

فاطمه سادات سیفی – 98243035

پارسا محمدپور – 98243050

سوالات تحلیلی:

فرکانس مدولاسیون : تعداد پالس هایی که در ثانیه رخ میدهد.

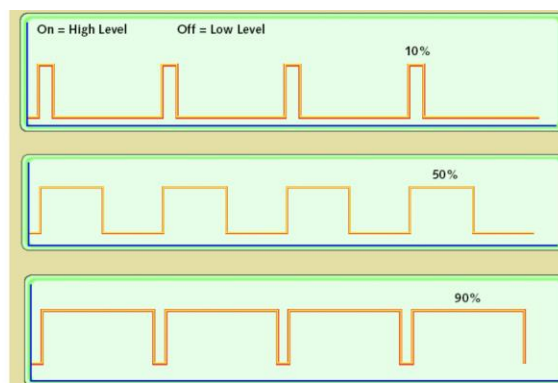
دوره: (فرکانس مدولاسیون) $1/$

On-time: مقدار زمانی که هرکدام از پالس ها روشن هستند.

Duty-cycle: on-time/period

Adjust on-time: مقدار آنالوگ را نشان میدهد.

- PWM signal characteristics
 - **Modulation frequency**: how many pulses occur per second (fixed)
 - **Period**: $1/(\text{modulation frequency})$
 - **On-time**: amount of time that each pulse is on (asserted)
 - **Duty-cycle**: on-time/period
 - **Adjust on-time** (hence duty cycle) to represent the analog value



(PDM)، روشی برای کاهش متوسط توان ارسالی توسط یک سیگنال الکتریکی، با تقسیم مؤثر آن به قطعات مجزا است. مدولاسیون عرض پالس (PWM) یک تکنیک مدولاسیونی است که پالس هایی با عرض متغیر تولید می کند تا دامنه سیگنال ورودی آنالوگ را نشان دهد.

۲. fast mode می تواند یک پین خروجی را مستقیماً هدایت کند. و از phase correct PWM سریعتر است زیرا fast mode یک slop انجام میدهد در حالی که phase correct PWM از up-then-down dual slope استفاده میکند. در مد اول در لحظه ی اول سیگنال خروجی عوض میشود. و در حالت تصحیح فاز تایمر از ۰ تا ۲۵۵ شمارش می کند و سپس به ۰ برمی گردد. با برخورد تایمر به سطح مقایسه سیگنال عوض میشود. در این مد نسبت دوره و فرکانس معکوس است. همچنین فرکانس fast mode ، دو برابر فرکانس phase correct PWM است.

سوال کدی:

تنظیمات پین ها:

کانال در تایمر	کاربرد	ورودی / خروجی میکرو	پین
-	LCD در D0	خروجی	PA0
-	LCD در D1	خروجی	PA1
-	LCD در D2	خروجی	PA2
-	LCD در D3	خروجی	PA3
-	LCD در D4	خروجی	PA4
-	LCD در D5	خروجی	PA5
-	LCD در D6	خروجی	PA6
-	LCD در D7	خروجی	PA7
-	LCD در E	خروجی	PA8
-	LCD در RW	خروجی	PA9
-	LCD در RS	خروجی	PA10
PWM(TIM1_CH4)	برای LED عه سبز	-	PA11
Input capture(TIM2_CH1)	برای کلید RESET (فعال کردن قابلیت تایمر)	-	PA15
-	ستون اول Keypad	ورودی	PB0
-	ستون دوم Keypad	ورودی	PB1
-	ستون سوم Keypad	ورودی	PB2
-	سطر اول Keypad	خروجی	PB3
-	سطر دوم Keypad	خروجی	PB4
-	سطر سوم Keypad	خروجی	PB5
-	سطر چهارم Keypad	خروجی	PB6
-	برای LED زرد	خروجی	PB7
TIM4_CH3	برای LED قرمز	-	PB8
-	برای LED آبی	خروجی	PB9

PB10	خروجی	7-segment در D	-
PB12	خروجی	7-segment در E	-
PB13	خروجی	7-segment در F	-
PB14	خروجی	7-segment در G	-
PC0	خروجی	7-segment در A	-
PC1	خروجی	7-segment در B	-
PC2	خروجی	7-segment در C	-
PC4	ورودی	دکمه LED عه زرد	-
PC5	ورودی	دکمه LED عه قرمز	-
PC6	ورودی	دکمه LED عه آبی	-
PC7	ورودی	دکمه LED عه سبز	-
PC8	خروجی	خروجی عادی LED قرمز	-
PC9	خروجی	خروجی عادی LED سبز	-
PC10	ورودی	دکمه RESET برای ساختن interrupt	-

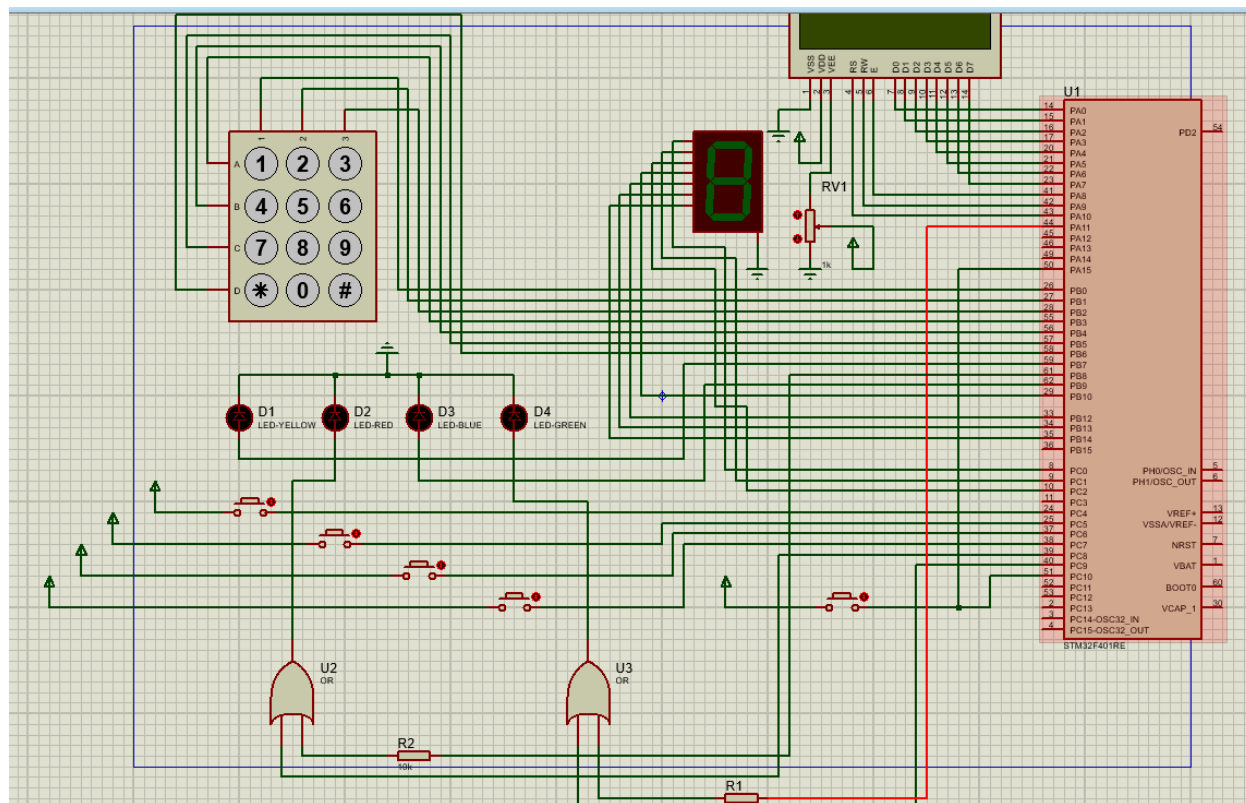
تنظیمات تایمرها:

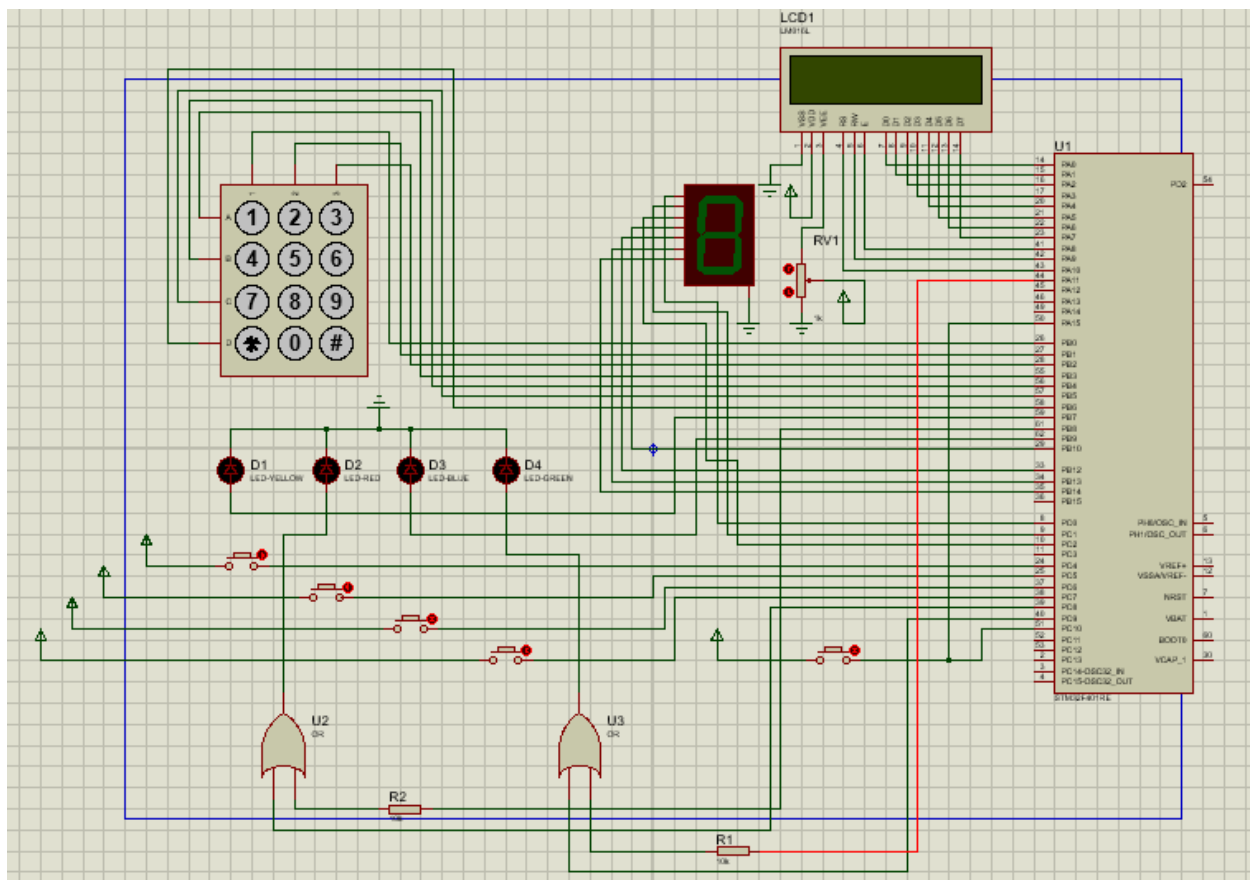
شماره تایمر	تنظیمات پیشرفته / عادی	کانال	نوع	استفاده
TIM1	پیشرفته	4	PWM	تولید خروجی LED سبز در صورت برد
TIM2	پیشرفته	1	Input Capture	برای اندازه گیری تایم بین دو ورودی کلید RESET
TIM3	عادی	-	-	ساختن عدد ثانیه بر روی LCD با استفاده از interrupt
TIM4	پیشرفته	3	PWM	تولید خروجی LED قرمز در صورت برد
TIM5	عادی	-	-	نشان دادن عبارت WINNER یا LOSER در صورت برد یا باخت با استفاده از interrupt

: Proteus

در این قسمت شماتیک مدار به همراه توضیحاتی از آن را بیان میکنیم.

شماتیک مدار به صورت زیر میباشد:





نکات در رابطه با شماتیک مدار:

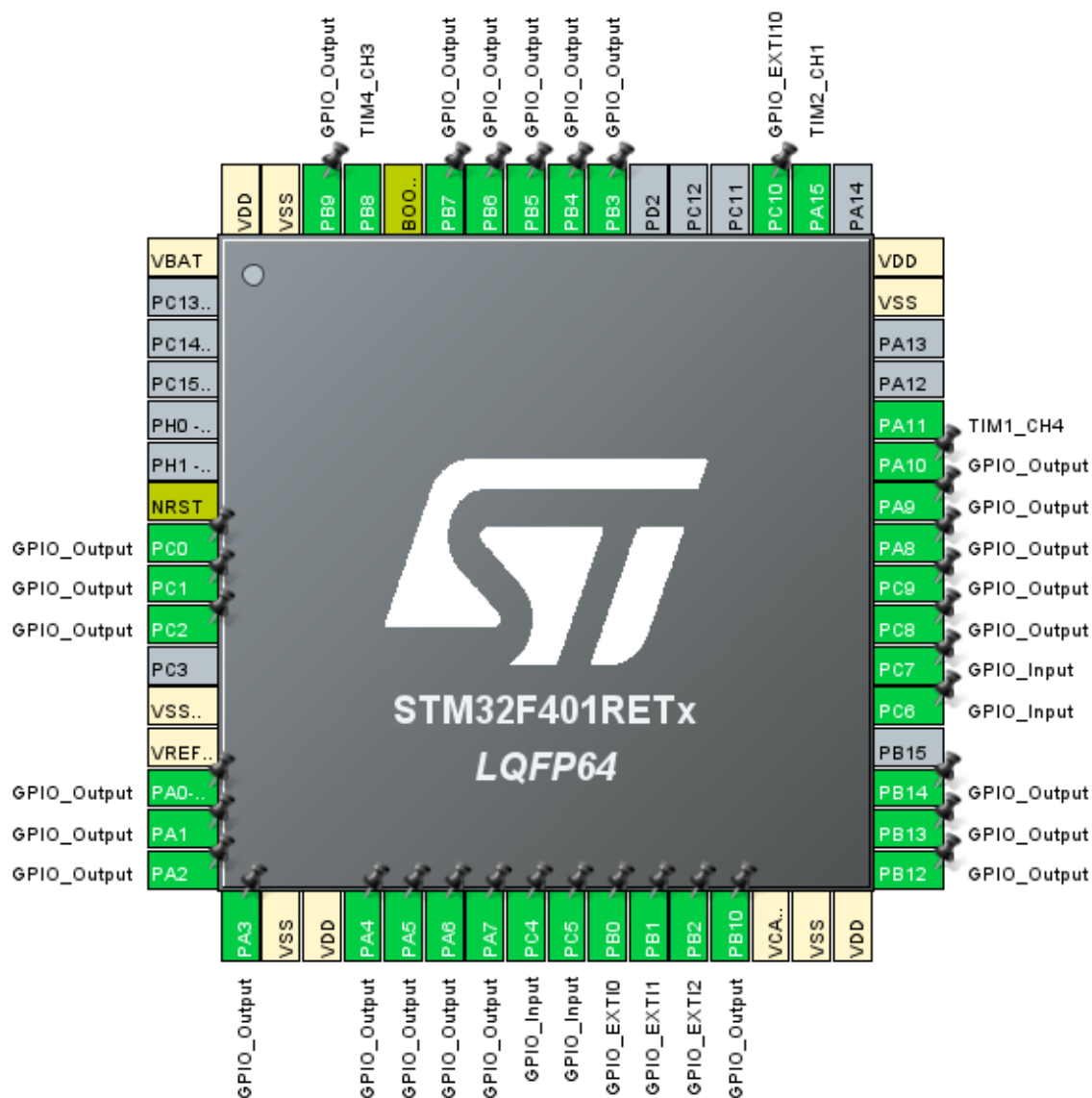
- ما در این سوال چون میخواستیم هم بتوانیم LED قرمز و سبز را در هر لحظه یک و صفر کنیم و هم از طرفی برای بردن یا باختن باید از آنها در مود PWM استفاده می کردیم، پس برای هر کدامشان به صورت جدا یک پین قرار دادیم و تنظیماتش را انجام دادیم و قبل از اینکه آنها را به LED وصل کنیم با یکدیگر OR کردیم تا خروجی حاصل به هرکدام از LED ها برود.
- قبل از ورودی های مربوط به پینی که آن را برای مود PWM LED های سبز و قرمز ست کردیم، یک مقاومت قرار دادیم برای اینکه وقتی که آنها را غیرفعال می کردیم (مود PWM آنها را) خروجی میکرو نامعلوم بود و بعضا باعث میشد که ورودی LED ها همچنان یک باقی بماند. (رنگ پین در محیط پروتئوس، خاکستری میشد و عموما یک تلقی میشد. اما بعد از گذاشتن مقاومت، لب مرزی بودن این خروجی میکرو کنترل شد و در صورت لب مرزی بودن، مقدار صفر میشد.)
- کلید RESET (کلید سمت راست پائین صفحه) دو خروجی دارد، برای اینکه یکی از آن خروجی ها را برای مود Input Capture استفاده کردیم و دیگری را برای ساختن interrupt هنگام فشردن این کلید. و سپس در کد، قسمت هایی را که interrupt اتفاق می افتاد از مود Input Capture استفاده می کنیم و طول بین دو فشردن شدن متوالی آن را اندازه می گیریم.

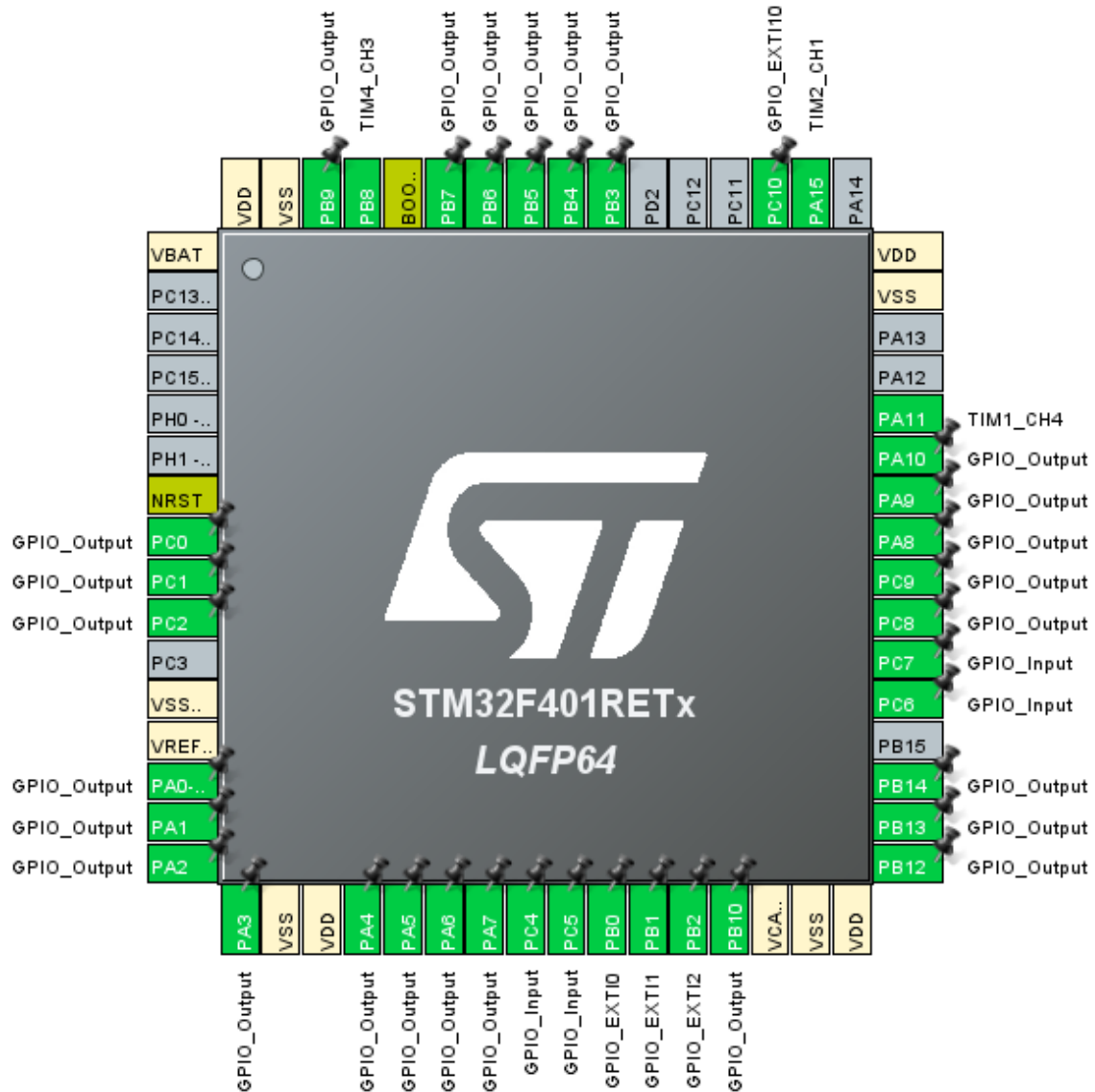
: STM32CubeMX

در این نرم افزار تنظیمات مربوط به هر قسمت را انجام دادیم و سپس کد مورد نظر برای آن قسمت ها ایجاد شد.

عکس تنظیمات این محیط به صورت زیر است:

: PINOUT & CONFIGURATION •





Search (Ctrl+F)

☐ Show only Modified Pins

Pin Na...	Signal on ...	GPIO outp...	GPIO mode	GPIO Pull-...	Maximum ...	User Label	Modified
PA0-WKUP	n/a	Low	Output Pu...	Pull-up	Low		✓
PA1	n/a	Low	Output Pu...	Pull-down	Low		✓
PA2	n/a	Low	Output Pu...	Pull-down	Low		✓
PA3	n/a	Low	Output Pu...	Pull-down	Low		✓
PA4	n/a	Low	Output Pu...	Pull-down	Low		✓
PA5	n/a	Low	Output Pu...	Pull-down	Low		✓
PA6	n/a	Low	Output Pu...	Pull-down	Low		✓
PA7	n/a	Low	Output Pu...	Pull-down	Low		✓
PA8	n/a	Low	Output Pu...	Pull-down	Low		✓
PA9	n/a	Low	Output Pu...	Pull-down	Low		✓
PA10	n/a	Low	Output Pu...	Pull-down	Low		✓

Pin Na...	Signal on ...	GPIO outp...	GPIO mode	GPIO Pull...	Maximum ...	User Label	Modified
PB0	n/a	n/a	External I...	Pull-down	n/a		<input checked="" type="checkbox"/>
PB1	n/a	n/a	External I...	Pull-down	n/a		<input checked="" type="checkbox"/>
PB2	n/a	n/a	External I...	Pull-down	n/a		<input checked="" type="checkbox"/>
PB3	n/a	Low	Output Pu...	No pull-up...	Low		<input type="checkbox"/>
PB4	n/a	Low	Output Pu...	No pull-up...	Low		<input type="checkbox"/>
PB5	n/a	Low	Output Pu...	No pull-up...	Low		<input type="checkbox"/>
PB6	n/a	Low	Output Pu...	No pull-up...	Low		<input type="checkbox"/>
PB7	n/a	Low	Output Pu...	No pull-up...	Low		<input type="checkbox"/>
PB9	n/a	Low	Output Pu...	No pull-up...	Low		<input type="checkbox"/>
PB10	n/a	Low	Output Pu...	No pull-up...	Low		<input type="checkbox"/>
PB12	n/a	Low	Output Pu...	No pull-up...	Low		<input type="checkbox"/>
PB13	n/a	Low	Output Pu...	No pull-up...	Low		<input type="checkbox"/>
PB14	n/a	Low	Output Pu...	No pull-up...	Low		<input type="checkbox"/>
PC0	n/a	Low	Output Pu...	No pull-up...	Low		<input type="checkbox"/>
PC1	n/a	Low	Output Pu...	No pull-up...	Low		<input type="checkbox"/>
PC2	n/a	Low	Output Pu...	No pull-up...	Low		<input type="checkbox"/>
PC4	n/a	n/a	Input mode	Pull-down	n/a		<input checked="" type="checkbox"/>
PC5	n/a	n/a	Input mode	Pull-down	n/a		<input checked="" type="checkbox"/>
PC6	n/a	n/a	Input mode	Pull-down	n/a		<input checked="" type="checkbox"/>
PC7	n/a	n/a	Input mode	Pull-down	n/a		<input checked="" type="checkbox"/>
PC8	n/a	Low	Output Pu...	Pull-down	Low		<input checked="" type="checkbox"/>
PC9	n/a	Low	Output Pu...	Pull-down	Low		<input checked="" type="checkbox"/>
PC10	n/a	n/a	External I...	Pull-down	n/a		<input checked="" type="checkbox"/>

GPIO TIM NVIC

Search Signals

Search (Ctrl+F)

☐ Show only Modified Pins

Pin Na...	Signal on ...	GPIO outp...	GPIO mode	GPIO Pull...	Maximum ...	User Label	Modified
PA11	TIM1_CH4	n/a	Alternate ...	No pull-up ...	Low		<input type="checkbox"/>
PA15	TIM2_CH1	n/a	Alternate ...	No pull-up ...	Low		<input type="checkbox"/>
PB8	TIM4_CH3	n/a	Alternate ...	No pull-up ...	Low		<input type="checkbox"/>

GPIO TIM NVIC

NVIC Interrupt Table	Enabled	Preemption Priority	Sub Priority
EXTI line0 interrupt	<input checked="" type="checkbox"/>	2	0
EXTI line1 interrupt	<input checked="" type="checkbox"/>	2	0
EXTI line2 interrupt	<input checked="" type="checkbox"/>	2	0
EXTI line[15:10] interrupts	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0

✓ NVIC

✓ Code generation

Priority Group .. ▾

☐ Sort by Preemption Priority and Sub Priority

☐ Sort by interrupts names

Search



Show

available interrupts ▾

☒ Force DMA channels Interrupt

NVIC Interrupt Table	Enabled	Preemption Priority	Sub Priority
Non maskable interrupt	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0
Hard fault interrupt	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0
Memory management fault	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0
Pre-fetch fault, memory access fault	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0
Undefined instruction or illegal state	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0
System service call via SWI instruction	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0
Debug monitor	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0
Pendable request for system service	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0
Time base: System tick timer	<input checked="" type="checkbox"/>	1	0
PVD interrupt through EXTI line 16	<input type="checkbox"/>	0	0
Flash global interrupt	<input type="checkbox"/>	0	0
RCC global interrupt	<input type="checkbox"/>	0	0
EXTI line0 interrupt	<input checked="" type="checkbox"/>	2	0
EXTI line1 interrupt	<input checked="" type="checkbox"/>	2	0
EXTI line2 interrupt	<input checked="" type="checkbox"/>	2	0
TIM1 break interrupt and TIM9 global interrupt	<input type="checkbox"/>	0	0
TIM1 update interrupt and TIM10 global interrupt	<input type="checkbox"/>	0	0
TIM1 trigger and commutation interrupts and TIM11 global in...	<input type="checkbox"/>	0	0
TIM1 capture compare interrupt	<input type="checkbox"/>	0	0
TIM2 global interrupt	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0
TIM3 global interrupt	<input checked="" type="checkbox"/>	2	0
TIM4 global interrupt	<input type="checkbox"/>	0	0
EXTI line[15:10] interrupts	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0

✓ NVIC

✓ Code generation

NVIC Interrupt Table	Enabled	Preemption Priority	Sub Priority
Non maskable interrupt	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0
Hard fault interrupt	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0
Memory management fault	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0
Pre-fetch fault, memory access fault	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0
Undefined instruction or illegal state	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0
System service call via SWI instruction	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0
Debug monitor	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0
Pendable request for system service	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0
Time base: System tick timer	<input checked="" type="checkbox"/>	1	0
PVD interrupt through EXTI line 16	<input type="checkbox"/>	0	0
Flash global interrupt	<input type="checkbox"/>	0	0
RCC global interrupt	<input type="checkbox"/>	0	0
EXTI line0 interrupt	<input checked="" type="checkbox"/>	2	0
EXTI line1 interrupt	<input checked="" type="checkbox"/>	2	0
EXTI line2 interrupt	<input checked="" type="checkbox"/>	2	0
TIM1 break interrupt and TIM9 global interrupt	<input type="checkbox"/>	0	0
TIM1 update interrupt and TIM10 global interrupt	<input type="checkbox"/>	0	0
TIM1 trigger and commutation interrupts and TIM11 global in...	<input type="checkbox"/>	0	0
TIM1 capture compare interrupt	<input type="checkbox"/>	0	0
TIM2 global interrupt	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0
TIM3 global interrupt	<input checked="" type="checkbox"/>	2	0
TIM4 global interrupt	<input type="checkbox"/>	0	0
EXTI line[15:10] interrupts	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0
TIM5 global interrupt	<input checked="" type="checkbox"/>	2	0
FPU global interrupt	<input type="checkbox"/>	0	0

☐ Enabled

Preemption Priority

Sub Priority

Configuration

☒ NVIC
 ☒ Code generation

Enabled interrupt table	<input type="checkbox"/> Se...	<input checked="" type="checkbox"/> Generate IR...	Call HAL handler
Non maskable interrupt	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hard fault interrupt	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Memory management fault	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Pre-fetch fault, memory access fault	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Undefined instruction or illegal state	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
System service call via SWI instruction	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Debug monitor	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Pendable request for system service	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Time base: System tick timer	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
EXTI line0 interrupt	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
EXTI line1 interrupt	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
EXTI line2 interrupt	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
TIM2 global interrupt	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
TIM3 global interrupt	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Interrupt unmasking ordering table (interrupt init code is moved after all the peripheral init code)

Rank	Interrupt name
------	----------------

Mode

Slave Mode

Disable

▼

Trigger Source

Disable

▼

Clock Source

Disable

▼

Channel1

Disable

▼

Channel2

Disable

▼

Channel3

Disable

▼

Channel4

PWM Generation CH4

▼

Combined Channels

Disable

▼

☐ Activate-Break-Input

☐ Use ETR as Clearing Source

☐ XOR activation

Configuration

Reset Configuration

✓ NVIC Settings

✓ DMA Settings

✓ GPIO Settings

✓ Parameter Settings

✓ User Constants

Search Signals

Search (Ctrl+F)

☐ Show only

Pin Name	Signal on Pin	GPIO output...	GPIO mode	GPIO Pull-u...	Maximum o...	User Label
PA11	TIM1_CH4	n/a	Alternate Fu...	No pull-up a...	Low	

Slave Mode Disable ▼

Trigger Source Disable ▼

Clock Source Disable ▼

Channel1 Disable ▼

Channel2 Disable ▼

Channel3 Disable ▼

Channel4 PWM Generation CH4 ▼

Combined Channels Disable ▼

☐ Activate-Break-Input

☐ Use ETR as Clearing Source

☐ XOR activation

Configuration

Reset Configuration

✓ NVIC Settings	✓ DMA Settings	✓ GPIO Settings	
✓ Parameter Settings	✓ User Constants		
NVIC Interrupt Table	Enabled	Preemption Prior...	Sub Priority
TIM1 break interrupt and TIM9 global interrupt	<input type="checkbox"/>	0	0
TIM1 update interrupt and TIM10 global interrupt	<input type="checkbox"/>	0	0
TIM1 trigger and commutation interrupts and TIM11 global interr...	<input type="checkbox"/>	0	0
TIM1 capture compare interrupt	<input type="checkbox"/>	0	0

Configuration

Reset Configuration

✓ NVIC Settings

✓ DMA Settings

✓ GPIO Settings

✓ Parameter Settings

✓ User Constants

Configure the below parameters :

Search (Ctrl+F)



Counter Settings

Prescaler (PSC - 16 bits value) 15999
Counter Mode Up
Counter Period (AutoReload Register -... 1000
Internal Clock Division (CKD) No Division
Repetition Counter (RCR - 8 bits value) 0
auto-reload preload Enable

Trigger Output (TRGO) Parameters

Master/Slave Mode (MSM bit) Disable (Trigger input effect not delayed)
Trigger Event Selection Reset (UG bit from TIMx_EGR)

Break And Dead Time management - BRK Co...

BRK State Disable
BRK Polarity High

Break And Dead Time management - Output ...

Automatic Output State Disable
Off State Selection for Idle Mode (OSS... Disable
Lock Configuration Off

PWM Generation Channel 4

Mode PWM mode 1
Pulse (16 bits value) 500
Output compare preload Enable
Fast Mode Disable
CH Polarity High
CH Idle State Reset

Slave Mode Disable ▼

Trigger Source Disable ▼

Clock Source Internal Clock ▼

Channel1 Input Capture direct mode ▼

Channel2 Disable ▼

Channel3 Disable ▼

Channel4 Disable ▼

Combined Channels Disable ▼

☐ Use ETR as Clearing Source

☐ XOR activation

☐ One Pulse Mode

Configuration

Reset Configuration

✔ NVIC Settings	✔ DMA Settings	✔ GPIO Settings	
✔ Parameter Settings		✔ User Constants	
NVIC Interrupt Table	Enabled	Preemption Priority	Sub Priority
TIM2 global interrupt	✔	0	0

TIM2 Mode and Configuration

Mode

Slave Mode Disable ▼

Trigger Source Disable ▼

Clock Source Internal Clock ▼

Channel1 Input Capture direct mode ▼

Channel2 Disable ▼

Channel3 Disable ▼

Channel4 Disable ▼

Combined Channels Disable ▼

☐ Use ETR as Clearing Source

☐ XOR activation

☐ One Pulse Mode

Configuration

Reset Configuration



NVIC Settings



DMA Settings



GPIO Settings



Parameter Settings



User Constants

Search Signals

Search (Ctrl+F)



Show only

Pin Name	Signal on Pin	GPIO output...	GPIO mode	GPIO Pull-u...	Maximum o...	User Label
PA15	TIM2_CH1	n/a	Alternate Fu...	No pull-up a...	Low	

Configuration

Reset Configuration

✓ NVIC Settings

✓ DMA Settings

✓ GPIO Settings

✓ Parameter Settings

✓ User Constants

Configure the below parameters :

 Search (Ctrl+F)



✓ Counter Settings

Prescaler (PSC - 16 bits value) 15999

Counter Mode Up

Counter Period (AutoReload Register - ... 999999

Internal Clock Division (CKD) No Division

auto-reload preload Enable

✓ Trigger Output (TRGO) Parameters

Master/Slave Mode (MSM bit) Disable (Trigger input effect not delayed)

Trigger Event Selection Reset (UG bit from TIMx_EGR)

✓ Input Capture Channel 1

Polarity Selection Both Edges

IC Selection Direct

Prescaler Division Ratio No division

Input Filter (4 bits value) 0

TIM3 Mode and Configuration

Mode

Slave Mode	Disable	▼
Trigger Source	Disable	▼
Clock Source	Internal Clock	▼
Channel1	Disable	▼
Channel2	Disable	▼
Channel3	Disable	▼
Channel4	Disable	▼
Combined Channels	Disable	▼

Configuration

Reset Configuration

☒ Parameter Settings
 ☒ User Constants
 ☒ NVIC Settings
 ☒ DMA Settings

Configure the below parameters :

⏪
⏩
ⓘ

- Counter Settings**

Prescaler (PSC - 16 bits value)	15999
Counter Mode	Up
Counter Period (AutoReload Register - ...)	1000
Internal Clock Division (CKD)	No Division
auto-reload preload	Disable
- Trigger Output (TRGO) Parameters**

Master/Slave Mode (MSM bit)	Disable (Trigger input effect not delayed)
Trigger Event Selection	Reset (UG bit from TIMx_EGR)

Mode

Slave Mode

Disable

▼

Trigger Source

Disable

▼

Clock Source

Internal Clock

▼

Channel1

Disable

▼

Channel2

Disable

▼

Channel3

Disable

▼

Channel4

Disable

▼

Combined Channels

Disable

▼

Configuration

Reset Configuration

✔ Parameter Settings

✔ User Constants

✔ NVIC Settings

✔ DMA Settings

NVIC Interrupt Table	Enabled	Preemption Priority	Sub Priority
TIM3 global interrupt	<input checked="" type="checkbox"/>	2	0

Mode

Slave Mode

Disable

▼

Trigger Source

Disable

▼

☐ Internal Clock

Channel1

Disable

▼

Channel2

Disable

▼

Channel3

PWM Generation CH3

▼

Channel4

Disable

▼

Combined Channels

Disable

▼

Configuration

Reset Configuration

✔ NVIC Settings

✔ DMA Settings

✔ GPIO Settings

✔ Parameter Settings

✔ User Constants

NVIC Interrupt Table	Enabled	Preemption Priority	Sub Priority
TIM4 global interrupt	<input type="checkbox"/>	0	0

Mode

Slave Mode

Disable

Trigger Source

Disable

☐ Internal Clock

Channel1

Disable

Channel2

Disable

Channel3

PWM Generation CH3

Channel4

Disable

Combined Channels

Disable

☐ XCP

Disable

Configuration

Reset Configuration

✓ NVIC Settings

✓ DMA Settings

✓ GPIO Settings

✓ Parameter Settings

✓ User Constants

Search Signals

Search (Ctrl+F)

☐ Show only

Pin Name	Signal on Pin	GPIO output...	GPIO mode	GPIO Pull-u...	Maximum o...	User Label
PB8	TIM4_CH3	n/a	Alternate Fu...	No pull-up a...	Low	

Mode

Channel1	Disable	▼
Channel2	Disable	▼
Channel3	PWM Generation CH3	▼
Channel4	Disable	▼
Combined Channels	Disable	▼

Configuration

Reset Configuration

✓ NVIC Settings

DMA Settings

GPIO Settings

✔ Parameter Settings

✔ User Constants

Configure the below parameters :

Search (Ctrl+F) ⏪ ⏩ ⓘ

Counter Settings

Prescaler (PSC - 16 bits value)	15999
---------------------------------	-------

Counter Mode	Up
--------------	----

Counter Period (AutoReload Register - ... 1000

Internal Clock Division (CKD)	No Division
1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256, 512, 1024, 2048, 4096, 8192, 16384, 32768, 65536, 131072, 262144, 524288, 1048576, 2097152, 4194304, 8388608, 16777216, 33554432, 67108864, 134217728, 268435456, 536870912, 1073741824, 2147483648, 4294967296, 8589934592, 17179869184, 34359738368, 68719476736, 137438953472, 274877906944, 549755813888, 1099511627776, 2199023255552, 4398046511104, 8796093022208, 17592186044416, 35184372088832, 70368744177664, 140737488355328, 281474976710656, 562949953421312, 1125899906842624, 2251799813685248, 4503599627370496, 9007199254740992, 18014398509481984, 36028797018963968, 72057594037927936, 144115188075855872, 288230376151711744, 576460752303423488, 1152921504606846976, 2305843009213693952, 4611686018427387904, 9223372036854775808, 18446744073709551616, 36893488147419103232, 73786976294838206464, 147573952589676412928, 295147905179352825856, 590295810358705651712, 1180591620717411303424, 2361183241434822606848, 4722366482869645213696, 9444732965739290427392, 18889465931478580854784, 37778931862957161709568, 75557863725914323419136, 151115727451828646838272, 302231454903657293676544, 604462909807314587353088, 1208925819614629174706176, 2417851639229258349412352, 4835703278458516698824704, 9671406556917033397649408, 19342813113834066795298816, 38685626227668133590597632, 77371252455336267181195264, 154742504910672534362390528, 309485009821345068724781056, 618970019642690137449562112, 1237940039285380274899124224, 2475880078570760549798248448, 4951760157141521099596496896, 9903520314283042199192993792, 19807040628566084398385987584, 39614081257132168796771975168, 79228162514264337593543950336, 158456325028528675187087900672, 316912650057057350374175801344, 633825300114114700748351602688, 1267650600228229401496703205376, 2535301200456458802993406410752, 5070602400912917605986812821504, 10141204801825835211973625643008, 20282409603651670423947251286016, 40564819207303340847894502572032, 81129638414606681695789005144064, 162259276829213363391578010288128, 324518553658426726783156020576256, 649037107316853453566312041152512, 1298074214633706907132624082305024, 2596148429267413814265248164610048, 5192296858534827628530496329220096, 10384593717069655257060992658440192, 20769187434139310514121985316880384, 41538374868278621028243970633760768, 83076749736557242056487941267521536, 166153499473114484112975882535043072, 332306998946228968225951765070086144, 664613997892457936451903530140172288, 1329227995784915872903807060280344576, 2658455991569831745807614120560689152, 5316911983139663491615228241121378304, 10633823966279326983230456482242756608, 21267647932558653966460912964485513216, 42535295865117307932921825928971026432, 85070591730234615865843651857942052864, 170141183460469231731687303715884105728, 340282366920938463463374607431768211456, 680564733841876926926749214863536422912, 1361129467683753853853498429727072845824, 2722258935367507707706996859454145691648, 5444517870735015415413993718908291383296, 10889035741470030830827987437816582766592, 21778071482940061661655974875633165533184, 43556142965880123323311949751266331066368, 87112285931760246646623899502532662132736, 174224571863520493293247799005065324265472, 348449143727040986586495598010130648530944, 696898287454081973172991196020261297061888, 1393796574908163946345982392040522594123776, 2787593149816327892691964784081045188247552, 5575186299632655785383929568162090376495104, 11150372599265311570767859136324180752990208, 22300745198530623141535718272648361505980416, 44601490397061246283071436545296723011960832, 89202980794122492566142873090593446023921664, 178405961588244985132285746181186892047843328, 356811923176489970264571492362373784095686656, 713623846352979940529142984724747568191373312, 1427247692705959881058285969449495136382746624, 2854495385411919762116571938898990272765493248, 5708990770823839524233143877797980545530986496, 11417981541647679048466287755595961091061972992, 22835963083295358096932575511191922182123945984, 45671926166590716193865151022383844364247891968, 9134385233318143238773030204	

auto-reload preload	Disable
---------------------	---------

4. Trigger Output (TRCO) Parameters

Master/Slave Mode (MSM bit)	Disable (Trigger input effect not delayed)
-----------------------------	--

Master/Slave Mode (MSM bit)	Disable (Trigger Input effect not delayed)
Trigger Event Selection	Reset (IIG bit from TIMx_EGR)

▼ PWM Generation Channel 3

Mode	PWM mode 1
------	------------

Pulse (16 bits value)	500
-----------------------	-----

Output compare preload	Enable
------------------------	--------

Fast Mode	Disable
-----------	---------

CH Polarity	High
-------------	------

Slave Mode Disable ▼

Trigger Source Disable ▼

☒ Internal Clock

Channel1 Disable ▼

Channel2 Disable ▼

Channel3 Disable ▼

Channel4 Disable ▼

Combined Channels Disable ▼

Configuration

Reset Configuration

☒ Parameter Settings ☒ User Constants ☒ NVIC Settings ☒ DMA Settings

Configure the below parameters :



Counter Settings

Prescaler (PSC - 16 bits value) 1599

Counter Mode Up

Counter Period (AutoReload Register - ... 500

Internal Clock Division (CKD) No Division

auto-reload preload Disable

Trigger Output (TRGO) Parameters

Master/Slave Mode (MSM bit) Disable (Trigger input effect not delayed)

Trigger Event Selection Reset (UG bit from TIMx_EGR)

TIM5 Mode and Configuration

Mode

Slave Mode	Disable	▼
Trigger Source	Disable	▼
<input checked="" type="checkbox"/> Internal Clock		
Channel1	Disable	▼
Channel2	Disable	▼
Channel3	Disable	▼
Channel4	Disable	▼
Combined Channels	Disable	▼

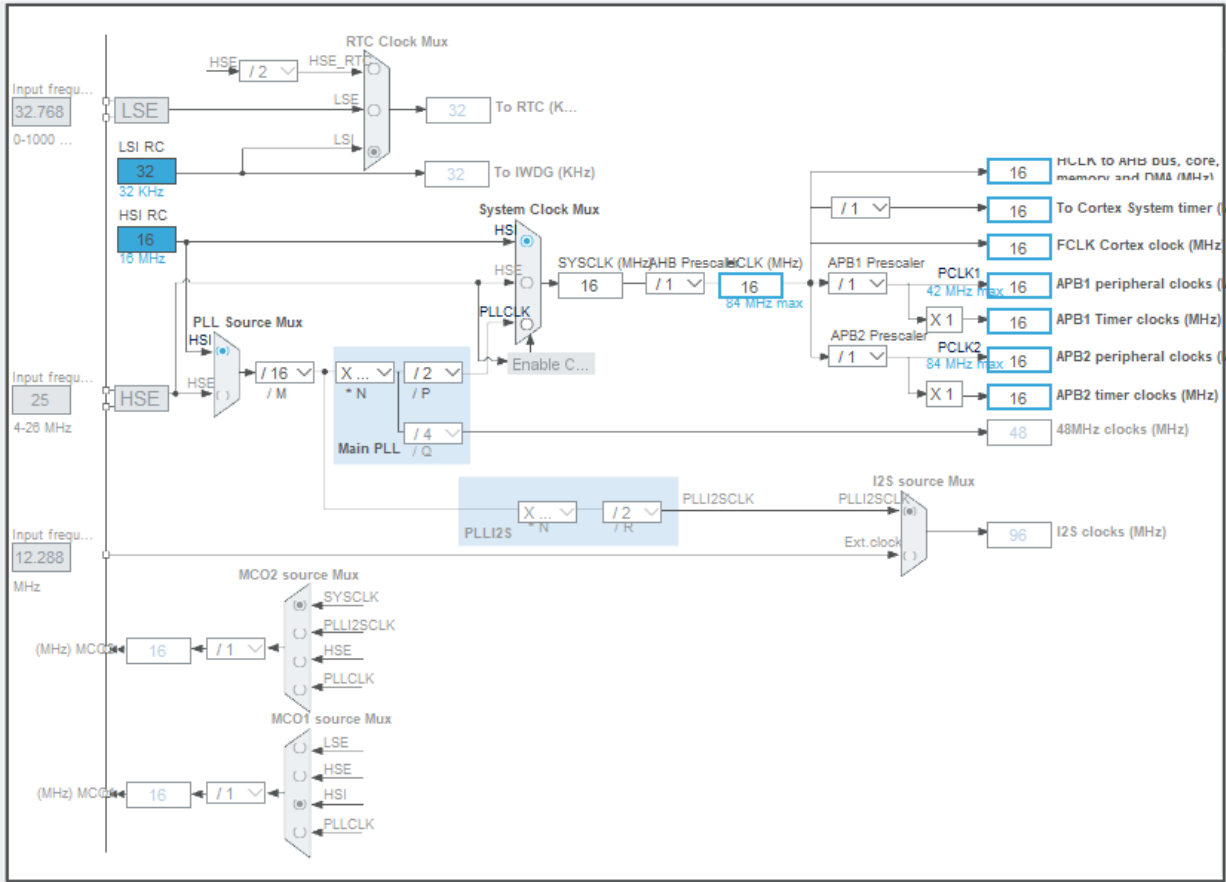
Configuration

Reset Configuration

☒ Parameter Settings ☒ User Constants ☒ NVIC Settings ☒ DMA Settings

NVIC Interrupt Table	Enabled	Preemption Priority	Sub Priority
TIM5 global interrupt	<input checked="" type="checkbox"/>	2	0

: CLOCK CONFIGURATION •



: PROJECT MANAGER •

Pinout & Configuration	Clock Configuration	Project Manager	Tools
Project	<div>Project Settings</div> <div>Project Name<div>Game</div></div> <div>Project Location<div>C:\Users\parsa\Desktop\Riz\7th-Assignment\Keil</div><div>Browse</div></div> <div>Application Structure<div>Advanced</div><div><input type="checkbox"/> Do not generate the main()</div></div>		
Code Generator	<div>Toolchain Folder Location<div>C:\Users\parsa\Desktop\Riz\7th-Assignment\Keil\Game\</div></div> <div>Toolchain / IDE<div>MDK-ARM</div></div> <div>Min Version<div>V5.32</div><div><input type="checkbox"/> Generate Under Root</div></div>		
Advanced Settings	<div>Linker Settings</div> <div>Minimum Heap Size<div>0x200</div></div> <div>Minimum Stack Size<div>0x400</div></div>		
	<div>Thread-safe Settings</div> <div>Cortex-M4NS</div> <div><input type="checkbox"/> Enable multi-threaded support</div> <div>Thread-safe Locking Strategy<div>Default - Mapping suitable strategy depending on RTOS selection.</div></div>		
	<div>Mcu and Firmware Package</div> <div>Mcu Reference<div>STM32F401RETx</div></div> <div>Firmware Package Name and Version<div>STM32Cube FW_F4 V1.27.0</div></div> <div><input checked="" type="checkbox"/> Use Default Firmware Location</div> <div>Firmware Relative Path<div>C:/Users/parsa/STM32CubeRepository/STM32Cube_FW_F4_V1.27.0</div><div>Browse</div></div>		

Pinout & Configuration		Clock Configuration		Project Manager		Tools	
Project	Project Settings						
	Project Name		<input type="text" value="Game"/>				
	Project Location		<input type="text" value="C:\Users\parsa\Desktop\Riz\7th-Assignment\Keil"/> <input type="button" value="Browse"/>				
Code Generator	Application Structure		<input type="text" value="Advanced"/> <input type="checkbox"/> Do not generate the main()				
	Toolchain Folder Location		<input type="text" value="C:\Users\parsa\Desktop\Riz\7th-Assignment\Keil\Game\"/>				
	Toolchain / IDE		<input type="text" value="MDK-ARM"/> Min Version <input type="text" value="V5.32"/> <input type="checkbox"/> Generate Under Root				
Advanced Settings	Linker Settings						
	Minimum Heap Size		<input type="text" value="0x200"/>				
	Minimum Stack Size		<input type="text" value="0x400"/>				
	Thread-safe Settings						
	Cortex-M4NS						
	<input type="checkbox"/> Enable multi-threaded support						
	Thread-safe Locking Strategy		<input type="text" value="Default - Mapping suitable strategy depending on RTOS selection"/>				
	Mcu and Firmware Package						
	Mcu Reference		<input type="text" value="STM32F401RETx"/>				
	Firmware Package Name and Version		<input type="text" value="STM32Cube_FW_F4 V1.27.0"/>				
<input checked="" type="checkbox"/> Use Default Firmware Location							
Firmware Relative Path		<input type="text" value="C:\Users\parsa\STM32Cube\Repository\STM32Cube_FW_F4_V1.27.0"/> <input type="button" value="Browse"/>					

Pinout & Configuration		Clock Configuration		Project Manager		Tools	
Project							
Code Generator	STM32Cube MCU packages and embedded software packs						
	<input checked="" type="radio"/> Copy all used libraries into the project folder						
	<input type="radio"/> Copy only the necessary library files						
Advanced Settings	<input type="radio"/> Add necessary library files as reference in the toolchain project configuration file						
	Generated files						
	<input type="checkbox"/> Generate peripheral initialization as a pair of '.c/.h' files per peripheral						
	<input type="checkbox"/> Backup previously generated files when re-generating						
	<input checked="" type="checkbox"/> Keep User Code when re-generating						
	<input checked="" type="checkbox"/> Delete previously generated files when not re-generated						
	HAL Settings						
	<input type="checkbox"/> Set all free pins as analog (to optimize the power consumption)						
	<input type="checkbox"/> Enable Full Assert						
	Template Settings						
Select a template to generate customized code		<input type="button" value="Settings..."/>					

Pinout & Configuration

Clock Configuration

Project Manager

Tools

Project

Code Generator

Advanced Settings

Driver Selector

Search (Ctrl+F)

RCC

HAL

GPIO

HAL

TIM

TIM2

HAL

TIM3

HAL

TIM1

HAL

TIM4

HAL

TIM5

HAL

Generated Function Calls

Generate Code

Rank

Function Name

Peripheral Instance Name

Do Not Generate Function Call

Visibility (Static)

☒

1

SystemClock_Config

RCC

☐

☐

☒

2

MX_GPIO_Init

GPIO

☐

☒

☒

3

MX_TIM2_Init

TIM2

☐

☒

☒

4

MX_TIM3_Init

TIM3

☐

☒

☒

5

MX_TIM1_Init

TIM1

☐

☒

☒

6

MX_TIM4_Init

TIM4

☐

☒

☒

7

MX_TIM5_Init

TIM5

☐

☒

Register CallBack

Search

ADC

DISABLE

CAN

DISABLE

CEC

DISABLE

CRYP

DISABLE

DAC

DISABLE

DCMI

DISABLE

DFSDM

DISABLE

DMA2D

DISABLE

DSI

DISABLE

ETH

DISABLE

HASH

DISABLE

HCD

DISABLE

I2C

DISABLE

FMPI2C

DISABLE

I2S

DISABLE

IRDA

DISABLE

LPTIM

DISABLE

LTDC

DISABLE

MMC

DISABLE

NAND

DISABLE

NOR

DISABLE

PCCARD

DISABLE

PCD

DISABLE

QSPI

DISABLE

RNG

DISABLE

RTC

DISABLE

SAI

DISABLE

SD

DISABLE

SMARTCARD

DISABLE

• TOOLS :

در این قسمت هیچ گونه تغییری ایجاد نکردیم.

نحوه کلی کار بدین شکل است که یک سری متغیر مانند یک آرایه و یک متغیر status و ... تعریف میکنیم و در جاهای مناسب آنها را مقداردهی می کنیم و مقدارشان را عوض می کنیم و با آنها شرط های مختلف را اجرا می کنیم.

** تمامی این متغیر ها را volatile تعریف می کنیم به دلیل اینکه در فراخوانی توابع وقتی که از این متغیر ها استفاده میکردیم، اگر از کلید واژه volatile استفاده نمیکردیم، مقداری که در این تابع آن متغیر داشت (اگر در خطی مقدار آن آپدیت می شد مثلا) با مقداری که باید در آن لحظه در آن می بود، متفاوت بود. به همین دلیل از این کلید واژه استفاده کردیم.

این متغیر ها عبارتند از:

• array[۱۶]:

این یک آرایه برای آن است که وقتی می خواهیم اسم افراد و یا کلمه LOSER و یا WINNER را نمایش دهیم، آنها را در این آرایه بریزیم و سپس کاراکترهای این آرایه را در LCD نمایش دهیم.

• Size:

این متغیر نمایانگر سائز این آرایه می باشد.(البته در قسمت هایی از کد از آن استفاده نشده است چون باعث بوجود آمدن تفاوت چندانی نمیشد.)

• Status:

همانطور که از نام این متغیر مشخص است، این متغیر برای نشان دادن وضعیت کنونی است. برای مثال اگر مقدار این متغیر صفر باشد به معنای آن است که ما منتظریم تا از کاربر کد دانشجویی مربوطه را دریافت کنیم. یا وقتی که مقدار آن یک است ما در حال نمایش شماره دانشجویی کاربر هستیم و همچنین منتظریم تا کاربر دو بار کلید RESET را به مدت دو ثانیه فشار دهد. و یا وقتی که مقدار آن ۲ است یعنی باید شرایط شروع بازی را فراهم کنیم و بازی را شروع کنیم. و وقتی که مقدار آن ۳ است، یعنی در حال انجام بازی هستیم و وقتی که مقدار آن ۴ می شود یعنی بازی به پایان رسیده است و در حال نمایش عبارت WINNER و یا LOSER و LED ها به صورت چشمک زن هستیم.

• mistakeNumber:

این متغیر برای نگه داشتن تعداد اشتباهات کاربر است و وقتی که در حین بازی به ۳ برسد، منجر به باخت کاربر می شود.

• Current و pre :

این دو متغیر برای نگه داشتن عدد capture شده توسط کانال عه یک تایمر ۲ هستند تا تشخیص دهند که آیا دو ثانیه (اگر در حین بازی باشد ۳ ثانیه) شده است یا خیر.

• Counter:

این متغیر شامل تعداد دفعاتی که کاربر دکمه RESET را به فاصله زمانی ۲ ثانیه فشار داده است می باشد و اگر ۲ شود وضعیت (Status) تغییر می کند و بازی شروع می شود.

• numberOfReset:

این نشان دهنده آن است که ما اولین لبه کلاکی است که در ورودی دریافت می کنیم یا دومین لبه. (منظور لبه های زوج و فرد هستند. کلا اسن متغیر اگر فرد باشد یعنی صرفا اولین باری است که کاربر کلید را فشار داده و تازه کلید بالا یا پائین رفته است و باید مقدار آن را ذخیره کرد و سری بعد (سری زوج) ان را از مقدار قبلی کم کرد و فاصله بدست آمده را حساب کرد و دید که مقدار آ» چقدر شده است و کارهای لازم را انجام داد.)

• time:

- نشان دهنده تایمی است که تایمر نشان می دهد و مدت زمانی است که کاربر مانده است تا بازی را تمام کند.
- `isWinnerLoserShown` :
این متغیر برای آن است که بدانیم که در حال حاضر که بازی به اتمام رسیده است آیا در حال نمایش کلمه WINNER و یا LOSER هستیم و یا الان آن را پاک کرده ایم.
- `onLED` :
باقی مانده این عدد به ۴ نشان دهنده اسن است که در حال حاضر کدام LED روشن است که کاربر کلید مربوط به آن را فشار دهد.
- `void HAL_Delay(uint32_t Delay)` :
حال کارکرد هر کدام از این توابع را توضیح می دهیم:
- این تابع صرفاً پیاده سازی خود نرم افزار STM32CubeMX می باشد و فقط ما آن را کپی کردیم تا با کتمنت کردن خط مشخص شده بتوانیم سرعت آن را افزایش دهیم و مقدار دیلی مورد نیاز برای نمایش کاراکتر ها را به حداقل ممکن برسانیم.
- `void MyInitialize(void)` :
در این تابع initialization های اولیه را انجام دادیم و تنظیمات اولیه پین ها و مقدار هایی که باید در LCD نمایش دهیم و ... را تعیین کردیم.
- `void LCD_put_char(char data)` :
تابع دقیقاً همان تابع پیاده سازی شده در تمرینات قبلی است و برای نشان دادن کاراکتر در نمایشگر استفاده می شود.
- `void LCD_init(void)` :
تابع دقیقاً همان تابع پیاده سازی شده در تمرینات قبلی است و برای تنظیم کردن های اولیه LCD به کار میرود.
- `void LCD_command(unsigned char command)` :
تابع دقیقاً همان تابع پیاده سازی شده در تمرینات قبلی است و برای دادن یک کامند به نمایشگر استفاده می شود.
- `void LCD_setCommand(void)` :
تابع دقیقاً همان تابع پیاده سازی شده در تمرینات قبلی است و برای مقدار دهی کردن های اولیه LCD استفاده می شود.
- `void LCD_resetCommand(void)` :
این تابع برای آن استفاده می شود که مقدار های موجود در آرایه را در نمایشگر نشان دهیم.
- `void LCD_clear(void)` :
این تابع برای پاک کردن تمام محتوای نمایشگر استفاده می شود.
- `void set_7Segment(int number)` :
این تابع یک عدد را به عنوان ورودی دریافت می کنید و سپس ورودی های مختلف 7-segment را به شکلی ست میکند که عدد نشان داده شده در 7-segment مطابق با عدد ورودی باشد.
- `void init_keypadInput(void)` :
ورودی های keypad را ست میکند تا بتوان از آن استفاده کرد.
- `char getChar(int digit)` :
یک عدد را به عنوان ورودی دریافت می کند و کاراکتر متناظر با آن عدد را در خروجی نشان می دهد.
- `void LCD_writeNumber(int input)` :

این تابع صرفاً برای دیباگ کردن نوشته شده بود (مخصوصاً دیباگ کردن قسمت input capture کلید RESET). کارکرد آن به این صورت است که یک عدد را به عنوان ورودی دریافت می کند و آن عدد را در LCD نمایش می دهد.

- `:char findKeypadButton_column1(void)`
از این تابع برای پیدا کردن کاراکتری از ستون سمت چپ keypad استفاده می شود.
- `:char findKeypadButton_column2(void)`
از این تابع برای پیدا کردن کاراکتری از ستون وسط keypad استفاده می شود.
- `:char findKeypadButton_column3(void)`
از این تابع برای پیدا کردن کاراکتری از ستون وسط keypad استفاده می شود.
این تابع در صورتی که سائز آرایه (تعداد ورودی های کاربر که هم در LCD نمایش داده می شود و هم در آرایه ذخیره می شود) ۸ شود، چک می کند که آیا این شماره مطابق با شماره اعضای گروه است یا خیر و آرایه با توجه به آن ست می کند.
- `:void handle(void)`
این تابع در نمایش (به صورت چشمک زن) اسم افراد گروه استفاده می شود.
- `:void HAL_GPIO_EXTI_Callback(uint16_t GPIO_Pin)`
همانطور که در تمارین قبلی توضیح داده شد، این تابع که به صورت موجودیت `__weak` تعریف شده است، را اگر خودمان تعریف کنیم میتوانیم interrupt هایی که فعال می شوند را هندل کنیم و کارهای مربوط به هر یک را انجام دهیم.
- `:void initGame(void)`
از این تابع برای انجام تنظیمات اولیه بازی استفاده می شود. (تنظیماتی مانند ست کردن عدد تایمر و تعداد خطا ها و ...).
- `:void endGame(void)`
این تابع مربوط به تنظیمات انتهای بازی است. وقتی که بازی به انتها رسیده است.
- `:void HAL_TIM_PeriodElapsedCallback(TIM_HandleTypeDef *htim)`
همانطور که در تمرینات قبلی توضیح داده شد، این تابع به صورت موجودیت `__weak` تعریف شده است. اگر آنم را خودمان تعریف کنیم میتوانیم interrupt های ناشی از تایمرها را در آن هندل کنیم.
- `:void LED_RED(int state)`
این تابع برای خاموش یا روشن کردن LED عه قرمز استفاده می شود.
- `:void LED_GREEN(int state)`
این تابع برای خاموش یا روشن کردن LED عه سبز استفاده می شود.
- `:void LED_YELLOW(int state)`
این تابع برای خاموش یا روشن کردن LED عه زرد استفاده می شود.
- `:void LED_BLUE(int state)`
این تابع برای خاموش یا روشن کردن LED عه آبی استفاده می شود.
- `:void game(void)`
سازوکار اصلی این بازی، و اتفاقات و هندل کردن خود بازی، به عبارت دیگر پیاده سازی منطق خود بازی، استفاده میشود و تمام اتفاقات خود بازی در آنجا هنول می شود.

****** در این کد، ما برای اینکه بعضی از جاها نیاز داشتیم که بتوانیم در خود تابع اصلی، در هنگام اجرا (مثلا وقتی که کاربر بازی را RESET می کند)، بتوانیم سریع به روتین مورد نظر برای آن (هندل کردن آن) برویم، بنابر این خیلی از جاها ساز کار را (بنابه status) در یک تابع تعریف کردیم و آن تابع را تا زمانی که status همان status مورد نظر برای آن تابع باشد، صدا میزنیم.

در بعضی از جاها هم برای اینکه بتوانیم از تایمر پایه استفاده کنیم مجبور شدیم که از خود پیاده سازی تایمر با توجه به تابع هایی که کتابخانه HAL در اختیارمان قرار می دهد را قرار دهیم.

****** با توجه به اینکه مشکلاتی از لحاظ تایمی وجود داشت (برای مثال اینکه تایمر خود پروتئوس خیلی کند تر از حالت عادی حرکت می کند و یا مثلا برای اینکه یک LCD روشن و یا خاموش شود زمان زیادی تلف می شود و بعضا خیلی بیشتر از زمان ذکر شده در سوال بود) ما اعداد تنظیمات تایمر ها را به گونه ای تغییر دادیم که حاصل کار در محیط پروتئوس شکل واقعیت پیدا کند وگرنه بعضا این اعداد در شبیه سازی های بردی (شبیه ساز های واقعی یا real time) ها جواب ندهند. اما همانطور که گفته شد چون ابزار لازم برای این کار را نداشتیم و فقط از پروتئوس می توانستیم استفاده کنیم، مجبور شدیم که تایم ها را با آزمون و خطا های بسیار طوری تنظیم کنیم که خروجی حاصل در محیط پروتئوس به حالت خواسته شده برسد. (وگرنه تست کردن خود پروژه ساخته شده نیز غیر ممکن می شد).

****** در بعضی از interrupt ها به دلیل اینکه میخواستیم اولویت شان نسبت به بقیه بیشتر باشد، اولویت های متفاوتی قرار دادیم ولی این امیر باعث شد که در یکی دو تا از این interrupt ها نتوانیم از خود تایمر پایه یا توابع وابسته به تایمر پایه استفاده کنیم، برای همین مجبور به تغییر ساز و کار در این روتین ها شدیم.

منابع:

- <https://stm32f4-discovery.net/2014/05/stm32f4-stm32f429-discovery-pwm-tutorial/>
- <https://stackoverflow.com/questions/35011016/stm32f429-external-interrupt-edge>
- <https://community.nxp.com/t5/Kinetis-Microcontrollers/Input-capture-module-in-MK22FN512VLH12-Microcontroller/m-p/856790>
- https://www.keil.com/pack/doc/cmsis/SVD/html/svd_Example_pg.html
- <https://community.nxp.com/t5/Kinetis-Microcontrollers/How-do-I-detect-both-rising-and-falling-edge-interrupt-with/m-p/442075>
- <https://www.microchip.com/forums/m257626.aspx>
- <https://e2e.ti.com/support/microcontrollers/msp-low-power-microcontrollers-group/msp430/f/msp-low-power-microcontroller-forum/296009/timer-capture-on-external-pin-on-both-edges>
- <https://community.st.com/s/question/0D50X00009XkZ8sSAF/stm32f103rb-timers-input-capture-both-edges>
- https://www.stmicroelectronics.com.cn/resource/en/application_note/an4776-generalpurpose-timer-cookbook-for-stm32-microcontrollers-stmicroelectronics.pdf
- <https://forum.arduino.cc/t/due-timer-capture-mode-tc0-channel-1/441820>
- <https://forum.arduino.cc/t/due-timer-capture-mode-tc0-channel-1/441820/2>
- <https://community.st.com/s/question/0D50X00009XkiPJS AZ/timer-input-capture-on-both-rising-and-falling-edge>
- <https://community.st.com/s/question/0D53W000014U11kSAC/stm32f4-tim2-multiple-channel-input-capture>
- <https://deepbluembedded.com/stm32-input-capture-frequency-measurement-example-timer-input-capture-mode/>
- <https://controllerstech.com/input-capture-in-stm32/>
- https://www.eng.auburn.edu/~nelsovp/courses/elec3040_3050/LabLectures/ELEC30x0%20Lab7%20PWM%20Slides.pdf
- <https://stm32f4-discovery.net/2014/09/library-33-pwm-stm32f4xx/>
- <https://www.renesas.com/eu/en/document/apn/gpt-hal-module-guide-application-project?language=ja>
- https://www.st.com/content/ccc/resource/training/technical/product_training/c4/1b/56/83/3a/a1/47/64/STM32L4_WDG_TIMERS_GPTIM.pdf/files/STM32L4_WDG_TIMERS_GPTIM.pdf/jcr:content/translations/en.STM32L4_WDG_TIMERS_GPTIM.pdf
- https://www.st.com/resource/en/application_note/an4013-stm32-crossseries-timer-overview-stmicroelectronics.pdf
- <https://deepbluembedded.com/stm32-timers-tutorial-hardware-timers-explained/>
- ...
- اسلاید های درس
- کلاس های درس استاد

- Reference manual
- Data sheet
- User manual
- STM32Cube-MX-HAL-MOOC
- PM0214