<u>การทดลองที่ 7</u> การใช้งาน Pulse-Width Modulation

วัตถุประสงค์

1) เข้าใจการทำงานของ Pulse-Width Modulation
2) สามารถเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของ Timer เพื่อสร้างสัญญาณ Pulse-Width Modulation

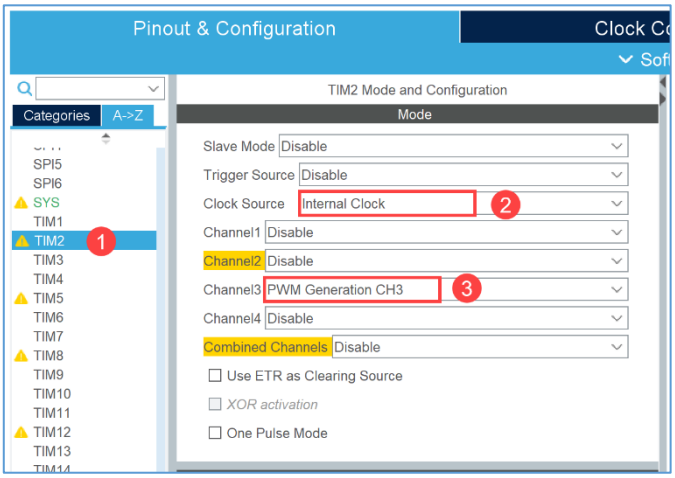
1. Pulse-Width Modulation Generation

วงจร Timer ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32F767 จะมีโหมดการทำงานเพื่อสร้างสัญญาณ PWM สำหรับส่งออกไปควบคุมอุปกรณ์ภายนอก เช่น LED หรือมอเตอร์ได้ โดย**ความถี่**ของสัญญาณถูกควบคุมโดยรีจิสเตอร์ TIMx_ARR ส่วน Duty Cycle ถูกควบคุมโดยรีจิสเตอร์ TIMx_CCRx วงจร Timer 1 โมดูลประกอบไปด้วยช่องสัญญาณที่สามารถใช้สร้างสัญญาณ PWM ได้ โดยมีจำนวนช่องสัญญาณแตกต่างกันในแต่ละโมดูล โดยจะใช้การเปรียบเทียบระหว่าง counter ของ Timer กับรีจิสเตอร์ TIMx_CCRx เพื่อสร้างสัญญาณ PWM ด้วยกัน 2 โหมด ดังนี้

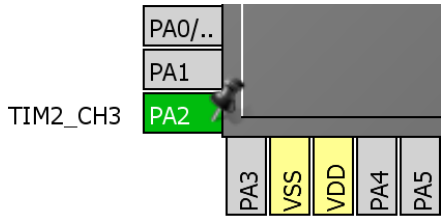
1. **โหมด1** ในการนับขึ้นจะสร้างสัญญาณ PWM สถานะ SET เมื่อ counter ของโมดูล Timer มีค่าน้อยกว่าค่าในรีจิสเตอร์ TIMx_CCRx และเมื่อ counter มีค่ามากกว่ารีจิสเตอร์ดังกล่าวสัญญาณ PWM จะมีสถานะ RESET
2. **โหมด2** ในการนับลงจะสร้างสัญญาณ PWM สถานะ SET เมื่อ counter ของโมดูล Timer มีค่ามากกว่าค่าในรีจิสเตอร์ TIMx_CCRx และเมื่อ counter มีค่าน้อยกว่ารีจิสเตอร์ดังกล่าวสัญญาณ PWM จะมีสถานะ RESET

2. การตั้งค่าในโปรแกรม STM32CubeMX

หากต้องการใช้งานช่องสัญญาณ 3 ของ TIM2 เพื่อสร้างสัญญาณ PWM สามารถตั้งค่า TIM2 ได้ดังรูปที่ 2.1 จากนั้นโปรแกรมจะกำหนดให้ค่า PA2 ทำหน้าที่จ่ายสัญญาณ PWM ดังรูปที่ 2.2 (a) แต่หากมีความจำเป็นต้องใช้งานขา PA2 ในโหมด UART2 สามารถเลือกให้ขา PB10 ทำหน้าที่จ่ายสัญญาณ PWM ของ TIM2_CH3 แทนได้ ซึ่งเป็น Alternate Function ของขา PB10 ดังรูปที่ 2.2 (b)



รูปที่ 2.1 แสดงการตั้งค่าให้โมดูล TIM2 Channel 3 จ่ายสัญญาณ PWM

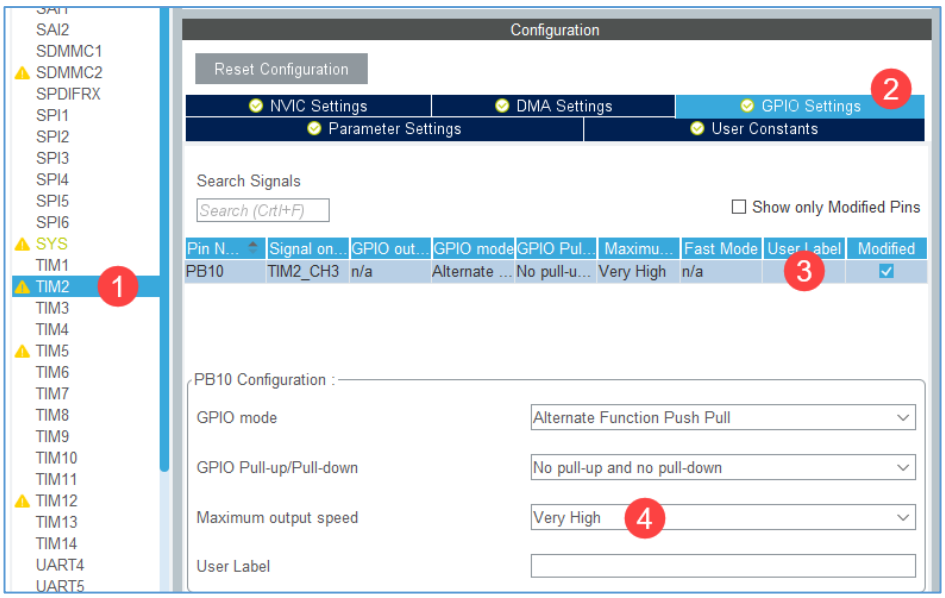


(a)

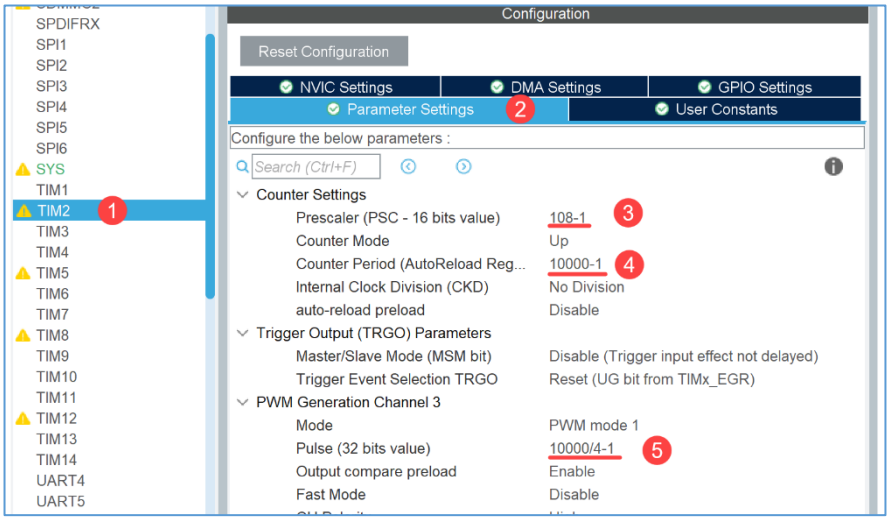
(b)

รูปที่ 2.2 แสดงขาเอาต์พุตที่สามารถนำสัญญาณ PWM จาก TIM2_CH3 ไปใช้งานได้

จากนั้นตั้งค่าให้ขา PB10 ทำงานที่ความเร็วสูงสุดดังรูปที่ 2.3 และตั้งค่าโมดูล TIM2 ได้ดังรูปที่ 2.4 ซึ่งตั้งค่าให้สัญญาณ PWM มีคาบเวลา 10 ms และมี Duty Cycle 25%



รูปที่ 2.3 แสดงการตั้งค่าขา PB10



รูปที่ 2.4 แสดงการตั้งค่าคาบเวลาและ Duty Cycle ของ TIM2_CH3

3. อธิบายการตั้งค่า

โปรแกรม STM32CubeMX ตั้งค่า TIM2 เพื่อสร้างสัญญาณ PWM ด้วยฟังก์ชัน `MX_TIM2_Init` และฟังก์ชัน `HAL_TIM_MspPostInit` ในไฟล์ `tim.c` และฟังก์ชัน `MX_GPIO_Init` ในไฟล์ `gpio.c` ดังรูปที่ 3.1 และรูปที่ 3.2

ฟังก์ชัน `MX_TIM2_Init`

- เป็นฟังก์ชันที่โปรแกรม STM32CubeMX สร้างขึ้นมา เพื่อตั้งค่าคาบเวลาและ Duty Cycle ของสัญญาณ PWM บนไมโครคอนโทรลเลอร์ให้สอดคล้องกับที่กำหนดไว้ในโปรแกรม
- เริ่มต้นด้วยการประกาศตัวแปร Global htim2 สำหรับตั้งค่า TIM2 ที่ส่วนต้นของไฟล์ `main.c`

```
TIM_HandleTypeDef htim2;
```

- ส่วนฟังก์ชันเริ่มต้นด้วยการประกาศตัวแปร สำหรับตั้งค่าภายในโมดูล Timer

```
TIM_ClockConfigTypeDef sClockSourceConfig;
TIM_MasterConfigTypeDef sMasterConfig;
```

- จากนั้นตั้งค่าคาบเวลาของสัญญาณ PWM โดยใช้ Clock Division, Prescaler และ Period เหมือนกับการทดลองที่ 6

```
htim1.Init.ClockDivision = TIM_CLOCKDIVISION_DIV1;
htim1.Init.Prescaler = 108-1;
htim1.Init.Period = 10000-1;
```

- แล้วจึงตั้งค่าให้ TIM2 นับขึ้น

```
htim1.Init.CounterMode = TIM_COUNTERMODE_UP;
```

- จากนั้นตั้งค่าให้สัญญาณ PWM แบบ Active High มี Duty Cycle 25% ให้กับช่องสัญญาณที่ 3

```
sConfigOC.OCMode = TIM_OCMODE_PWM1;
sConfigOC.Pulse = 10000/4 -1;
HAL_TIM_PWM_ConfigChannel(&htim2, &sConfigOC, TIM_CHANNEL_3);
```

```c
TIM_HandleTypeDef htim2;

/* TIM2 init function */
void MX_TIM2_Init(void)
{

  TIM_ClockConfigTypeDef sClockSourceConfig = {0};
  TIM_MasterConfigTypeDef sMasterConfig = {0};
  TIM_OC_InitTypeDef sConfigOC = {0};


  htim2.Instance = TIM2;
  htim2.Init.Prescaler = 108-1;
  htim2.Init.CounterMode = TIM_COUNTERMODE_UP;
  htim2.Init.Period = 10000-1;
  htim2.Init.ClockDivision = TIM_CLOCKDIVISION_DIV1;
  htim2.Init.AutoReloadPreload = TIM_AUTORELOAD_PRELOAD_DISABLE;
  if (HAL_TIM_Base_Init(&htim2) != HAL_OK)
  {
    Error_Handler();
  }
  sClockSourceConfig.ClockSource = TIM_CLOCKSOURCE_INTERNAL;
  if (HAL_TIM_ConfigClockSource(&htim2, &sClockSourceConfig) != HAL_OK)
  {
    Error_Handler();
  }
  if (HAL_TIM_PWM_Init(&htim2) != HAL_OK)
  {
    Error_Handler();
  }
  sMasterConfig.MasterOutputTrigger = TIM_TRGO_RESET;
  sMasterConfig.MasterSlaveMode = TIM_MASTERSLAVEMODE_DISABLE;
  if (HAL_TIMEx_MasterConfigSynchronization(&htim2, &sMasterConfig) != HAL_OK)
  {
    Error_Handler();
  }
  sConfigOC.OCMode = TIM_OCMODE_PWM1;
  sConfigOC.Pulse = 10000/4-1;
  sConfigOC.OCPolarity = TIM_OCPOLARITY_HIGH;
  sConfigOC.OCFastMode = TIM_OCFAST_DISABLE;
  if (HAL_TIM_PWM_ConfigChannel(&htim2, &sConfigOC, TIM_CHANNEL_3) != HAL_OK)
  {
    Error_Handler();
  }

  HAL_TIM_MspPostInit(&htim2);

}
```

รูปที่ 3.1 แสดงการตั้งค่า TIM2 ในฟังก์ชัน `MX_TIM2_Init()`

ฟังก์ชัน `MX_GPIO_Init`

- เป็นฟังก์ชันที่โปรแกรม STM32CubeMX สร้างขึ้นมา เพื่อตั้งค่า GPIO โดยจ่ายสัญญาณนาฬิกาให้กับ GPIO พอร์ต B

ฟังก์ชัน `HAL_TIM_MspPostInit`

- เป็นฟังก์ชันที่โปรแกรม STM32CubeMX สร้างขึ้นมาในไฟล์ `stm32f7xx_hal_msp.c` เพื่อเปลี่ยนการทำงานของขา PB10 จาก GPIO เป็น Alternate function

```c
static void MX_GPIO_Init(void)
{

  /* GPIO Ports Clock Enable */
  __HAL_RCC_GPIOB_CLK_ENABLE();

}
```

(a)

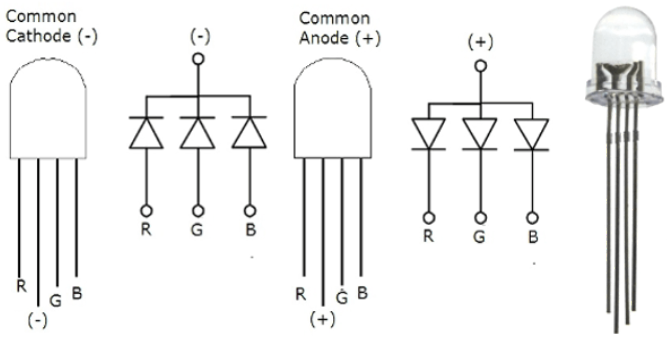
```c
void HAL_TIM_MspPostInit(TIM_HandleTypeDef* timHandle)
{

  GPIO_InitTypeDef GPIO_InitStruct = {0};
  if(timHandle->Instance==TIM2)
  {
  /* USER CODE BEGIN TIM2_MspPostInit 0 */

  /* USER CODE END TIM2_MspPostInit 0 */

    __HAL_RCC_GPIOB_CLK_ENABLE();
    /**TIM2 GPIO Configuration
    PB10     ------> TIM2_CH3
    */
    GPIO_InitStruct.Pin = GPIO_PIN_10;
    GPIO_InitStruct.Mode = GPIO_MODE_AF_PP;
    GPIO_InitStruct.Pull = GPIO_NOPULL;
    GPIO_InitStruct.Speed = GPIO_SPEED_FREQ_VERY_HIGH;
    GPIO_InitStruct.Alternate = GPIO_AF1_TIM2;
    HAL_GPIO_Init(GPIOB, &GPIO_InitStruct);

  /* USER CODE BEGIN TIM2_MspPostInit 1 */

  /* USER CODE END TIM2_MspPostInit 1 */
  }

}
```

(b)

รูปที่ 3.2 แสดงการตั้งค่า PB10 ให้จ่ายสัญญาณ PWM จาก TIM2_CH3

4. การควบคุม RGB LED ด้วยสัญญาณ PWM

RGB LED คือ LED ที่ภายในประกอบไปด้วย LED ที่เป็นแม่สีจำนวน 3 สี ได้แก่ สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ทำให้สามารถนำมาสร้างเป็นแสงสีต่างๆ ได้ตามต้องการ โดยการกำหนดความเข้มแสงให้ LED แต่ละสีด้วยสัญญาณ PWM โดย LED ทั้งสามมีขา Common ร่วมกัน 1 ขา ซึ่งมีทั้งแบบ Common Anode และ Common Cathode ดังรูปที่ 4.1 และการใช้งานจะ**ต้องต่อตัวต้านเพื่อจำกัดกระแสจำนวน 3 ตัว**ด้วย



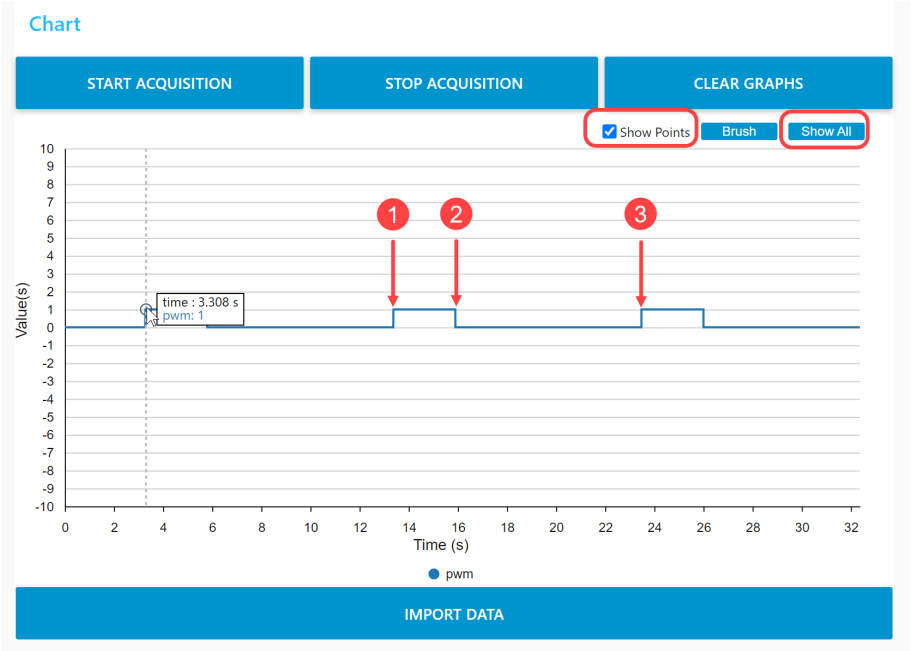
รูปที่ 4.1 แสดงรายละเอียดของขาสัญญาณ RGB LED แบบ Common Cathode และ Common Anode

5. การทดลอง

1. การสร้างสัญญาณ PWM จาก TIM2_CH3

จงเขียนโปรแกรมควบคุม TIM2 ช่องสัญญาณ 3 เพื่อสร้างสัญญาณ PWM ที่มีคาบเวลา 10 ms และมี Duty Cycle 25% ที่ขา PB10

- ตั้งค่า TIM2 ดังรูปที่ 2.1 รูปที่ 2.3 และรูปที่ 2.4
- ประกาศ**ตัวแปรโกลบอล** `uint8_t pwm`
- ต่อ LED ที่ขา PB10
- เพิ่มคำสั่งใน while loop เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์สร้างสัญญาณ PWM ที่มีคาบเวลา 10 ms มี Duty Cycle 25% ตามที่ตั้งค่าไว้ เป็นระยะเวลานาน 100 ms แล้วจึงหยุดสร้างสัญญาณ PWM ได้ดังนี้
  - `HAL_TIM_PWM_Start(&htim2, TIM_CHANNEL_3);`
  - `HAL_Delay(100);`
  - `HAL_TIM_PWM_Stop(&htim2, TIM_CHANNEL_3);`
  - `pwm = (GPIOB->IDR & 0xGPIO_PIN_10) >>10;`
- สังเกตความสว่างของ LED ที่ขา PB10 เมื่อเทียบกับการป้อนลอจิก 1
- ตรวจสอบคาบเวลาและ Duty Cycle ของสัญญาณ PWM ที่สร้างขึ้น โดยใช้โปรแกรม STM32CubeMonitor เพื่อดูค่า**ตัวแปร pwm** ดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 แสดงสัญญาณ PWM ที่วัด โดยใช้โปรแกรม STM32CubeMonitor

2. การกำหนด Duty Cycle ให้กับสัญญาณ PWM

จงเขียนโปรแกรมควบคุม TIM2 ช่องสัญญาณ 3 เพื่อสร้างสัญญาณ PWM ที่มี Duty Cycle แตกต่างกันโดยการแก้ไขค่าในรีจิสเตอร์ TIM2_CCR3

- สร้างตัวแปร **`float dutyCycle = 0.5`** ในฟังก์ชัน `main` เพื่อใช้ปรับเปลี่ยนค่า Duty Cycle
- เปลี่ยนคำสั่งใน while loop ให้เป็นคำสั่งดังต่อไปนี้แทน
    - **`htim2.Instance -> CCR3 = (10000-1) * dutyCycle;`**
    - **`HAL_TIM_PWM_Start(&htim2, TIM_CHANNEL_3);`**
    - **`HAL_Delay(100);`**
    - **`HAL_TIM_PWM_Stop(&htim2, TIM_CHANNEL_3);`**
    - **`pwm = (GPIOB->IDR & 0xGPIO_PIN_10) >>10;`**
- ใช้โปรแกรม STM32CubeMonitor เพื่อตรวจสอบผลลัพธ์ดังการทดลองที่ 1 แล้วจดบันทึกเวลาที่จุด 1-3 ระบุทศนิยม 3 ตำแหน่ง แล้วแสดงการคำนวณ Duty cycle จากค่าเวลาจริงที่วัดที่ได้ ลงในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 สำหรับบันทึกผลการทดลองที่ 2

ค่าตัวแปร dutyCycle	เวลาจุด 1	เวลาจุด 2	เวลาจุด 3	Duty cycle จากการคำนวณ (ทศนิยม 3 ตำแหน่ง)
0.5				
0.25				
0.75				
1.0				
2.0				

3. การผสมสีจากหลอดไฟ RGB LED

จงสร้างสัญญาณ PWM จำนวน 3 สัญญาณเพื่อควบคุมความเข้มของสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ของ RGB LED โดยกดปุ่ม r ที่แป้นพิมพ์เพื่อปรับความเข้มสีแดง ปุ่ม g เพื่อปรับความเข้มสีเขียว และปุ่ม b เพื่อปรับความเข้มสีน้ำเงิน ในการกดแต่ละครั้งจะเพิ่มความเข้มขึ้น 20% เริ่มจาก 0% - 100% เมื่อถึง 100% ให้วนมาที่ 0% อีกครั้ง (0% → 20% → 40%→ 60%→ 80%→ 100% → 0%) โดยสามารถเลือกขาสัญญาณ PWM ได้ตามต้องการ และตอนตรวจการทดลองให้เปิดโปรแกรม STM32CubeMonitor เพื่อดู Duty cycle

PWM สำหรับสีแดง Timer ..... Channel ..... GPIO ขา .....

PWM สำหรับสีเขียว Timer ..... Channel ..... GPIO ขา .....

PWM สำหรับสีน้ำเงิน Timer ..... Channel ..... GPIO ขา .....

ใบตรวจการทดลองที่ 7

Microcontroller Project 2568

วัน/เดือน/ปี _____ **กลุ่มที่** _____

1. รหัสนักศึกษา _____ ชื่อ-นามสกุล _____

2. รหัสนักศึกษา _____ ชื่อ-นามสกุล _____

3. รหัสนักศึกษา _____ ชื่อ-นามสกุล _____

ลายเซ็นผู้ตรวจ

1. การทดลองที่ 2
2. การทดลองที่ 3

คำถามท้ายการทดลอง

1. ในฟังก์ชัน `MX_TIM2_Init` ของการทดลองที่ 1 หากเปลี่ยนคำสั่ง

```
sConfigOC.OCMode = TIM_OCMODE_PWM1;
```

เป็น

```
sConfigOC.OCMode = TIM_OCMODE_PWM2;
```

ให้ผลเหมือนเดิมหรือต่างจากเดิมอย่างไร

.....

.....

.....

.....

.....

.....