau đó, báo cáo sẽ trình bày chi tiết về bộ tạo điều biến độ rộng xung, bao gồm các khối chức năng và các loại bộ tạo PWM phổ biến. Ngoài ra, báo cáo cũng đề cập đến các ứng dụng của PWM và bối cảnh sử dụng nó trong các thiết kế điện tử.

Tóm lại, báo cáo này cung cấp cái nhìn tổng quan về PWM và tập trung vào bộ tạo điều biến độ rộng xung. Nó giúp độc giả hiểu rõ hơn về cách hoạt động của PWM, các khối chức năng của bộ tạo PWM và các ứng dụng của nó trong các thiết kế điện tử.

## **II. Nguyên lý và Ứng dụng**

### **❖ Cách hoạt động của PWM:**

PWM hoạt động bằng cách tạo ra các xung điện với độ rộng khác nhau bằng cách sử dụng một bộ đếm và một bộ so sánh giá trị.

Quá trình tạo xung PWM với độ rộng khác nhau diễn ra như sau:

#### **➤ Bước 1: Khởi tạo giá trị ban đầu của bộ đếm:**

Bộ đếm được khởi tạo với một giá trị ban đầu, thường là 0.

#### **➤ Bước 2: Tăng giá trị bộ đếm:**

Bộ đếm được tăng giá trị mỗi khi có một sự kiện đếm xảy ra (thường là một xung đồng hồ). Khi giá trị bộ đếm đạt đến một giá trị cố định, gọi là giá trị so sánh, quá trình đếm sẽ được đặt lại về 0.

#### **➤ Bước 3: So sánh giá trị bộ đếm và giá trị so sánh:**

Khi giá trị bộ đếm bằng giá trị so sánh, một sự kiện so sánh xảy ra. Tại thời điểm này, tín hiệu PWM chuyển từ trạng thái cao (ON) sang trạng thái thấp (OFF).

#### **➤ Bước 4: Đặt lại bộ đếm:**

Sau khi xảy ra sự kiện so sánh, bộ đếm được đặt lại về giá trị ban đầu và quá trình đếm bắt đầu lại từ đầu.

⇒ Quá trình trên lặp đi lặp lại theo tần số quy định, tạo thành chu kỳ PWM.

Độ rộng của xung điện được xác định bởi thời gian mà giá trị bộ đếm duy trì trước khi xảy ra sự kiện so sánh. Nếu thời gian giữa hai sự kiện lâu hơn, thì xung điện sẽ có độ rộng lớn hơn và ngược lại.

Bằng cách thay đổi giá trị so sánh và giá trị ban đầu của bộ đếm, ta có thể điều chỉnh độ rộng của xung điện và tạo ra các mức điện áp hoặc dòng điện tương ứng trong PWM.

❖ **Lý do chính tại sao PWM được sử dụng phổ biến:**

- **Linh hoạt và điều chỉnh dễ dàng:** PWM cho phép điều chỉnh linh hoạt độ rộng của xung điện, từ 0% đến 100%, để tạo ra các mức điện áp tương ứng.
- **Tiết kiệm năng lượng, tăng hiệu suất hoạt động:** Vì PWM hoạt động trên nguyên tắc xung điện nên nó giúp tiết kiệm năng lượng. Thay vì sử dụng một tín hiệu analog liên tục, PWM chỉ sử dụng tín hiệu xung điện ON/OFF.
- **Tương thích cao:** PWM tương thích với nhiều loại thiết bị và hệ thống điện tử.
- **Giá thành thấp:** PWM sử dụng một bộ đếm và mạch so sánh đơn giản, không đòi hỏi nhiều linh kiện phức tạp.

❖ **Các ứng dụng khác của PWM trong điện tử:**

- **Điều khiển độ sáng đèn LED:** PWM được sử dụng để điều chỉnh độ sáng của đèn LED. Bằng cách thay đổi mức xung của tín hiệu PWM, ta có thể điều chỉnh độ rộng thời gian mà đèn LED được bật trong mỗi chu kỳ. Khi mức xung cao, đèn LED sẽ sáng hơn, và khi mức xung thấp, đèn LED sẽ tối đi.
- **Điều khiển động cơ servo:** Servo là một thiết bị điều khiển chuyển động được sử dụng rộng rãi trong robot, máy bay mô hình, và các mô hình điều khiển khác. PWM được sử dụng để điều khiển góc quay của servo. Mức xung của tín hiệu PWM xác định góc quay mong muốn cho servo. Mức xung cao sẽ đại diện cho góc quay lớn, mức xung thấp sẽ đại diện cho góc quay nhỏ, và mức xung trung bình tương ứng với góc quay trung gian. Điều này cho phép kiểm soát chính xác vị trí và chuyển động của servo.
- **Âm thanh số:** PWM có thể được sử dụng để biểu diễn âm thanh dưới dạng tín hiệu số. Trong một ứng dụng âm thanh số, tín hiệu âm thanh được chuyển đổi thành dạng số hóa, sau đó sử dụng PWM để tạo ra một chuỗi các xung điện với độ rộng thay đổi tương ứng với các mức âm thanh. Điều này cho phép tái tạo âm thanh số chất lượng cao và chính xác.

### III. Thiết kế

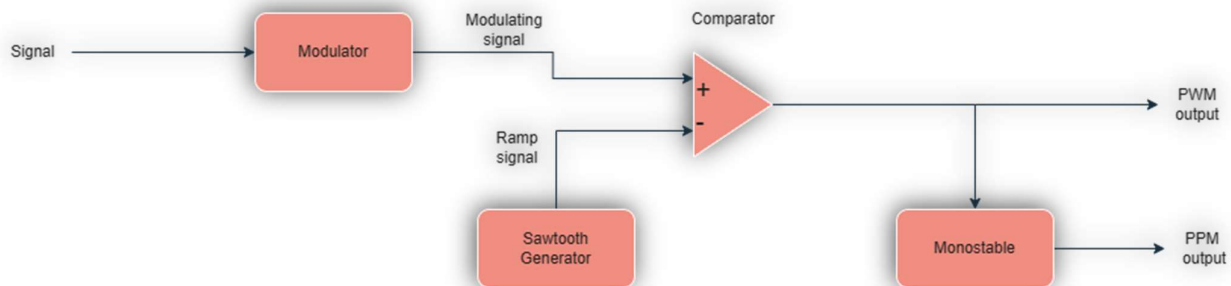
#### ❖ Ý tưởng thiết kế:

Để thiết kế mạch tạo xung PWM ta cần các bước sau đây:

- Xác định yêu cầu về độ rộng xung và tần số PWM cần thiết
- Chọn vi điều khiển phù hợp
- Thiết kế các mạch cần thiết để tạo ra xung PWM
- Kiểm tra mạch bằng phần mềm mô phỏng và kết thúc.

#### ❖ Các khối chức năng:

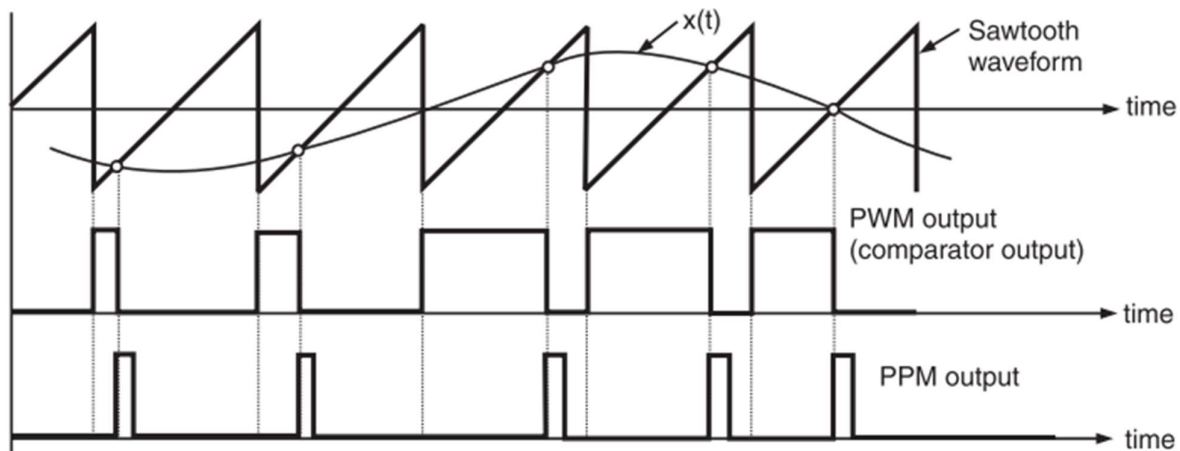
##### ➤ Mạch tạo tín hiệu PWM:



- **Modulator:** Đây là khối chức năng được sử dụng để tạo ra tín hiệu điều khiển PWM, thông thường được gọi là tín hiệu modulating. Tín hiệu modulating thường là một tín hiệu analog có biên độ và tần số khác nhau, thường là tín hiệu âm thanh, hình ảnh hoặc dữ liệu từ một cảm biến. Tín hiệu modulating được sử dụng để điều khiển chu kỳ và độ rộng xung của tín hiệu PWM.
- **Sawtooth:** Đây là khối chức năng được sử dụng để tạo ra tín hiệu sawtooth. Tín hiệu này có thể được tạo ra bằng cách sử dụng một RC circuit hoặc bằng cách sử dụng một bộ đếm số điện tử. Tín hiệu của sawtooth generator là một tín hiệu hình tam giác có độ dốc tăng dần. Tín hiệu này thường được sử dụng để so sánh với tín hiệu điều khiển và tạo ra độ rộng xung PWM tương ứng.
- **Comparator:** Sau khi tạo ra tín hiệu modulating, tín hiệu này sẽ được so sánh với một tín hiệu tham chiếu có chu kỳ cố định, thường được gọi là tín hiệu sawtooth. So sánh này được thực hiện bởi khối chức năng Comparator. Sau khi so sánh, khối chức năng này sẽ tạo ra một tín hiệu đầu ra có chu kỳ tương tự như tín hiệu sawtooth và độ rộng xung thay đổi theo tín hiệu modulating.
- **Monostable:** Đây là khối chức năng được sử dụng để giúp tạo ra tín hiệu PPM (Pulse Position Modulation). Tín hiệu PPM được sử dụng trong trường hợp cần đo đặc các thông số tín hiệu modulating. Khối chức năng Monostable sẽ tạo ra một xung với độ rộng tùy thuộc vào vị trí của xung trên tín hiệu modulating.
- **PPM output:** tín hiệu đầu ra PPM.
- **PWM output:** tín hiệu đầu ra PWM.

##### ➤ Quá trình hoạt động

- **Nhận tín hiệu điều khiển:** Tín hiệu điều khiển có thể được cung cấp từ một bộ điều khiển ngoài hoặc được tạo ra bởi một mạch điều khiển nội bộ. Tín hiệu này sẽ quyết định chu kỳ và độ rộng xung của tín hiệu PWM được tạo ra.
- Khối Modulator sẽ **nhận tín hiệu điều khiển** theo tín hiệu kích cạnh lên của xung clk
- Khối **Sawtooth generator** sẽ tạo ra một tín hiệu có dạng xung dốc theo hình tam giác .
- Tại khối Comparator tín hiệu điều khiển và tín hiệu sawtooth được so sánh với nhau. Nếu tín hiệu điều khiển cao hơn tín hiệu sawtooth thì tín hiệu output sẽ là mức cao, và ngược lại. Tín hiệu output đầu ra chính là tín hiệu PWM output.
- Tín hiệu đầu ra của bộ so sánh được đưa vào khối monostable để tạo ra xung PPM. Khi đầu vào của monostable là mức cao, nó sẽ đưa ra một xung có độ dài được thiết lập. Sau khi kết thúc độ dài xung này, đầu ra sẽ quay trở lại trạng thái ban đầu.



### III. Thực hiện

- ❖ Trước tiên sẽ triển khai các khối chức năng Modulator, Sawtooth Generator, Comparator, Monostable.
- ❖ Sau đó sẽ xây dựng khối PWM Generator để chạy mạch hoàn chỉnh.
- ❖ **Modulator:** Gồm các cổng sau đây:
  - 1 chân xung đồng hồ clk
  - 1 chân reset lại giá trị
  - 1 cổng 8 bit modulating\_signal\_in nhận giá trị đầu vào
  - 1 cổng 8 bit modulating\_signal\_out đưa giá trị đầu ra

```
module Modulating (  
    input clk,  
    input reset,  
    input [7:0] modulating_signal_in,  
    output reg [7:0] modulating_signal_out  
);  
  
always @(posedge clk, posedge reset) begin  
    if(reset) begin  
        modulating_signal_out<=0;  
    end  
    else begin  
        modulating_signal_out<=modulating_signal_in;  
    end  
end  
  
endmodule
```

- ❖ **Sawtooth Generator:** Gồm các cổng:
  - 1 chân xung đồng hồ clk
  - 1 chân reset lại giá trị
  - 1 cổng freq 8 bit nhận tần số đầu vào
  - 1 cổng sawtooth\_output 8 bit cho giá trị đầu ra là xung tam giác

```
module Sawtooth_generator (  
    input clk,  
    input reset,  
    input [7:0] freq,  
    output reg [7:0] sawtooth_output  
);  
  
reg [7:0] counter;
```

```

always @(posedge clk, posedge reset) begin
    if(reset) begin
        counter<=0;
    end
    else begin
        if(counter==(freq-1)) begin
            counter<=0;
        end
        else begin
            counter<=counter+1;
        end
    end
    sawtooth_output<=counter[7:0];
end

endmodule

```

❖ **Comparator:** Gồm các cổng sau:

- 1 cổng reset lại giá trị
- 1 cổng 8 bit đầu vào modulating\_signal nhận 8 bit đầu ra của Modulator
- 1 cổng 8 bit đầu vào sawtooth\_signal nhận giá trị đầu ra của Sawtooth Generator
- 1 cổng đầu ra pwm\_output cho giá trị PWM

```

module Comparator (
    input reset,
    input [7:0] modulating_signal,
    input [7:0] sawtooth_signal,
    output reg pwm_output
);

always @(sawtooth_signal) begin
    if(modulating_signal>sawtooth_signal) begin
        pwm_output<=1;
    end
    else begin
        pwm_output<=0;
    end
end

endmodule

```



❖ **Monostable:** Gồm các cổng sau:

- 1 chân xung đồng hồ clk
- 1 chân reset lại giá trị
- 1 cổng đầu vào pwm\_input nhận giá trị PWM
- 1 cổng đầu ra ppm\_output cho giá trị đầu ra PPM

```
module Monostable (  
    input clk,  
    input reset,  
    input pwm_input,  
    output reg ppm_output  
);  
  
reg [31:0] pulse_duration;  
reg counter;  
  
parameter PULSE_DURATION =10;  
  
always @(negedge pwm_input) begin  
    if(clk==1) begin  
        ppm_output=1;  
        #PULSE_DURATION ppm_output=0;  
    end  
    else begin  
        ppm_output<=0;  
    end  
end  
always @( clk==0 ) begin  
    ppm_output<=0;  
end  
endmodule
```

❖ **Generator\_PWM** là module tổng hợp lại các khối chức năng trên:

```
module Generator_PWM (  
    input clk,  
    input reset,  
    input [7:0] signal_in,  
    input [7:0] freq,  
    output ppm_output,  
    output pwm_output,  
    output [7:0] sawtooth_output
```

```

);
wire [7:0] modulating_signal_out;

Modulating M(clk,reset,signal_in,modulating_signal_out[7:0]);
Sawtooth_generator S(clk,reset,freq,sawtooth_output[7:0]);
Comparator C(reset,modulating_signal_out,sawtooth_output,pwm_output);
Monostable Mn(clk,reset,pwm_output,ppm_output);

endmodule

```

## **IV. Kết quả**

### **❖ Thí nghiệm:**

Để đánh giá hoạt động của mạch ta sẽ viết testbench. Testbench ban đầu sẽ đặt reset=1 để reset các giá trị về 0, xung clk=0. Ta sẽ đặt các giá trị của clk thay đổi sau 10ns, để freq=10, signal\_in=5. Sau đó tăng signal\_in=9.

```

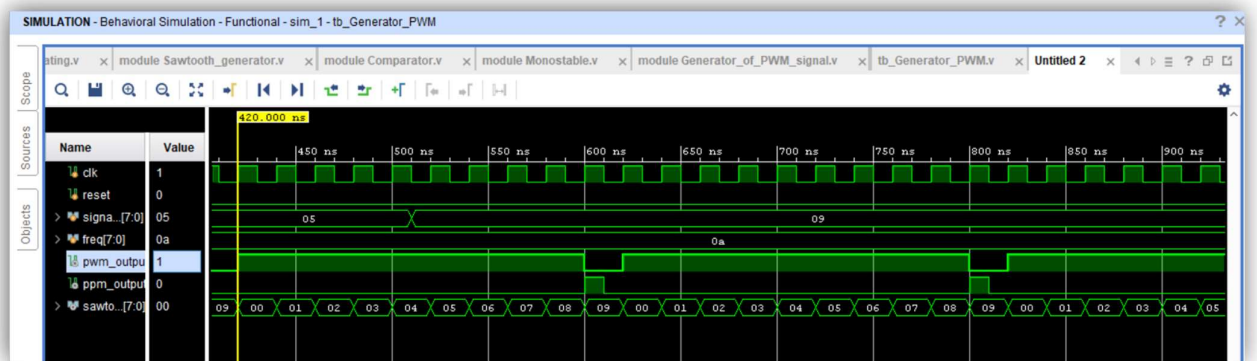
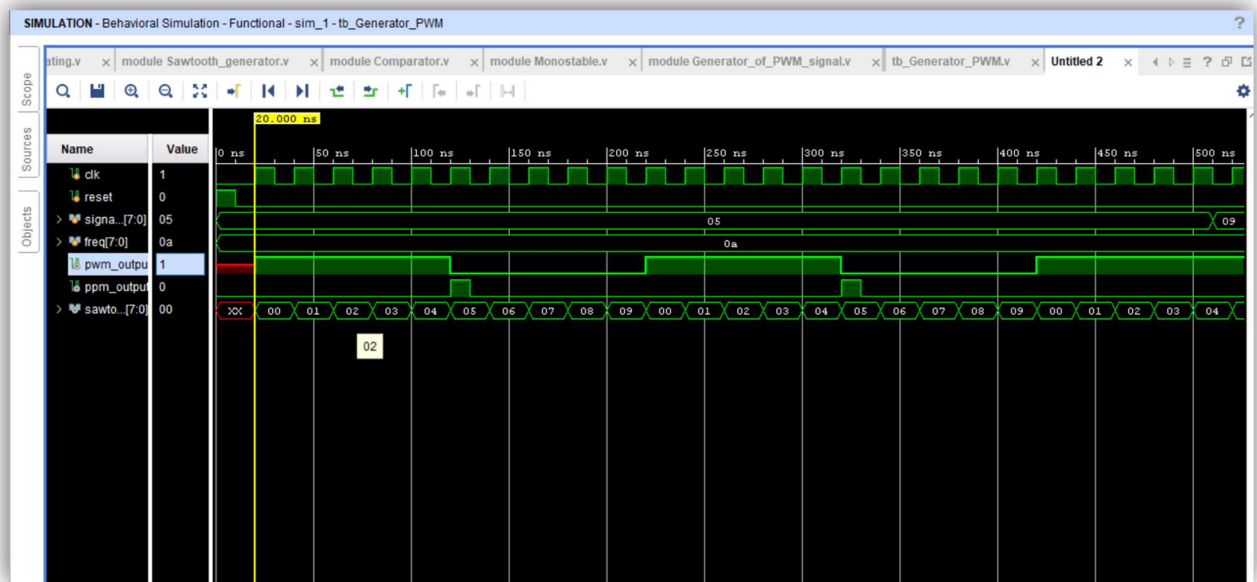
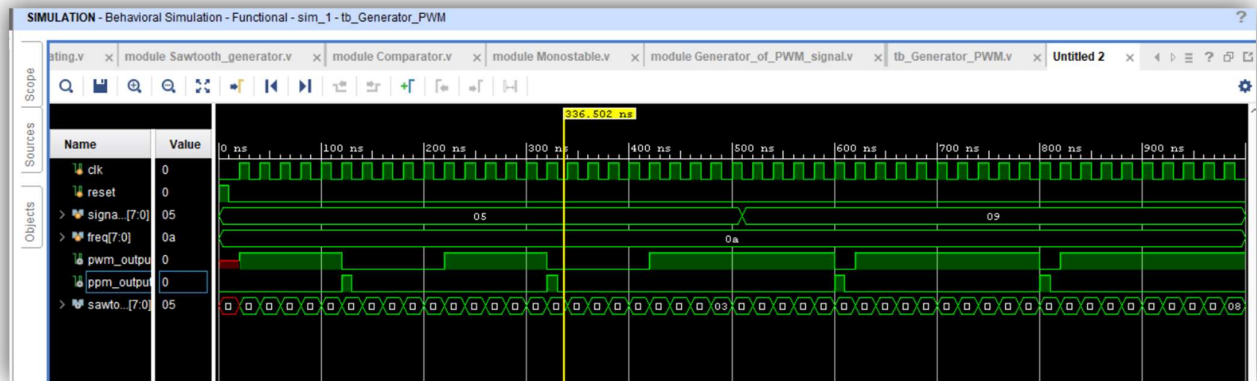
module tb_Generator_PWM ;
    reg clk, reset;
    reg [7:0] signal_in;
    reg [7:0] freq;
    wire pwm_output, ppm_output;
    wire [7:0] sawtooth_signal;

    Generator_PWM
    Ge(clk,reset,signal_in,freq,ppm_output,pwm_output,sawtooth_signal);
    initial begin
        reset=1;clk=0;signal_in=8'd5;freq=8'd10;
        #10 reset=0;
        repeat (50) begin
            #10 clk = ~clk;
        end
        signal_in=8'd9;
        repeat (50) begin
            #10 clk = ~clk;
        end
    end

endmodule

```

## ❖ Waveform:



### ❖ Giải thích:

Giá trị của clk thay đổi sau 10ns, freq=10, tức 20ns thì tín hiệu sawtooth\_signal sẽ tăng 1 đơn vị, mà sawtooth\_signal=freq=10 thì tức sawtooth\_signal sẽ có chu kì là 200ns, tần số là 5MHz. Từ đó ta có thể suy ra được tần số của xung PWM=tần số của tín hiệu sawtooth=5MHz. Ban đầu ta để giá trị tín hiệu đầu vào signal\_in=5 vậy ta sẽ có tín hiệu PWM có duty cycle=50%.

Sau đó giá trị của tín hiệu đầu vào signal\_in=9, vậy ta sẽ có tín hiệu PWM có duty cycle=90%.

### ❖ Report timing:

#### ➤ Synthesis:

Design Timing Summary					
Setup		Hold		Pulse Width	
Worst Negative Slack (WNS):	inf	Worst Hold Slack (WHS):	inf	Worst Pulse Width Slack (WPWS):	NA
Total Negative Slack (TNS):	0.000 ns	Total Hold Slack (THS):	0.000 ns	Total Pulse Width Negative Slack (TPWS):	NA
Number of Failing Endpoints:	0	Number of Failing Endpoints:	0	Number of Failing Endpoints:	NA
Total Number of Endpoints:	49	Total Number of Endpoints:	49	Total Number of Endpoints:	NA

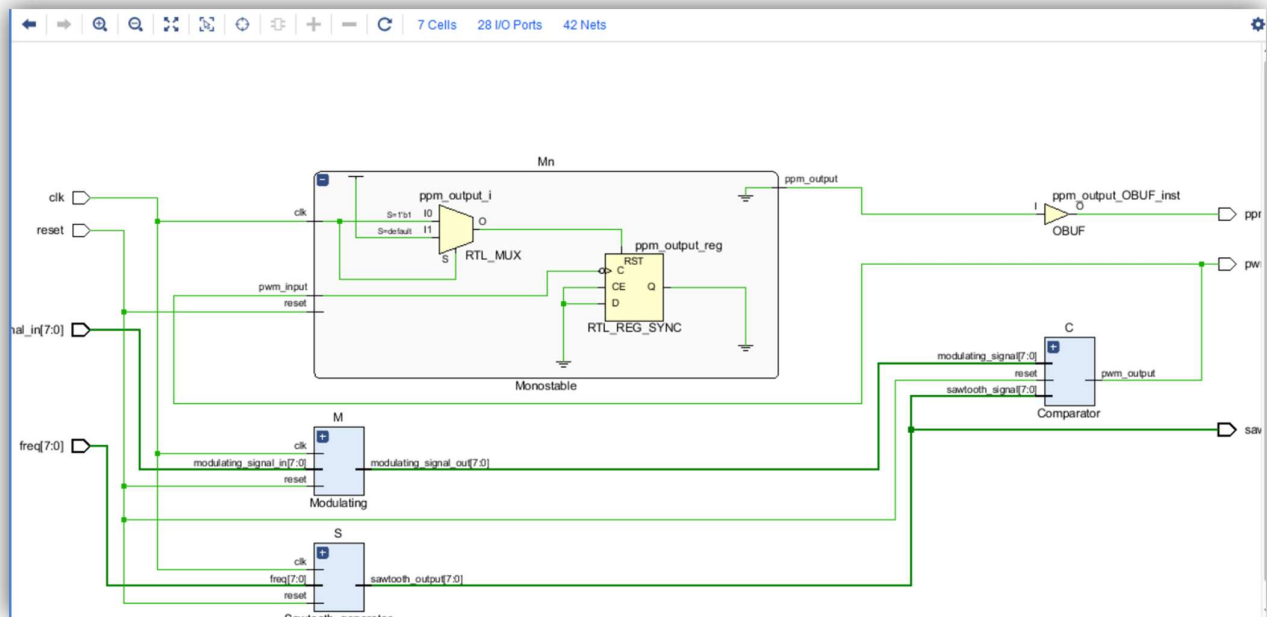
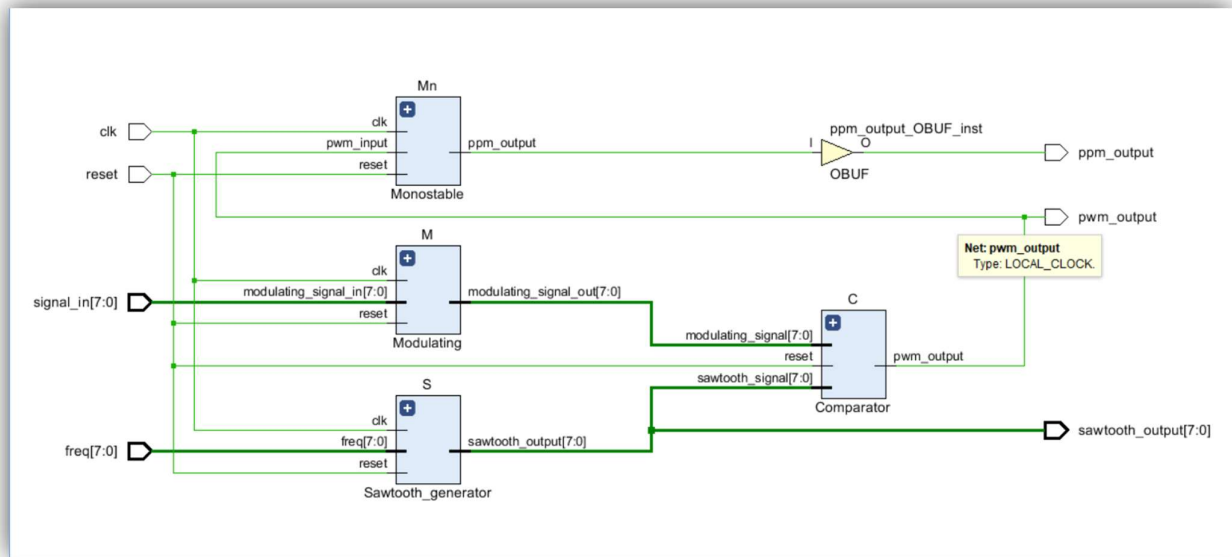
There are no user specified timing constraints.

#### ➤ Implementation:

Design Timing Summary					
Setup		Hold		Pulse Width	
Worst Negative Slack (WNS):	inf	Worst Hold Slack (WHS):	inf	Worst Pulse Width Slack (WPWS):	NA
Total Negative Slack (TNS):	0.000 ns	Total Hold Slack (THS):	0.000 ns	Total Pulse Width Negative Slack (TPWS):	NA
Number of Failing Endpoints:	0	Number of Failing Endpoints:	0	Number of Failing Endpoints:	NA
Total Number of Endpoints:	57	Total Number of Endpoints:	57	Total Number of Endpoints:	NA

There are no user specified timing constraints.

## ❖ Schematic:



## **IV. Kết luận**

Thành tích của PWM - Bộ tạo điều biến độ rộng xung là rất đáng kể trong các ứng dụng điện tử. PWM đã giúp tăng tính linh hoạt và hiệu quả trong điều khiển các thiết bị điện tử, giảm thiểu sự tiêu tốn năng lượng và tối ưu hóa hiệu suất. Nó đã được sử dụng rộng rãi trong các thiết bị như đèn LED, máy bay không người lái, hệ thống điều khiển tốc độ động cơ...

Một trong những ưu điểm của PWM là tính linh hoạt, cho phép người dùng điều chỉnh độ rộng xung để tạo ra các giá trị tín hiệu khác nhau. Điều này rất hữu ích trong các ứng dụng cần điều khiển chính xác và linh hoạt. Bên cạnh đó, PWM cũng giúp giảm thiểu tiêu tốn năng lượng và tối ưu hóa hiệu suất bằng cách giữ tần số xung nguyên và chỉ thay đổi độ rộng xung.

Tuy nhiên, PWM cũng có nhược điểm như là gây nhiễu tín hiệu và có thể gây ra hiện tượng dao động. Để giảm thiểu những vấn đề này, các bộ tạo PWM cần được thiết kế cẩn thận và sử dụng đúng cách.

Trong tương lai, PWM sẽ tiếp tục được sử dụng rộng rãi trong các thiết bị điện tử và các ứng dụng khác nhau. Các công nghệ điện tử sẽ liên tục phát triển và cải tiến để cải thiện tính linh hoạt và hiệu suất của PWM. Công việc của các nhà thiết kế là phát triển các bộ tạo PWM chất lượng cao và tối ưu hóa ứng dụng của nó để đáp ứng nhu cầu ngày càng cao của thị trường.

Trong quá trình làm việc nhóm chúng em đã học được thêm kiến thức về PWM cũng như nắm vững các kiến thức đã học của môn thiết kế luận lí và HDL

Bên cạnh đó còn có những khó khăn như việc lập trình verilog còn nhiều hạn chế và sai sót. Mong thầy thông cảm và góp ý cho chúng em cải thiện và phát triển ạ. Chúng em xin gửi lời cảm ơn đến thầy đã tận tình hướng dẫn trong thời gian học vừa qua!

-----HẾT-----